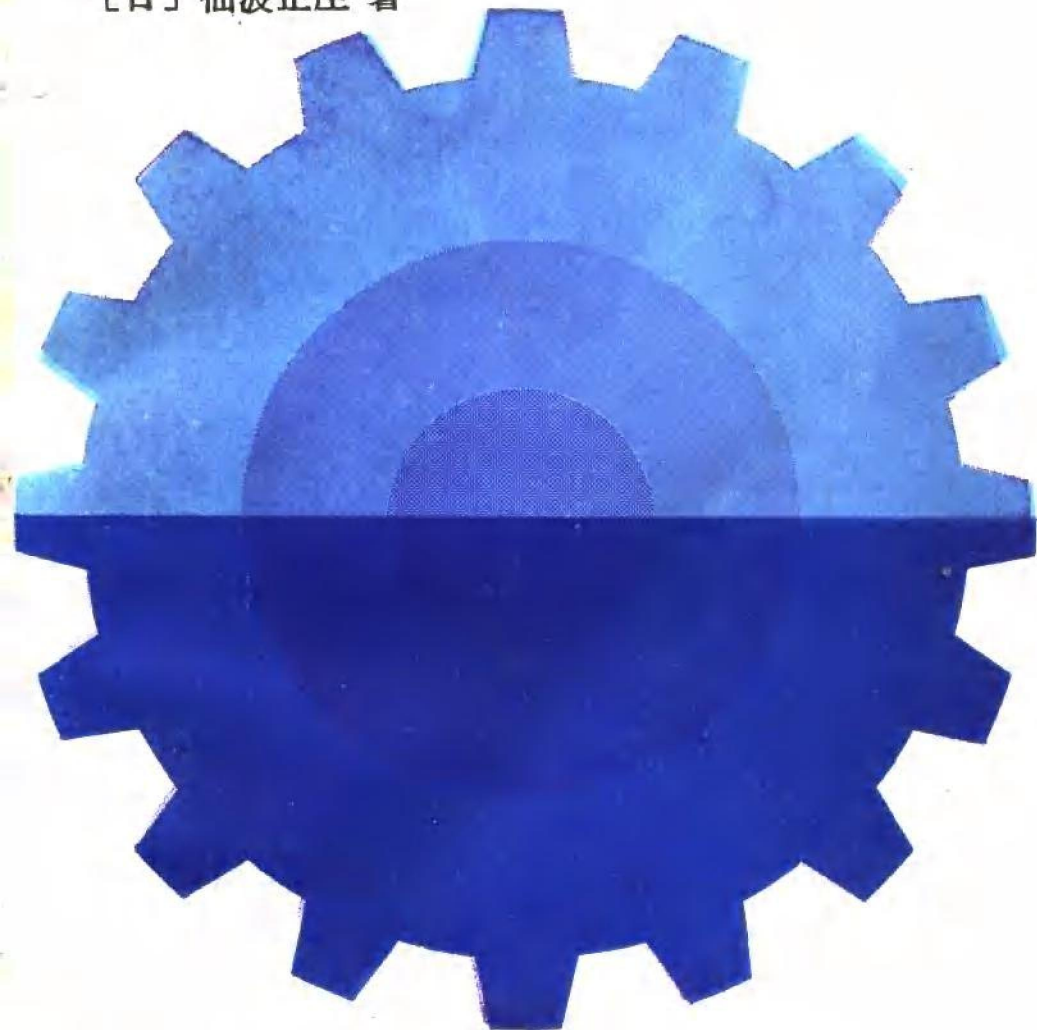


[日] 仙波正庄 著



2.41

# 齿轮强度计算

CHILUN QIANGDU JISUAN

化学工业出版社

## 序

1978年出版了一本专门论述齿轮强度的著作，即《齿轮》第3卷新版，在该书的序中写道：“最近日本机械学会将出版一本详细论述强度计算公式的著作，因此本书只限于引用文献”。那本书叫做《齿轮强度设计资料》，是1979年出版的，书中介绍了各国发表的许多计算公式。对此，我接连不断地受到来自各方面的询问：“在使用不同的强度计算公式计算时，会得到显著不同的结果，究竟哪种计算公式最可靠呢？”。要知道，影响齿轮强度的因素非常多，应该说，绝对正确地计算齿轮强度是不可能的。然而，如果必须挑一种公式计算的话，究竟推荐哪一种？所使用的公式存在哪些主要问题？这就是在本书里我以浅薄的知识写的内容。尽管关于齿轮强度问题从上个世纪开始就发表了浩如烟海的研究成果，可是，我深深感到，对这个问题，充其量也只能解答到这种程度。

.....

现在我在写第4卷（新版）的原稿，看着眼前堆积成山的文献，真有日暮而路尚远之感。

仙波正庄

1979年12月

## 译者序

本书是日本工学博士仙波正庄先生编著的，仙波正庄先生生于大正3年（1914年），是日本齿轮方面的权威，他的主要著作除本书外，还有：《齿轮（全10卷）》、《小型齿轮》、《齿轮的误差与强度》（已有汉译本）、《高强度齿轮设计》（已有汉译本）、《齿轮的变位》等等。

众所周知，齿轮强度计算方法很多，如：BS（英国标准）法、DIN（西德标准）法、ISO（国际标准化组织）法、ГОСТ（苏联国家标准）法、AGMA（美国齿轮制造者协会）法、JSME（日本机械学会）法、JGMA（日本齿轮工业协会）法、Niemann（尼曼）法、Кудрявцев（库德略夫采夫）法、Кистьян（基茨扬）法等等，不胜枚举。这些方法各有其特点，由于它们的考虑因素和处理方式不同，因此其繁简程度和计算结果也不相同，这就不可避免地带来这样一些问题：究竟哪种计算方法可靠呢？所采用的计算方法存在哪些问题呢？本书回答了这些问题。

在本书中，作者首先举出几种具有代表性的强度计算方法，扼要地指出其存在的问题，阐明了推荐使用AGMA计算方法的理由，并对它进行了全面的介绍和深入的分析，在论述过程中，作者引用了各国著名学者的大量理论研究和试验研究的结果，使其内容格外丰富。在此应着重指出的是，书中所论述的很多问题，虽然是针对AGMA计算方法谈的，但同样也适用于其他计算方法，因此，本书对了解当前齿轮强度计算的水平，加深理解各种齿轮强度计算方法中存在的问题也颇有参考价值。此外，书末还列出大量参考文献，为进一步查阅和深入研究提供了方便。

除圆柱齿轮和锥齿轮外，本书还介绍了几种有代表性的蜗杆副强度计算方法，并对它加以分析比较。

本书数据完整，可以很方便地用于实际计算。书中AGMA算法使用的是英制单位，计算时，可以事先将已知数据的公制单位换算成英制单位，这样便可直接使用书中的全部图表和公式。为便于读者使用，译者在书末给出两种单位制的换算关系。

译本对原书中已发现的错误作了订正，除明显的印刷错误外，一般都附译者注加以说明。

由于时间仓促，水平有限，错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

译者

1982年于北京

# 目 录

## I 圆柱齿轮的强度计算

I.1 绪言 .....	1
I.2 具有代表性的强度计算方法 .....	3
I.2.1 英国标准的计算方法 .....	3
I.2.2 西德标准的计算方法 .....	4
I.2.3 日本机械学会的计算方法 .....	4
I.2.4 日本齿轮工业协会标准的计算方法 .....	5
I.2.5 ISO标准的计算方法 .....	5
I.2.6 AGMA标准的计算方法 .....	7
I.3 AGMA的齿面强度计算 .....	8
I.4 对AGMA齿面强度计算的解释和分析 .....	23
I.4.1 关于“1 范围” .....	25
I.4.2 关于“2 齿面强度的基本公式” .....	28
I.4.3 关于“3 许用功率的公式” .....	31
I.4.4 关于“4 节圆上的圆周力 $W_t$ ” .....	32
I.4.5 关于“5 几何系数 $I$ ” .....	33
I.4.6 关于“6 载荷分布系数 $C_m$ ” .....	45
I.4.7 关于“7 尺寸系数 $C_s$ ” .....	56
I.4.8 关于“8 表面状况系数 $C_f$ ” .....	56
I.4.9 关于“9 动载系数 $C_v$ ” .....	57
I.4.10 关于“10 过载系数 $C_o$ ” .....	62
I.4.11 关于“11 安全系数 $C_R$ ” .....	68
I.4.12 关于“12 寿命系数 $C_L$ ” .....	70
I.4.13 关于“13 温度系数 $C_T$ ” .....	72
I.4.14 关于“14 硬度比系数 $C_H$ ” .....	73
I.4.15 关于“15 许用接触应力值 $s_{ac}$ ” .....	73
I.4.16 关于润滑和圆周速度的影响 .....	81

I.5	AGMA的齿根强度计算 .....	83
I.6	对AGMA齿根强度计算的解释和分析 .....	106
I.6.1	关于“5 几何系数J” .....	106
I.6.2	关于“6 载荷分布系数 $K_H$ ” .....	117
I.6.3	关于“7 尺寸系数 $K_s$ ” .....	118
I.6.4	关于“8 动载系数 $K_v$ ” .....	118
I.6.5	关于“10 安全系数 $K_R$ ” .....	119
I.6.6	关于“11 寿命系数 $K_L$ ” .....	119
I.6.7	关于“12 温度系数 $K_T$ ” .....	121
I.6.8	关于“13 许用应力 $s_{at}$ ” .....	122
I.6.9	带轮缘和腹板的齿轮的齿根强度 .....	124
I.6.10	纵向重合度小的斜齿轮的几何系数计算 .....	125
I.6.11	关于AGMA强度计算的结论 .....	135
I.7	各行业的强度计算方法 .....	136
I.7.1	船舶齿轮 .....	136
I.7.2	汽车齿轮 .....	142
I.7.3	高速斜齿轮和人字齿轮 .....	155
I.7.4	减速器和增速器 .....	158
I.7.5	冶金机械齿轮 .....	161
I.7.6	仪表齿轮 .....	163
I.8	胶合强度计算 .....	165
I.8.1	飞机齿轮和航天齿轮 .....	166
I.8.2	胶合指标 .....	175

## II 锥齿轮的强度计算

II.1	锥齿轮强度计算的主要问题 .....	177
II.2	具有代表性的强度计算方法 .....	178
II.2.1	英国标准 .....	178
II.2.2	西德标准的强度计算方法 .....	178
II.2.3	日本齿轮工业协会的强度计算方法 .....	179
II.2.4	AGMA标准的强度计算方法 .....	179
II.3	AGMA的齿面强度计算 .....	179
II.4	对AGMA齿面强度计算的解释和分析 .....	193

II.4.1	关于“1 范围”	193
II.4.2	关于“2 基础点蚀公式”	193
II.4.3	关于“4.2 弹性系数 $C_D$ ”	194
II.4.4	关于“4.5 动载系数 $C_v$ ”	194
II.4.5	关于“4.9 载荷分布系数 $C_m$ ”	194
II.4.6	关于“4.11 几何系数 I”	196
II.4.7	关于“4.12 许用接触应力值 $s_{ac}$ ”	197
II.4.8	关于“4.13 寿命系数 $C_L$ ”	198
II.4.9	关于其他系数	198
II.4.10	关于附录 A 和 B	199
II.5	AGMA的齿根强度计算	210
II.6	对AGMA齿根强度计算的解释和分析	225
II.6.1	关于“4.7 尺寸系数 $K_s$ ”	226
II.6.2	关于“4.9 几何系数 J”	226
II.6.3	关于“4.10 许用弯曲应力 $s_{at}$ ”	227
II.6.4	关于“4.11 寿命系数 $K_L$ ”	228
II.6.5	关于其他系数	228
II.6.6	关于附录	228

### III 蜗杆副的强度计算

III.1	蜗杆副强度计算的主要问题	235
III.2	英国标准的圆柱蜗杆副强度计算方法	239
III.3	AGMA的圆柱蜗杆副强度计算方法	247
III.4	东德标准的圆柱蜗杆副强度计算方法	254
III.5	对东德标准的解释和分析	273
III.6	各种计算方法的比较	278
III.7	AGMA的环面蜗杆副强度计算方法	283
III.8	苏联的环面蜗杆副强度计算方法	289

### 附 录

(1)	AGMA的圆柱齿轮强度计算表	292
(2)	AGMA的锥齿轮强度计算表	293

文献 .....	295
索引 .....	312

译者附录

单位制换算表 .....	321
--------------	-----



# I 圆柱齿轮的强度计算

## I.1 绪 言

1965年出版的赛赫-索斯 (Seherr-Thoss)<sup>[209]</sup>所著单行本《齿轮技术的发展》标有“齿形与强度计算”的副标题,在该书237页的篇幅中,介绍了自古以来对齿轮强度及其计算的研究情况。据该书介绍,以发明蒸汽机而闻名的詹姆斯·瓦特 (James Watt) 早在1785年为计算齿轮传递的许用功率H而发表了如下公式:

$$H = \frac{p^2 f d n}{306} \quad \text{马力}$$

式中  $p$ ——周节,英寸;  
 $f$ ——齿宽,英寸;  
 $d$ ——齿轮的直径,英寸;  
 $n$ ——齿轮的转速,转/分。

此外,这本书还介绍了18世纪和19世纪15个人发表的计算公式。以后,对齿轮的强度问题,进行了大量的理论和试验研究,发表了很多强度计算公式。但是,影响齿轮强度的因素很多,而齿轮的使用条件又是多种多样的,因此想得到通用的强度计算公式极为困难。

所以我在1956年出版的《齿轮》第3卷旧版<sup>[115]</sup>的前言里,写了如下的一段话。

“本书所论述的齿轮强度问题,很早就有许多人在进行研究,然而影响齿轮强度的因素很多,以至目前还得不到明确的结论。本书介绍了迄今发表的、具有代表性的齿轮强度计算方法,但最终所得到的结论是,不管采用哪种方法计算,只能得到极不准确的结论。关于更正确地计算齿轮强度的方法,今后一定会继续不断地研究下去,但是,我想这恐怕是个不大好解决的困难问题吧。”

这段前言是20多年以前写的，在这段时间里，有关齿轮强度的论文与日俱增，并且又发表了许多新的齿轮强度计算方法，但即使是现在，我认为上述的观点也毫无改变的必要。此外，作者在同一版上还引用了梅里特（Merritt）的以下观点<sup>①</sup>。

“影响齿轮实际载荷的变数非常多，而且是不确定的。例如，在试验室里，用8倍于英国标准所规定的载荷进行试验，回转次数即使达到 $10^8$ ，也还有许多齿轮处于良好状态；与此相反，在工业上用的齿轮，虽然其载荷达不到英国标准的额定值，却有不少齿轮产生了许多故障。像这种800%的差别，必有不明原因的变化，除非探明其原因，而每个系数很小的差异决不会造成这种后果。”

作者在1978年出版的著作里，举出许多强度计算公式之后，提出如下主张<sup>②</sup>。

“如上所述，各国发表了许多强度计算公式，但我认为，其中任何一个都不能正确地计算出齿轮的强度，这是因为，在齿轮强度计算公式中，有许多影响因素没考虑进去，即使是考虑到了，如动载系数等，也难以计算得非常准确。巴特沃思（Butterworth）认为，英国标准的强度计算公式并不是设计齿轮的唯一基准，此外还有几个计算公式，但是哪个都不能得到最经济的尺寸，只有依靠经验才能制造出理想的齿轮装置。再有，费希尔（Fisher）指出：在齿面强度计算中，赫芝（Hertz）应力越大，就越容易引起损伤，但是不能得出损伤是由赫芝应力决定的这样的结论<sup>③</sup>；金属的疲劳是由于在全部金属的原子晶格上的累积塑性变形所引起的，齿轮也不例外，而赫芝理论则假设变形是弹性的，因此齿面强度计算公式的精确性是有限度的。另外，关于强度计算公式的精确度，白金汉（Buckingham）提出了正确的观点，这个问题过去早已阐明<sup>④</sup>。他强调指出，必须在实际使用的状态下观察和检验齿轮的强度，因

① 参阅第3卷旧版<sup>[115]</sup>736页。

② 参阅第3卷<sup>[103]</sup>187页。

③ 对于这个问题，费希尔进行了详细地研究，参阅第3卷<sup>[103]</sup>148页。

④ 参阅第3卷旧版<sup>[115]</sup>715页。

为在试验室里不可能再现实际的使用状态。”

因此，正确地计算齿轮强度是十分困难的，然而在需要进行近似计算的时候，究竟使用哪一个计算公式更恰当？这是需要考虑的问题。下面针对现在发表的、具有代表性的计算公式阐述作者的意见。

## I.2 具有代表性的强度计算方法

### I.2.1 英国标准的计算方法

英国1932年制定了圆柱齿轮标准，1940年进行了修订<sup>[1]</sup>，其中关于齿面和齿根强度计算部分一直使用到现在。但是这个标准是40年前制定的，在此期间进行的许多研究结果都表明，对其中的某些方面需要加以修正<sup>①</sup>。在此计算方法中，由于对采用本标准所规定的特定变位方式的齿轮，计算好了相应于齿形系数的强度系数及与齿面强度有关的节点区域系数，因此，对于不采用这个变位方式的齿轮，使用这个计算方法是有问题的。这个标准没考虑误差的影响，因此也就没有考虑由误差产生的动载荷和沿齿向载荷分布不均匀的影响，这就是说，不管精度等级如何，许用载荷都是一样的。还有，哈里逊（Harrison）提出了作为BGMA（英国齿轮工业协会）标准的公式<sup>[133]</sup>，这反映了即使在英国，对现在的标准也产生了很多怀疑。另一方面，英国积极参加了ISO<sup>②</sup>圆柱齿轮强度计算标准（后面说明）的制定工作。在这个标准制定后，估计英国也会把它作为国家标准。此外，澳大利亚<sup>[4]</sup>和印度<sup>[7]</sup>都把英国标准的计算公式作为国家标准，捷克斯洛伐克的标准<sup>[208]</sup>也与英国标准的形式相似。

在英国标准中，速度系数是有疑点的一个问题。即在它的许用载荷计算公式里引入了齿根强度和齿面强度的速度系数 $X_b$ 和 $X_c$ ，它们与许用载荷成正比。这两个速度系数可以根据转速（转/分）和每日运转时间由图求得，而把每年运转310天、使用7年作为基准

① 有关文献参阅第3卷<sup>[103]</sup>184页。

② 国际标准化组织。——译者注

寿命。若每天运转12小时，则总工作时间为  $310 \times 7 \times 12 \approx 26000$  小时，这个每日运转时间为12小时，转速为1转/分的齿面强度速度系数  $X_c$  是1。当每日运转时间为1.2、0.12或0.012小时时，则在基准寿命期间的总工作时间分别为2600、260或26小时，在这些总工作

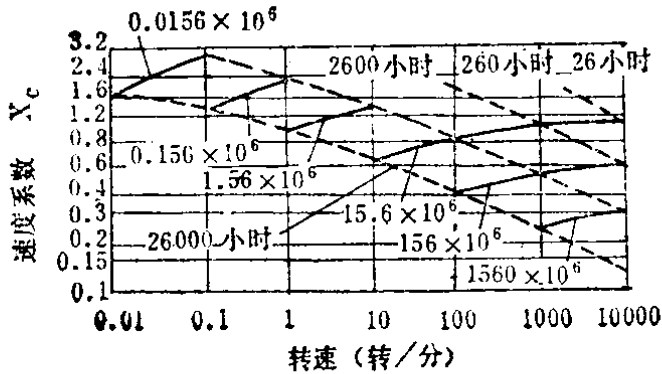


图 I.1<sup>[121]</sup>

作时间下的系数  $X_c$  值可以用图 I.1 中的虚线来表示。该图中的 6 条实线表示循环次数在  $0.0156 \times 10^6 \sim 1560 \times 10^6$  范围内保持一定时，求  $X_c$  的曲线。根据这个图，当循环次数一定时， $X_c$  随速度的增大而增大，也就是许

用载荷随之而增大，这点值得怀疑。

### 1.2.2 西德标准的计算方法

西德1963年提出的圆柱齿轮的强度计算标准<sup>[13]</sup>在1970年基本上完成，其动载系数和齿向载荷分布系数的计算方法还没决定，那时材料的许用应力等部分还只是草案，以后这些草案又被撤回<sup>[10~21]</sup>①，因此，这个标准直到现在还未完成。西德是ISO圆柱齿轮强度计算标准制定工作的组长国，因此，将来这个标准制定后，可能会原封不动地作为西德的标准②。东德也制定了圆柱齿轮强度计算的标准，但是作者只有机会知道其中的一部分<sup>[22]</sup>③。

### 1.2.3 日本机械学会的计算方法

日本机械学会在1964年组织了旨在确定圆柱齿轮强度计算方法的分科会，作者也曾是这个分科会的委员。1966年发表了这个计算方法<sup>[118]</sup>，那时各种材料的许用齿面应力和齿根应力还没确定，只给出尼曼 (Niemann) 发表的数值作为参考。以后，组织了确定这个

① 关于更详细的经过，参阅第3卷<sup>[103]</sup>184页。另外，这个标准的修订草案<sup>[220]</sup>已经发表。

② 1979年发表了这样的修订草案<sup>[299]</sup>。

③ 有介绍这个强度计算公式的论文<sup>[213]</sup>。这个公式与实际的结果相吻合，被称为对提高齿轮装置的可靠性是有用的公式<sup>[216]</sup>。

许用应力的分科会，暂且对 S43C (调质)、SCM3 (调质) 以及 SCM21 (渗碳淬火) 三种材料在几个大学进行了圆辊试验、重复压缩试验、动力循环式试验，但是，同一种材料由于试验的大学不同，试验的方法不同，而使结果出现了相当大的差别，因而没有取得有关许用应力的充分结论<sup>[119,120]</sup>。并且，上述计算公式存在着很多问题<sup>[119]</sup>，进行修改<sup>[121]</sup>后，于1979年发行了单行本<sup>[306]</sup>①，这就是它的最终计算方法。其中材料的许用应力暂且采用了尼曼的数值，由于使用这个公式计算很费时间，因此作者不推荐这个计算方法。

#### 1.2.4 日本齿轮工业协会标准的计算方法

日本齿轮工业协会于1974年和1975年制定了圆柱齿轮的强度计算标准<sup>[123,124]</sup>，作者也参与了这项工作。这些标准制定的时间不长，必须不断地以实用的齿轮采用这个方法的结果为根据加以修正。

#### 1.2.5 ISO 标准的计算方法

ISO中，关于齿轮的分科会是TC60，它制定了齿轮术语、齿轮符号、圆柱齿轮的基本齿廓、标准模数、圆柱齿轮的精度以及其它几个标准。1952年以来，在其所属的工作组进行了制定圆柱齿轮强度计算标准草案的工作。它的初稿在日本已经介绍过<sup>[128]</sup>，以后，还有关于进一步修订的草案概要的报告<sup>[306]</sup>②，1978年这个草案几乎未经任何修改就成为工作组的正式草案，并作为第一草案提交各国。这个草案的第一部分“总论和一般的影响系数<sup>[243]</sup>”叙述了齿面强度和齿根强度计算公式中共同使用的系数（例如动载系数），第二部分“齿面强度（点蚀）的计算<sup>[244]</sup>”和第三部分“齿根强度的计算<sup>[245]</sup>”分别叙述了每个计算公式及其所包括的系数③。

1978年4月，在西德召开的TC60的会议上审查了这些草案，修改了很多地方。日本虽然没出席这个会议，但是在日本有一个专门

① 作者是这个单行本编辑委员会的委员，在这个委员会的会议上指出了这个计算方法存在的问题。

② 对它的解释也已发表<sup>[299,302]</sup>。

③ 第四部分<sup>[246]</sup>是胶合强度的计算公式。另外，还有这个强度计算公式适用于高速透平齿轮的报告<sup>[303]</sup>。

审议这种草案的 ISO TC60 齿轮技术协作委员会，作者也是这个委员会的委员，发表了反对这个草案的意见。理由如下。

这个第一草案是用  $297 \times 210$  毫米的版型印刷的，第一部分128页，第二部分40页，第三部分74页，合计 242 页，篇幅相当长。它在计算公式中引入了 AGMA<sup>①</sup> 标准及其他公式没考虑的系数，并且说明了求这些系数的方法。然而，这个草案是很难懂的，即使通过精读充分理解其内容，用它计算齿轮的强度，还需要相当长的时间，因此，它与短时间就能计算的公式（如 AGMA 标准中的公式）相比，必须能够得到更高的计算精确度。但是作者读过这个草案之后，没有这样的把握。正如后面将要谈到的，齿轮的强度受很多因素影响，只要不是在使用条件下进行试验，就很难非常准确地确定它在使用状态下的强度。在这个草案中，例如动载系数的计算，使用的是根据雷蒂希 (Rettig) 的研究推导出来的公式<sup>②</sup> 再进行某些修正的式子，在 ISO 标准中使用这个式子是有问题的<sup>③</sup>，这点姑且不谈，问题是作者认为用这样的式子不能把受很多因素影响的动载系数正确地求出来。在这个式子中，计算动载系数时，使用有效的齿形误差、基节偏差和齿廓修缘量，可是在设计阶段很难知道这些有效误差，因此，这个草案使用大齿轮的许用误差的标准值来代替有效误差，这样做在理论上和试验上都没有根据。并且，即使给出大齿轮齿形误差的标准值，也由于这个误差在节圆附近是凸出来还是凹进去而显著地影响动载荷，这是众所周知的。而在这个草案的式子里，不考虑这些因素，也不考虑小齿轮的齿形误差或其标准值是多少，全都使用相同的动载系数。此外，在设计阶段也很难确切地知道有效齿向误差 (AGMA 标准中的  $e$ )，因此，作者认为用这个草案的式子求得的齿向载荷分布系数也会有很大误差<sup>④</sup>。其他的系数也同样具有很大误差。把这些具有误差的系数相乘所求得的强度计算结果，

① 美国齿轮制造者协会。——译者注

② 参阅第 3 卷<sup>[103]</sup>70 页。

③ 参阅第 3 卷<sup>[103]</sup>77 页呼应注。

④ 求动载系数和齿向载荷分布系数是很困难的，关于这个问题还可见 57 页和 45 页。

恐怕会产生相当大的误差。既然有的系数有很大的误差，再花费很多时间用麻烦的公式来详细计算另一部分系数，看不出有多大意义。如上所述，作者不能确信，用这个公式比用AGMA公式会得到更正确的结果。在上述的协作委员会的会议上，有的委员称这个计算方法是“理论指南型”的，作者也完全有同感。再有，对本来就不确定的齿轮强度计算方法制定ISO标准本身也是令人怀疑的。

### 1.2.6 AGMA标准的计算方法

AGMA从很早就进行了关于强度计算方法的研究，并于1946年和1944年发表了关于圆柱齿轮齿面强度计算的AGMA210.01和211.01，1946年和1948年发表了关于齿根强度计算的AGMA220.01和221.01，关于这些内容在《齿轮》第3卷旧版<sup>[115]</sup>中已有说明。用这些计算方法得出的计算结果与实用的齿轮强度相比较、分析后，对上述标准进行了修改，从1965年到1970年，关于齿面强度发表了AGMA210.02<sup>[32]</sup>、211.02<sup>[33]</sup>和215.01<sup>[35]</sup>，关于齿根强度发表了220.02<sup>[37]</sup>、221.02<sup>[38]</sup>、225.01<sup>[41]</sup>以及226.01<sup>[42]</sup>。其中AGMA211.02和215.01在1974年又进行了审查。现在这7个有效的标准中，后发表的又对前面所发表的标准进行了一些修改和补充。

这些计算方法的首要特点是，它比哪一种计算方法用得都多，而且参考了实际使用过的齿轮的强度进行修改。麦金太尔 (McIntire) 等人<sup>[66~68]</sup>对圆柱齿轮的齿根强度进行了试验，把结果用五种强度计算公式进行整理，与试验结果最吻合的是AGMA标准的计算公式。这个计算公式用比较多的系数考虑了各种因素对强度的影响。

其次，在这些标准中，各种系数都可以从图表求得，几乎不需要麻烦的计算，把用图或表求出的系数相乘，用很短的时间就可以完成计算。虽然这些标准还有后面说明的不少问题，但是它反映了比较多的实际使用过的齿轮的强度状况，还能在短时间内完成计算<sup>①</sup>，因此，如果有人问哪个计算方法最好时，作者不得不推荐

① 正确地计算齿轮的强度是很困难的，极端来说，用繁杂的公式花费很多时间去计算是徒劳的。

AGMA标准。所以下面首先介绍这些标准的内容，然后进行解释和分析。

### I.3 AGMA的齿面强度计算

在AGMA标准中,对于齿面强度的计算,1965年发表了关于直齿轮的210.02<sup>[32]</sup>、1969年发表了关于斜齿轮和人字齿轮的211.02<sup>[33]</sup>。此外,1966年制定了数据表215.01<sup>[35]</sup>,汇总了圆柱齿轮和锥齿轮的齿面强度计算方法。在210.02和211.02上有“以数据表215.01为基础”的说明,而晚发表的211.02并不与215.01完全相同。以下对这三个标准进行探讨,其中不同之处以晚发表的标准为准,直齿轮和斜齿轮的强度计算方法合起来介绍。AGMA标准由American Gear Manufacturers Association (1901 North Fort Myer Drive, Arlington, Virginia, 22209) 出版,日本规格协会(东京都港区赤坂4丁目1番地)有藏书,可以阅览和复印<sup>①</sup>。为严谨起见,希望参照原文。

#### 1. 范 围

1.1 本标准给出了直齿、斜齿和人字齿轮的齿面强度(点蚀)的基本公式,这个公式中包含了已知的影响抗点蚀能力的全部因素。本公式不适用于塑性变形、胶合、焊合等其他形式的齿面损伤。本标准基于数据表AGMA215.01直齿、斜齿、人字齿圆柱齿轮和锥齿轮的齿面疲劳强度(点蚀) [Surface durability(pitting)of spur, helical, herringbone and bevel gear teeth]。

1.2 齿轮的齿面点蚀可认为是一种疲劳现象。在AGMA110.03齿轮轮齿的损伤(Gear-tooth wear and failure)中用图说明了二种点蚀,即(1)初期点蚀和(2)破坏性点蚀。跑合性的即非扩展性的点蚀并不严重。本标准是以设计不产生破坏性点蚀的齿轮为目的。

① 中国标准化综合研究所也有藏书,可以阅览和复印。——译者注



## 2. 齿面强度的基本公式

2.1 齿面强度的基本公式为:

$$s_c = C_p \sqrt{\frac{W_t C_o}{C_v} \frac{C_s}{dF} \frac{C_m C_f}{I}} \quad (I.1)$$

式中  $s_c$ ——计算的接触应力值;

$C_p$ ——弹性系数 (见16),  $\sqrt{\text{磅/英寸}^2}$ ;

载荷 {  $W_t$ ——节圆上的圆周力 (见4), 磅;  
 $C_o$ ——过载系数 (见10);  
 $C_v$ ——动载系数 (见9);

尺寸 {  $d$ ——小齿轮节圆直径 (或视具体情况, 取齿顶圆直径减去  
 2倍齿顶高的值), 英寸;  
 $F$ ——齿宽较小者的有效齿宽, 人字齿轮为两斜齿轮的齿宽  
 之和, 英寸;

载荷分布 {  $C_s$ ——尺寸系数 (见7);  
 $C_m$ ——载荷分布系数 (见6);  
 $I$ ——几何系数 (见5);  
 $C_f$ ——齿面状况系数 (见8)。

上式中, 除  $s_c$  和  $C_p$  外, 其余各参数可分为三组, 第一组与载荷有关, 第二组与齿轮的尺寸有关, 第三组与载荷分布有关。

2.2 计算的接触应力值与许用接触应力值之间, 必须满足以下关系:

$$s_c \leq s_{ac} \frac{C_L C_H}{C_T C_R} \quad (I.2)$$

式中  $s_{ac}$ ——许用接触应力值 (见15);

$C_L$ ——寿命系数 (见12);

$C_H$ ——硬度比系数 (见14);

$C_T$ ——温度系数 (见13);

$C_R$ ——安全系数 (见11)。

由于大小两齿轮的材料和载荷循环次数不同, 因此两者都应进