

DIN 3990

直齿及斜齿圆柱齿轮
承载能力计算的基本原理

刘新明 译

黑龙江省航空学会出版

1984年

内 容 简 介

本书详细地阐述了渐开线圆柱齿轮承载能力计算的基本原理。书中所使用的符号、术语和单位均与ISO相同。本书不仅论述了轮齿表面耐久性(点蚀)计算、轮齿强度计算以及胶合承载能力计算的基本原理,而且还阐明了应用范围及其影响因素,供从事圆柱齿轮设计、研究的工程技术人员使用,也可供高等学校师生参考。

本书原文包括1980年版DIN3990《直齿及斜齿圆柱齿轮承载能力计算的基本原理》第1、2、3、4、部分(Grundlagen für die Tragfähigkeitsberechnung Von Gerad- und Schrägstirnrädern, Teile 1, 2, 3, 4)及其补充部分—1981年版DIN 3990《圆柱齿轮承载能力计算》(工业齿轮应用标准)第10、11、70、71、72、73部分(Tragfähigkeitsberechnung für Stirnräder - Anwendungsnorm für Industriegetriebe - Teile 10, 11, 70, 71, 72, 73)。

目 录

第一部份 绪论及一般影响系统

0. 有关标准	7
1. 绪 论	17
2. 符号、术语及单位	13
3. 额定圆周力 F_t	25
4. 工况系数 K_A	27
5. 动载系数 K_V	29
6. 宽度系数 $K_{H\beta}$ 、 $K_{F\beta}$ 、 $K_{B\beta}$	52
7. 端面载荷分配系数 $K_{H\alpha}$ 、 $K_{B\alpha}$ 、 $K_{F\alpha}$	123
8. 螺旋线载荷分布系数 $K_{B\gamma}$ (胶合)	129
9. 轮齿刚度常数 C_x 、 C_y	131

第二部份 齿面耐久性计算(点蚀)

0. 有关标准	139
1. 适用范围和概述	139
2. 基本公式	142
3. 区域系数 Z_H 、齿轮单齿啮合系数 Z_E	146
4. 弹性系数 Z_E	150
5. 重合度系数 Z_ϵ	154
6. 螺旋角系数 Z_β	155
7. 疲劳极限值 σ_{Hlim}	157
8. 寿命系数 Z_N	159

9. 对润滑油膜的影响系数 $Z_L \cdot Z_V \cdot Z_R$	166
10. 材料配对系数 Z_w	174

第三部份 轮齿强度计算

0. 有关标准	176
1. 适用范围和概述	176
2. 基本公式	178
3. 齿形系数 $Y_F \cdot Y_{Fa}$; 齿顶系数 Y_{Fs}	186
4. 应力修正系数 $Y_S \cdot Y_{Sa}$ (应力集中系数)	210
5. 重合度系数 Y_ϵ	215
6. 螺旋角系数 Y_β	224
7. 疲劳极限值 $\sigma_{Flim} \cdot \sigma_{FE}$	225
8. 寿命系数 Y_{NT}	229
9. 齿根圆角敏感性系数 Y_δ	237
10. 表面系数 Y_R	249
11. 尺寸系数 Y_x	253

第四部份 胶合承载能力计算

1. 导 言	256
2. 胶合应力的一般影响因素	260
3. 闪温准则	268
4. 积分温度准则	276
5. 附 录	286
注 解	292

补充部份 圆柱齿轮承载能力计算 (工业齿轮应用标准)

第十部份 概 论

0.	有关标准	294
1.	引 言	295
2.	应用标准的适用范围	296
3.	图线、公式与常数的应用范围	299
4.	第3节应用范围之外的处理方法	301
5.	符号、术语及单位	301
6.	参考文献	305

第十一部分 持续传动齿轮

1.	点蚀承载能力和齿根承载能力的基本公式	307
2.	圆周力, 扭矩, 功率	309
3.	动载系数 K_v	310
4.	齿宽系数 $K_{H\beta}$ 、 $K_{F\beta}$	316
5.	端面系数 $K_{H\alpha}$ 、 $K_{F\alpha}$	323
6.	点蚀承载能力计算系数	331
7.	齿根承载能力计算系数	342
8.	示 例	347

第七十部份 工况系数 K_A

1.	系数 K_A	353
2.	原动机工作方式的示例	355
3.	从动机工作方式的示例	355

第七十一部份 标准试验齿轮的点蚀—疲劳极限 σ_{H1m}
 标准试验齿轮的(齿根—)基本强度 σ_{FE}

0. 有关标准	357
1. 引言	357
2. 符号、术语及单位	358
3. 疲劳极限 σ_{H1m} 和基本强度 σ_{FE} 的参考值	359

第七十二部份 材料质量与热处理

1. 结构钢	366
2. 黑心可锻铸铁	366
3. 铸铁材料(灰口铸铁、球墨铸铁)	367
4. 调质钢(不表面淬火的)	368
5. 渗碳钢——渗碳淬火	369
6. 调质钢——感应或火焰加热淬火	371
7. 氮化钢和调质钢——长时间气体氮化	373
8. 调质钢——短时间液体或气体氮化	375

第七十三部份 定时传动齿轮

1. 处理方法	377
2. 点蚀——耐久性	377
3. 齿根——耐久性	379

注 解 387

第一部分 绪论及一般影响系数

本标准规定了渐开线圆柱齿轮及圆锥齿轮付的承载能力计算方法，并规定了影响系数的计算方法。

0 有关标准

- DIN 3960 渐开线圆柱齿轮及圆锥齿轮付的概念与参数
- DIN 3961 圆柱齿轮公差：基本原理
- DIN 3962 第一部分 圆柱齿轮公差：单因素偏差的公差
- DIN 3962 第三部分 圆柱齿轮公差：齿向误差的公差
- DIN 3962 第三部分 圆柱齿轮公差：分度误差的偏差
- DIN 3963 圆柱齿轮公差：滚动误差的偏差
- DIN 3964 圆柱齿轮传动机座上的轴距偏差和轴的位置偏差
- DIN 3967 齿轮传动配合制度：齿面侧隙，齿厚，齿厚公差
- DIN 701-1976 国际啮合专用术语，几何尺寸符号
- DIN 1328-1975 渐开线圆柱齿轮 ISO 公差制度

1. 绪 论

ISO—DIN 计算方法为齿轮的承载能力计算提供了一个统一的基本原理，可大力推广使用。

本标准考虑了未来的知识与发展，并对经验交流作了说明。

本标准包括下列承载能力的计算方法：点蚀、断齿及胶合。这些方法的运用需要先对每一使用情况下的所有影响因素有一个切实的估计，特别是许用应力、适当的损伤概率以及相应的安全系数等。

为此应该加以重视的某些观点，随后一一阐明。

1.1 各种使用场合

本标准适用于由齿面点蚀、断齿及胶合引起的失效。

对于在各种使用场合里要求允许有很大变化的说明是具有特殊意义的。

可以把许多齿轮都视为易损件，并允许有相当高的损伤概率和较短的寿命。

而在另外一些情况下，却要求齿轮有极高的工作可靠性和极长的寿命。

也有个别情况，要求在较短的寿命期内有非常高的可靠性（例如载人空间运输工具的齿轮），或者要求寿命很长，在设计寿命期内损伤概率达10%的一些机械（例如：易于维修的农机齿轮）。

在大约10000次应力循环条件下比较各种齿轮设计指出，在相同的材料、精度等级、尺寸和结构情况下，汽车传动装置的主传动齿轮的承载能力约相当于飞机或空间运载工具主传动齿轮的四倍。

对于引起如此大的差别的基本想法，可通过以下三种使用场合加以说明：

(1) 汽车主传动齿轮

为了获得足够的齿根强度，（在较低的圆周速度下工作时）选用较大的模数。通常，齿轮齿数较少（可达 $Z_1 = 14$ ），而对于尺寸相同、圆周速度较高的传动，却选用 $Z_1 = 28$ 左右。因此，前者的齿根承载能力可比后者大约提高一倍。

车辆齿轮的可靠度可以低到80%至90%，而工业高速齿轮则约为99%至99.5%。

此外，批量大的车辆齿轮与单件或小批量的相比，通常要用较好的优质材料。

从轮齿强度的观点来看，上述车辆齿轮可以比同样尺寸的航空齿轮或透平齿轮承受高数倍的扭矩。

实际上，使航空及透平齿轮的承载能力受限制的原因，首先是由于齿面损伤，而不是由于轮齿折断。

对于只需要短寿命(轮齿载荷循环次数低于 10^5)、较低圆周速度的车辆齿轮,可以允许略微有点冷作变形、点蚀及磨粒磨损。还允许比寿命较长的高速齿轮有更高的齿面应力。

(2) 航空和宇航的主传动齿轮

在直升机的水平旋翼传动及宇航运载工具的第一级火箭的泵传动中,可以看到这种传动齿轮的例子。它需要采用最优质的材料和高精度的齿轮。这种齿轮必须经过大量试验,例如要用10或20组齿轮在总设计寿命条件下进行试验。根据试验结果,规定出允许的磨损值、润滑油量和喷油位置都应调整到最佳状态。

正因如此,它允许承受比较高的载荷,其寿命(按载荷循环次数计算)约相当于典型车辆齿轮的100倍,其圆周速度比典型车辆齿轮约高10倍,而故障概率仅为0.1%至1%。由于它不允许有磨损或损伤现象,所以它绝不允许承受象车辆齿轮那样高的载荷。

(3) 工业用蒸汽轮机或燃气轮机传动齿轮

通常,它们的圆周速度在50米/秒以上。为了尽量避免发生胶合与磨损,啮轮齿数一般取在30或更多一些(一对齿轮付取 $Z_1/Z_2 = 45/248$ 并不罕见)。

工业透平齿轮,当其正常寿命高于 10^{10} 次轮齿载荷循环次数时,其超寿命概率要大于98%。由于费用太高,大都不进行大量的样机试验。

因此,对于透平齿轮的承载能力选用了相当高的安全系数。

1.2 安全系数

上述各种使用场合的研究表明,必须在可行的成本费用情况下保证运转的可靠性,来仔细地选择允许的损伤概率和安全系数。

此外，所有的影响因素分析得愈精确，则所需贮备的承载能力越小，设计也就更加经济。

除了这些观点和齿面承载能力（DIN 3990 第一部份）、齿根承载能力（DIN 3990 第三部份）或胶合承载能力（DIN 3990 第四部份）所提出的要求之外，还应当根据下列几点影响因素仔细考虑之后，才能选定安全系数：

a) 计算中所使用的疲劳极限值仅对一定的损伤概率有效（第二部份和第三部份的第7节中所载明的材料数值适用于损伤概率为1%的情况）。

随着安全系数的增大，损伤的危险就减小；反之，随着安全系数减小，则损伤的危险就增加。

b) 在设计过程中有许多影响系数是不知道的。因此，必须用予先给定的公差加以估算。对制造时的尺寸偏差、材料质量以及热处理也要加以考虑。同样，有关轮齿承受的实际载荷、齿轮的修整、润滑以及维护情况等也只能作假定。这些因素有时对可靠性影响很大，是很重要的。

c) 有时根据这些假设的可靠性和所要求的工作可靠性（损伤情况）选择较大或较小的安全系数。

1.3 概 述

本标准所提供的各种影响系数，都是根据研究和工作经验得来的。必须加以区别：

a) 由齿轮几何关系或习惯所决定的系数，它们应根据所给出的公式进行计算。

b) 考虑多种影响的系数或单独处理的系数（但事实上彼此间可能有一定的相互影响而不能建立定量关系），包括系数 K_A 至 V ， K_H 或 K_F 以及影响许用应力的诸系数。

这些系数可以用几种方法来确定。如果必要的话，可通过附加下标 A

原书缺页

原书缺页

2. 符号、术语及单位

本标准所用的术语是根据 ISO 701-1976 和 ISO/R 31 (和 DIN 3960) 的符号确定的, 并作了一些补充。此外, 还包括 ISO 1328-1975 的代号。

主要符号(表 2.1)及下标(表 2.2)在某些情况下已合并使用; 表 2.3 包括常用的符号、术语及其计算单位。

对于和某些个别系数计算有关的那些符号, 在有关章节中给出。

常用的工程单位与国际单位(SI 单位)之间的换算系数如下(每一项的第二行为圆整值, 该值在大多数情况下是足够精确的):

$$\begin{aligned}
 1 \text{ kg (公斤力)} &= 9.80665 \text{ N} & 1 \text{ N (牛顿)} &= 0.101971 \text{ kg} \\
 &\approx 9.81 \text{ N} & &\approx 0.102 \text{ kg} \\
 1 \text{ lbf (磅力)} &= 4.44822 \text{ N} & 1 \text{ N} &= 0.224809 \text{ lbf} \\
 &\approx 4.45 \text{ N} & &\approx 0.225 \text{ lbf} \\
 1 \text{ PS (公制马力)} &= 0.735499 \text{ Kw} & 1 \text{ Kw (瓦)} &= 1.35962 \text{ PS} \\
 &\approx 0.735 \text{ KW} & &\approx 1.36 \text{ PS} \\
 1 \text{ hp (英制马力)} &= 0.74570 \text{ KW} & 1 \text{ KW} &= 1.34102 \text{ hp} \\
 &\approx 0.746 \text{ KW} & &\approx 1.34 \text{ hp} \\
 1 \text{ in (吋)} &= 25.4 \text{ mm} & 1 \text{ mm (毫米)} &= 0.0394 \text{ in}
 \end{aligned}$$

表 2.1 主要代号

a	中心距(注 1)	mm
b	齿 宽	mm
c	常 数	mm

d	直径 (不带下标时为分度圆直径)	mm
e	辅助量	
f	单项误差	μm
g	啮合线长度	mm
h	齿高 (不带下标时, 表示从齿根圆到齿顶圆的全齿高)	mm
i	传动比	
m	模数; 质量	mm; kg
n	转 数	1/s
p	齿 距	mm
q	辅助系数	
r	半径 (不带下标为分度圆半径)	mm
s	齿 厚	mm
u	齿数比 $Z_2/Z_1 \geq 1$ (注 1)	
v	圆周速度 (不带下标时, 表示分度圆的圆周速度)	m/s
w	单位齿宽上的载荷 (F_t/b)	N/mm
x	齿顶高变位系数	
y	跑合量 (下标只有 α 或 β)	μm
z	齿 数 (注 1)	

A、B、C、D	啮合线段上的点(从韶轮齿根到齿顶,只考虑几何关系,不管是韶轮主动还是大齿轮主动)	
C	节点;常数;系数	
C	齿廓修缘量	μm
D	直径(设计)	mm
E	弹性模量;杨氏模量	N/mm^2
F	综合误差及累积误差;作用力	$\mu\text{m}; \text{N}$
G	剪刀模量($G = \tau/\gamma$)	N/mm^2
H B	布氏硬度	
HRC	洛氏硬度(刻度C)	
HV	维氏硬度	
K	关于齿轮载荷的系数;常数	
L	长度(设计)	mm
M	弯矩	Nm
N	数目;指数;应力循环数;参考速度	
P	传递功率	KW
R	粗糙度	μm
S	安全系数	
T	转矩;公差	$\text{Nm}; \mu\text{m}$
W	重量的系数	

X	抗胶合的系数	
Y	齿根应力的系数	
Z	接触应力的系数	
α	压力角(不带下标时,表示分度圆柱上的压力角)	°
β	螺旋角(不带下标时,表示分度圆柱上的螺旋角)	°
γ	辅助角;扭转角	°
δ	变形量	μm
ε	重合量	
η	润滑油动力粘度	$\text{MPa}\cdot\text{s}$
t	温度	°C
μ	摩擦系数	
ν	泊桑比;润滑油运动粘度	$\text{mm}^2/\text{s}; \text{cSt}$
Q	曲率半径;密度	$\text{mm}; \text{kg}/\text{mm}^3$
σ	应力,强度	N/mm^2
τ	剪应力	N/mm^2
ψ	辅助角	°
ω	角速度	rad/s
F	啮合线参量	

(注1): 对于外啮合传动 a 、 u 及 Z_2 为正值;

对于内啮合传动 a 、 u 及 Z_2 为负值, Z_1 为正值。