



指导性文件
GUIDANCE NOTES
GD01 — 2001

中国船级社

船体结构疲劳强度指南

2001

人民交通出版社



指导性文件
GUIDANCE NOTES
GD01 — 2001

中国船级社

船体结构疲劳强度指南

2001

北 京

责任编辑：刘启光 张向东

中国船级社
指导性文件

船体结构疲劳强度指南
Chuantì Jiegou Píláo Qiángdù Zhinan

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

上海广服电脑印刷厂印刷

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：3.4 字数：85千

2001年1月 第1版

2001年1月 第1版 第1次印刷

印数：0001—1000册 定价：20.00元

统一书号：15114.0467

目 录

第 1 章 一般规定	(1)
1.1 说 明	(1)
1.2 适用范围	(1)
1.3 定 义	(1)
1.4 疲劳分析方法	(2)
第 2 章 疲劳分析	(4)
2.1 疲劳校核部位	(4)
2.2 设计 $S - N$ 曲线的选取	(4)
2.3 船体结构应力范围的 Weibull 分布	(11)
2.4 许用应力范围	(11)
2.5 累积损伤度计算	(13)
第 3 章 疲劳载荷	(16)
3.1 一般要求	(16)
3.2 波浪弯矩和扭矩	(16)
3.3 海水动压力	(18)
3.4 船舶运动加速度	(21)
3.5 舱内货物压力	(24)
第 4 章 设计应力范围	(27)
4.1 一般要求	(27)
4.2 应力范围计算	(27)
4.3 应力范围的合成	(32)
4.4 设计应力范围计算	(34)
第 5 章 应力集中系数	(35)
5.1 一般要求	(35)
5.2 节点的应力集中系数	(35)
5.3 应力集中系数的计算方法	(36)
附录 1 GAMMA 函数表	(40)
附录 2 结构疲劳强度计算实例	(49)

第1章 一般规定

1.1 说明

1.1.1 船舶在海上航行时,船舶结构一直受到波浪力及运动产生的各种惯性力的作用。而波浪力和惯性力都是不断变化的动载荷,他们在船舶结构内部产生交变应力。交变应力将造成结构的疲劳损伤。

1.1.2 疲劳破坏是船舶结构的主要破坏形式之一。特别对于大型船舶和使用高强度钢的船舶,疲劳问题显得尤为突出。

1.1.3 在设计时,可通过疲劳强度校核改进结构节点的设计,以保证船体结构中受交变动载荷作用的构件有足够的疲劳寿命。

1.2 适用范围

1.2.1 本指南适用于下列船舶对其货舱区域结构进行疲劳强度校核:

- (1) 船长 150m 及以上的散货船;
- (2) 船长 150m 及以上的集装箱船;
- (3) 船长 200m 及以上的油船。

1.2.2 对于 1.2.1 规定范围以外的船舶,也可按本指南对其结构进行疲劳强度校核。

1.2.3 按本指南进行疲劳强度校核的船舶,其结构设计、建造工艺和建造质量应满足本社《钢质海船建造与入级规范》和本社接受的其他有关标准的要求。

1.3 定义

1.3.1 本指南所用定义如下:

(1) 船长 L (m): 沿设计夏季载重线,由首柱前缘量至舵柱后缘的长度;对无舵柱的船舶,由首柱前缘量至舵杆中心线的长度;但均不得小于设计夏季载重线总长的 96%,且不必大于 97%。

(2) 船宽 B (m): 在船舶的最宽处,由一舷的肋骨外缘量至另一舷的肋骨外缘之间的水平距离。

(3) 型深 D (m): 在船长中点处,沿船舷由平板龙骨上缘量至上层连续甲板横梁上缘的垂直距离;对甲板转角为圆弧形的船舶,则由平板龙骨上缘量至横梁上缘延伸线与肋骨外缘延伸线的交点。

(4) 吃水 d (m): 在船长中点处,由平板龙骨上缘量至夏季载重线的垂直距离。

(5) 吃水 d_1 (m): 在船长中点处,由平板龙骨上缘量至计算工况下水线的垂直距离。

(6) 方形系数 C_b : 方形系数 C_b 由下式确定:

$$C_b = \frac{\nabla}{LBd}$$

式中: ∇ —— 相应于夏季载重线吃水时的型排水体积, m^3 ;

L —— 船长, m ;

B —— 船宽, m ;

d —— 吃水, m 。

(7) 大开口：符合下述任一条件的甲板开口为大开口：

$$\frac{b}{B_1} \geq 0.7$$

$$\frac{l_H}{l_{BH}} \geq 0.89$$

$$\frac{b}{B_1} > 0.6 \text{ 和 } \frac{l_H}{l_{BH}} > 0.7$$

式中： b —— 开口宽度，m；如果有几个舱口并列，则 b 代表各开口宽度之和；

B_1 —— 在开口长度中点处包括开口在内的甲板最大宽度，m；

l_H —— 舱口长度，m；

l_{BH} —— 每一舱口两端横向甲板条中心线之间的距离，m；如舱口前或后再无其他舱口时，则 l_{BH} 量至舱壁为止。

(8) 应力范围 S (N/mm²)：引起结构疲劳的交变应力的应力范围，按下式计算：

$$S = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$$

式中： $\sigma_{\max}$ —— 应力循环的最大值，N/mm²；

$\sigma_{\min}$ —— 应力循环的最小值，N/mm²。

(9) 平均应力 σ_m (N/mm²)：引起结构疲劳的交变应力的平均值，按下式计算：

$$\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2$$

式中： $\sigma_{\max}$ —— 应力循环的最大值，N/mm²；

$\sigma_{\min}$ —— 应力循环的最小值，N/mm²。

1.4 疲劳分析方法

1.4.1 结构的疲劳分析可采用简化计算法和直接计算法。本指南主要基于简化计算法。

1.4.2 简化计算法主要包括下述内容：

- (1) 疲劳载荷计算；
- (2) 各应力范围分量的计算；
- (3) 应力范围的合成；
- (4) 应力集中系数的确定(如需要时)；
- (5) 累积损伤度的计算及衡准。

1.4.3 疲劳载荷所对应的超越概率水平取 10^{-8} ，相应的船舶设计寿命为 20 年。

1.4.4 船舶设计寿命期间内的应力范围循环总次数为 0.6×10^8 。

1.4.5 应力范围的长期分布采用二参数 Weibull 概率分布形式。

1.4.6 $S - N$ 曲线采用英国能源部经修正的非管节点的 8 根基本 $S - N$ 曲线。这些曲线适用于最小屈服强度小于 400N/mm^2 的钢材。

1.4.7 累积损伤的计算是根据 Palmgren-Miner 线性累积损伤理论。累积损伤度 D 按下式计算：

$$D = N_T \int_0^{\infty} \frac{f(S)}{N(S)} dS$$

式中： N_T —— 结构在其设计寿命期间的应力循环总次数；

S —— 应力范围；

$f(S)$ —— 应力范围长期分布的概率密度函数；

$N(S)$ —— 与应力范围 S 相对应的结构疲劳失效时的应力循环次数。

1.4.8 在疲劳分析时，应计及满载和压载两种工况。

1.4.9 在计算设计应力范围时应考虑腐蚀的影响，即在计算时应将实际结构尺寸扣除相应的腐蚀余量。由于疲劳是贯穿船舶一生的一个累积过程，因此疲劳分析时所用的腐蚀余量可取船舶设计寿命期间内腐蚀余量的一半。

第 2 章 疲劳分析

2.1 疲劳校核部位

2.1.1 一般只需对船舶中部货舱区域构件的连接头部位进行疲劳强度校核。

2.1.2 散货船应对下列构件的连接头部位进行疲劳强度校核：

- (1) 应选择 1 到 2 根货舱内主肋骨与顶边舱和底边舱连接的两端肘板；
- (2) 纵骨与横向强框架和横舱壁的连接头部位：
 - ① 在顶边舱和底边舱内应分别选择 1 根舷侧纵骨；
 - ② 在甲板纵骨和船底纵骨中应分别选择 1 到 2 根纵骨。

(3) 应选择一个货舱口角隅。

2.1.3 油船应对纵骨与横向强框架和横舱壁的连接头部位进行疲劳强度校核：

- (1) 在 $1.1d$ 至 $0.33d$ 的吃水范围 (d 为吃水) 内应选择 2 到 3 根舷侧纵骨；
- (2) 在甲板纵骨和船底纵骨中应分别选择 1 到 2 根纵骨。

2.1.4 集装箱船应对下列构件的连接头部位进行疲劳强度校核：

- (1) 在甲板纵骨、舷侧纵骨和船底纵骨中, 应分别选择 1 到 2 根纵骨与横向强框架和横舱壁的连接头；
- (2) 在大开口两端处和船中区域, 应分别选择一个货舱口角隅。

2.2 设计 $S-N$ 曲线的选取

2.2.1 $S-N$ 曲线(见图 2.2.1)由 B、C、D、E、F、F₂、G、W 八根曲线组成, 每根曲线表示一类结构节点所受的交变应力范围值与疲劳失效周期数的关系。

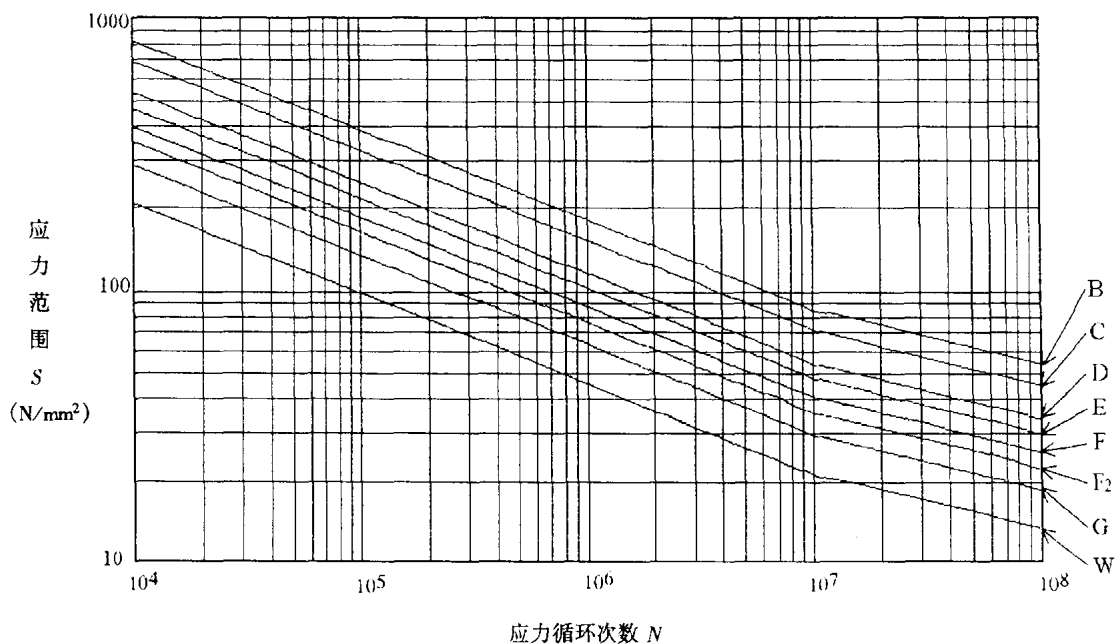


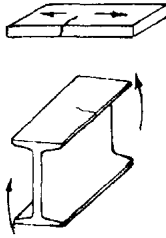
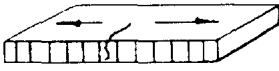
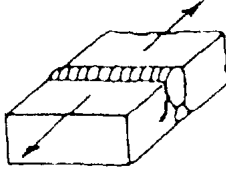
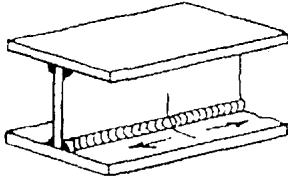
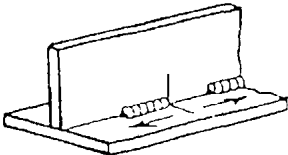
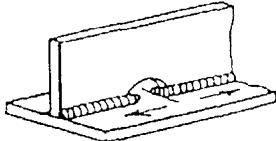
图 2.2.1

2.2.2 表 2.2.2 给出了选取 $S - N$ 曲线的一般原则。

2.2.3 在计算船体结构节点的疲劳强度时,应根据 2.2.2 给出的一般原则和结构节点的形式、受力方向和建造工艺,选取合适的 $S - N$ 曲线。表 2.2.3 给出了船体结构部分节点所对应的 $S - N$ 曲线。

2.2.4 在计及几何应力集中系数时,对于船体结构中的焊接节点应选用 E 曲线,对于船体结构中的非焊接节点应选用 C 曲线。

表 2.2.2

类 型	节点描述	图 例	$S - N$ 曲线
1	板和型钢的边缘,该边缘未经火焰切割,无裂纹和切口		B
2	板的边缘,该边缘经火焰切割,但无裂纹和切口		C
3	双面全焊透对接焊缝,载荷方向垂直于焊缝		E
4	连续填角焊缝,载荷方向平行于焊缝,基于邻接于焊缝处面板上的应力范围		D
5	间断填角焊缝,载荷方向平行于焊缝,基于焊缝端部处面板上的应力范围		E
6	具有开口的对接、填角或间断填角焊缝,载荷方向平行于焊缝,基于焊缝端部处面板上的应力范围		F

续表 2.2.2

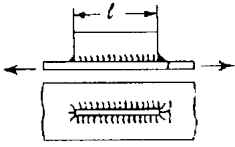
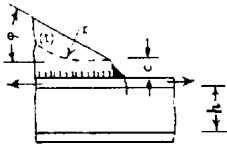
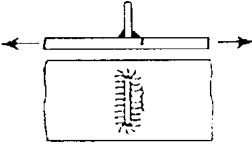
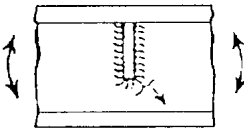
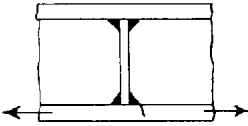
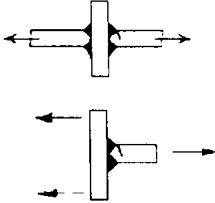
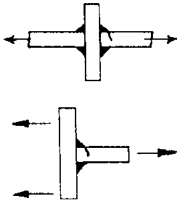
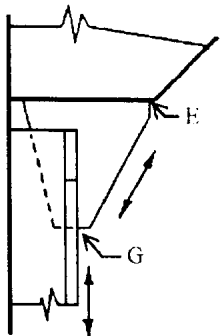
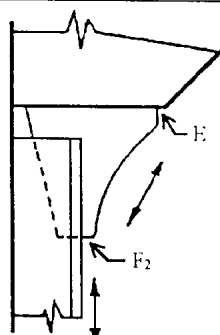
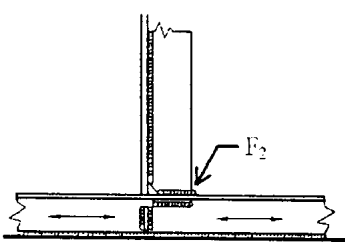
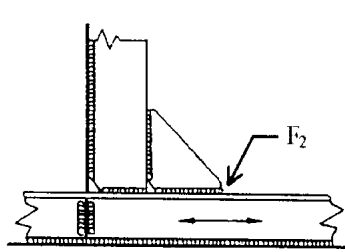
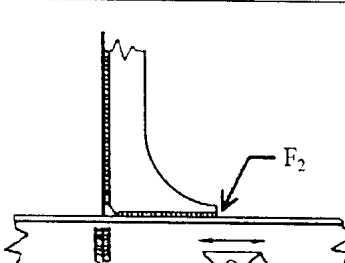
类型	节点描述	图 例	S - N 曲线
7	填角焊接的扣板, 载荷方向平行于焊缝: $l \leq 150\text{mm}$ $l > 150\text{mm}$		F F ₂
8	带光滑过渡(削斜或圆弧)的扣板焊接到梁的面板上, $c \leq 2t$, 最大为 25mm: $r \geq 0.5h$ $r < 0.5h$ 或 $\varphi \leq 20^\circ$ $\varphi > 20^\circ$ 时见节点类型 7		F F ₂
9	填角焊接的扣板, 载荷方向垂直于焊缝		E
10	扶强材焊接至桁材腹板上, 基于扶强材端部处桁材腹板上的主应力范围		E
11	扶强材焊接至桁材面板上, 基于焊趾处桁材面板上的主应力范围		F
12	十字形或 T 形接头, 全焊透		F
13	十字形或 T 形接头, 填角焊		F ₂

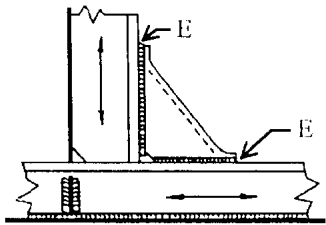
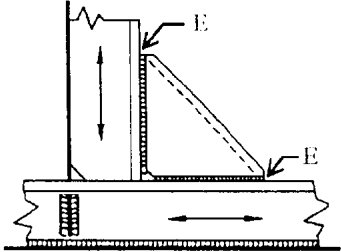
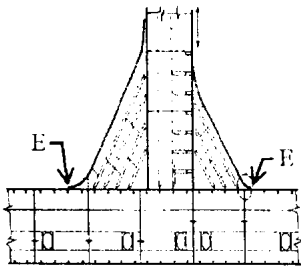
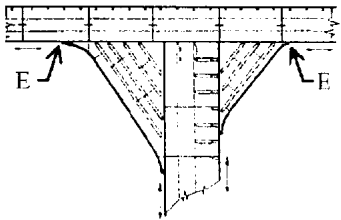
表 2.2.3

部 位	节点形式	备 注
散货船货舱内肋骨端部		选用 E 曲线时应计及应力集中的影响
		选用 E 曲线时应计及应力集中的影响
		选用 E 曲线时应计及应力集中的影响
		选用 E 曲线时应计及应力集中的影响
		选用 E 曲线时应计及应力集中的影响

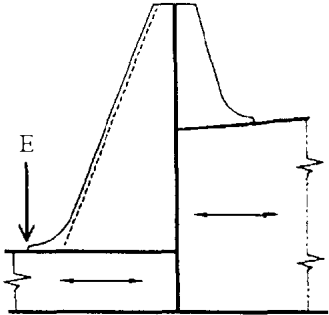
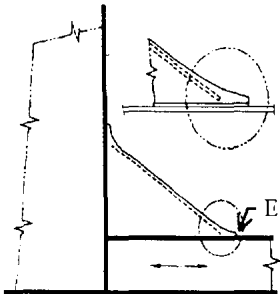
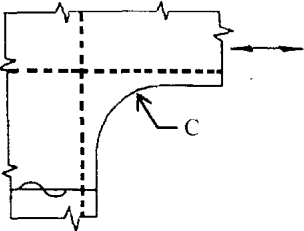
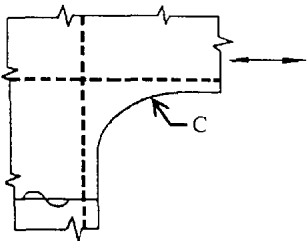
续表 2.2.3

部 位	节点形式	备 注
散货船货舱内肋骨端部		选用 E 曲线时应计及应力集中的影响
		选用 E 曲线时应计及应力集中的影响
纵骨与横框架的连接部位		
		
		

续表 2.2.3

部 位	节点形式	备 注
纵骨与横框架的连接部位		选用 E 曲线时应计及应力集中的影响
		选用 E 曲线时应计及应力集中的影响
油船横舱壁垂直腹板与双层底纵桁的连接部位		选用 E 曲线时应计及应力集中的影响
油船横舱壁垂直腹板与甲板纵桁的连接部位		选用 E 曲线时应计及应力集中的影响

续表 2.2.3

部 位	节点形式	备 注
油船横舱壁水平桁与舷侧纵骨或纵舱壁纵向扶强材的连接部位		选用 E 曲线时应计及应力集中的影响
		选用 E 曲线时应计及应力集中的影响
圆形舱口角隅		选用 C 曲线时应计及应力集中的影响
椭圆形舱口角隅		选用 C 曲线时应计及应力集中的影响

2.3 船体结构应力范围的 Weibull 分布

2.3.1 船体结构应力范围的长期分布假设为二参数 Weibull 分布, Weibull 分布的形状参数 ξ 应按下式计算:

$$\xi = 1.45 - 0.036f\sqrt{L}$$

式中: L —— 船长, m;

$$f = 1 - 0.08z/d_1 \quad \text{当 } z \leq d_1 \text{ 时;}$$

$$f = 0.92 + 0.08(z - d_1)/(D - d_1) \quad \text{当 } z > d_1 \text{ 时;}$$

当计算点在横舱壁上时, $f = 0.92$;

D —— 型深, m;

d_1 —— 计算工况下的吃水, m;

z —— 计算点距基线的高度, m。

2.4 许用应力范围

2.4.1 船体结构疲劳强度可用许用应力范围进行校核, 校核时用满载工况的设计应力范围。如不满足 2.4.4 的要求, 还应按 2.5 的规定计算结构的疲劳累积损伤度, 作进一步的校核。

2.4.2 Weibull 分布的形状参数 ξ 应按 2.3.1 的规定计算。

2.4.3 校核时所采用的 $S - N$ 曲线应按 2.2 的规定, 按校核节点的分类选择。

2.4.4 船体结构的疲劳强度应满足下式要求:

$$S_L \leq [S_L]$$

式中: S_L —— 满载工况下的设计应力范围, N/mm^2 , 按第 4 章的规定计算;

$[S_L]$ —— 许用应力范围, N/mm^2 , 根据所选择的 $S - N$ 曲线和 ξ 由表 2.4.1 查得。

许用应力范围 $[S_L]$, N/mm^2

表 2.4.1

ξ	S - N 曲线							
	B	C	D	E	F	F ₂	G	W
.60	1253.57	1055.68	802.21	703.69	598.72	527.84	438.42	315.86
.61	1214.51	1022.78	777.21	681.77	580.06	511.40	424.76	306.02
.62	1177.47	991.59	753.51	660.97	562.37	495.80	411.80	296.69
.63	1142.30	961.97	731.00	641.23	545.57	480.99	399.50	287.83
.64	1108.89	933.83	709.62	622.48	529.61	466.92	387.82	279.41
.65	1077.13	907.08	689.29	604.64	514.44	453.55	376.71	271.40
.66	1046.90	881.62	669.95	587.67	500.00	440.82	366.13	263.79
.67	1018.11	857.38	651.53	571.51	486.25	428.70	356.07	256.53
.68	990.67	834.27	633.97	556.11	473.15	417.14	346.47	249.62
.69	964.50	812.24	617.22	541.42	460.65	406.13	337.32	243.02
.70	939.52	791.20	601.24	527.40	448.72	395.61	328.58	236.73
.71	915.67	771.11	585.97	514.01	437.33	385.56	320.24	230.72
.72	892.87	751.91	571.38	501.21	426.44	375.96	312.27	224.97
.73	871.06	733.54	557.42	488.96	416.02	366.78	304.64	219.48
.74	850.18	715.97	544.06	477.25	406.05	357.99	297.34	214.22
.75	830.19	699.13	531.27	466.03	396.51	349.57	290.35	209.18
.76	811.04	683.00	519.01	455.27	387.36	341.51	283.65	204.35
.77	792.67	667.53	507.26	444.96	378.58	333.77	277.22	199.73
.78	775.05	652.69	495.98	435.07	370.17	326.35	271.06	195.29
.79	758.13	638.44	485.15	425.57	362.09	319.23	265.14	191.02
.80	741.88	624.76	474.75	416.45	354.32	312.38	259.46	186.93
.81	726.26	611.60	464.76	407.68	346.86	305.81	254.00	182.99
.82	711.23	598.95	455.15	399.25	339.69	299.48	248.74	179.21
.83	696.78	586.78	445.90	391.13	332.79	293.40	243.69	175.57
.84	682.87	575.06	436.99	383.32	326.14	287.54	238.82	172.06
.85	669.47	563.78	428.42	375.80	319.74	281.90	234.14	168.68
.86	656.56	552.90	420.15	368.55	313.57	276.46	229.62	165.43
.87	644.11	542.42	412.19	361.56	307.63	271.22	225.27	162.29
.88	632.10	532.31	404.50	354.82	301.89	266.16	221.07	159.27
.89	620.51	522.55	397.09	348.32	296.36	261.28	217.01	156.35
.90	609.32	513.13	389.93	342.04	291.01	256.57	213.10	153.53
.91	598.51	504.03	383.01	335.97	285.85	252.02	209.32	150.80
.92	588.07	495.23	376.33	330.11	280.86	247.62	205.67	148.17
.93	577.98	486.73	369.87	324.44	276.04	243.37	202.14	145.63
.94	568.21	478.51	363.62	318.96	271.38	239.26	198.72	143.17
.95	558.76	470.55	357.57	313.66	266.87	235.28	195.42	140.79

ξ	S - N 曲线							
	B	C	D	E	F	F ₂	G	W
.96	549.62	462.85	351.72	308.52	262.50	231.43	192.22	138.48
.97	540.77	455.39	346.06	303.55	258.27	227.70	189.13	136.25
.98	532.19	448.17	340.57	298.74	254.18	224.09	186.13	134.09
.99	523.88	441.17	335.25	294.07	250.21	220.59	183.22	132.00
1.00	515.82	434.39	330.09	289.55	246.36	217.20	180.40	129.97
1.01	508.01	427.80	325.09	285.16	242.62	213.91	177.67	128.00
1.02	500.42	421.42	320.24	280.91	239.00	210.72	175.02	126.09
1.03	493.07	415.23	315.53	276.78	235.49	207.62	172.44	124.23
1.04	485.93	409.21	310.96	272.77	232.08	204.61	169.95	122.44
1.05	478.99	403.37	306.52	268.88	228.77	201.69	167.52	120.69
1.06	472.25	397.70	302.21	265.09	225.55	198.86	165.16	118.99
1.07	465.71	392.18	298.02	261.42	222.42	196.10	162.87	117.34
1.08	459.34	386.82	293.95	257.85	219.38	193.42	160.65	115.74
1.09	453.15	381.61	289.99	254.37	216.43	190.81	158.48	114.18
1.10	447.14	376.54	286.14	250.99	213.55	188.28	156.38	112.66
1.11	441.28	371.61	282.39	247.71	210.76	185.81	154.33	111.19
1.12	435.58	366.81	278.74	244.51	208.03	183.41	152.34	109.75
1.13	430.03	362.14	275.19	241.39	205.38	181.08	150.40	108.35
1.14	424.63	357.59	271.74	238.36	202.80	178.80	148.51	106.99
1.15	419.37	353.16	268.37	235.40	200.29	176.59	146.67	105.66
1.16	414.24	348.84	265.09	232.53	197.84	174.43	144.87	104.37
1.17	409.24	344.63	261.89	229.72	195.45	172.32	143.13	103.11
1.18	404.37	340.53	258.77	226.99	193.13	170.27	141.42	101.89
1.19	399.62	336.53	255.73	224.32	190.86	168.27	139.76	100.69
1.20	394.99	332.63	252.77	221.72	188.65	166.32	138.14	99.52

注：中间值可用线性插值法求得。

2.5 累积损伤度计算

2.5.1 结构在满载工况下的累积损伤度 D_f 应按下式计算：

$$D_f = \frac{0.6\alpha\mu K_1 S_L^3}{18.42^{3/\xi} f_1 K} \times 10^8$$

式中： α —— 满载工况时的时间分配系数，按表 2.5.1(1)查得；

K —— $S - N$ 曲线参数，按表 2.5.1(2)查得；

S_L —— 满载工况下的设计应力范围，N/mm²，按第 4 章的规定计算；

ξ —— 满载工况下的形状参数，按 2.3.1 计算；