ICS 75.100
CCS E 34

MH

中华人民共和国民用航空行业标准

MH/T 6137.3—2025

航空涡轮发动机润滑油性能测试方法 第3部分：承载能力 高速齿轮法

Testing method for performance of aviation turbine engine lubricating oils—Part 3：Load carrying capacity—High speed gear method

2025-07-18 发布　　2025-08-01 实施

中国民用航空局　发布

目　　次

前言 II
引言 III
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 方法概述 1
5 仪器设备 2
5.1 高速齿轮承载能力测试机 2
5.2 测试齿轮 2
5.3 齿轮组件加热板 2
5.4 超声波清洗机 2
5.5 光学显微镜 2
5.6 扭力扳手 2
5.7 扭矩加载器 2
5.8 游标卡尺 2
6 试剂与耗材 2
6.1 清洗剂 2
6.2 支撑单元润滑油 2
7 测试准备 2
7.1 样品准备 2
7.2 支撑润滑油准备 2
7.3 测试单元准备 2
8 测试步骤 3
9 测试结果与报告 5
附录 A （规范性） 高速齿轮承载能力测试机 6
附录 B （规范性） 高速齿轮承载能力测试机主测试台 7
附录 C （规范性） 高速齿轮承载能力测试机加载单元 9
附录 D （规范性） 测试齿轮参数 10
附录 E （规范性） 承载能力计算方法 11
参考文献 13

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是MH/T 6137《航空涡轮发动机润滑油性能测试方法》的第3部分。MH/T 6137已经发布了以下部分：

——第1部分：高温轴承沉积性能；

——第2部分：气相结焦倾向；

——第3部分：承载能力 高速齿轮法。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国民用航空局航空器适航审定司提出。

本文件由中国民航科学技术研究院归口。

本文件起草单位：中国民用航空总局第二研究所。

本文件主要起草人：曾萍、黄致尧、汪必耀、刘建刚、杨智渊、夏祖西、苏正良、杜澜、王海保、雷庆珂、廖孟周、吴钰繁。

引　言

航空涡轮发动机润滑油性能测试是评价航空润滑油性能的科学方法，MH/T 6137旨在为航空涡轮发动机润滑油在发动机特定部件上的相关性能提供统一的测试方法，拟由六个部分构成。

——第1部分：高温轴承沉积性能。目的在于规定航空涡轮发动机润滑油在发动机轴承上的沉积性能测试方法。

——第2部分：气相结焦倾向。目的在于规定航空涡轮发动机润滑油油雾/空气两相混合物在通气管内产生结焦倾向的测试方法。

——第3部分：承载能力 高速齿轮法。目的在于规定在特定温度、流量和转速测试条件下，航空涡轮发动机润滑油承载能力的测试方法。

——第4部分：氧化安定性 温度参数与有效寿命。目的在于规定在特定温度、空气流量和一定时间条件下，评估航空涡轮发动机润滑油抗氧性能、添加剂降解和不溶物含量的测试方法。

——第5部分：水解安定性。目的在于规定在特定温度和一定含水量的条件下，评估航空涡轮发动机润滑油抗水解性能的测试方法。

——第6部分：高温管沉积性能。目的在于规定航空涡轮发动机润滑油混合潮湿空气在高温油管内产生结焦倾向的测试方法。

本次对MH/T 6137.3的制定，聚焦于使用高速齿轮法测试航空涡轮发动机润滑承载能力的测试方法，使航空涡轮发动机润滑油齿轮部件抗胶合承载能力评价有据可依。

MH

航空涡轮发动机润滑油性能测试方法
第3部分：承载能力 高速齿轮法

1 范围

本文件规定了在特定温度、流量和转速测试条件下，使用高速齿轮法测试航空涡轮发动机润滑油（以下简称“涡轮滑油”）承载能力的测试方法，包括仪器设备、试剂与耗材、测试准备、测试步骤、数据处理与报告。

本文件适用于涡轮滑油承载能力测试，传动系统润滑油承载能力测试参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 5216 保证淬透性结构钢

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

航空涡轮发动机润滑油 aviation turbine engine lubricating oils

主要以多元醇脂类化合物为基础油，添加多种添加剂调和而成的用于航空涡轮发动机的润滑油。

3.2

磨损 wear

由于摩擦造成表面的变形、损伤或表层材料逐渐流失的显现和过程。

3.3

胶合 scuffing

由于闪温过高，使许多小接触点出现焊接并在相对滑动中被撕裂的磨损。

3.4

有效齿面宽度 effective gear width

从动齿轮各齿面上所有出现磨损痕迹区域的平均宽度。

3.5

工作面积 working area

从动齿轮啮合起始线到齿顶线的长度乘以齿宽的面积。

3.6

磨损面积占比 proportion of wear area

从动齿轮齿面磨损面积占工作面积的百分比。

3.7

承载能力 load carrying capacity

在规定测试条件下，涡轮滑油可接受的最大单位有效齿宽承载力。

4 方法概述

使用高速齿轮法测试涡轮滑油承载能力是指将一定流速和温度的涡轮滑油经过喷嘴喷射到规定转速的测试齿轮上，按规定逐级加载载荷，每级运行10 min±5 s直到齿轮失效，通过光学显微镜记录和计算测试后磨损面积占比，并报告涡轮滑油承载能力、有效载荷等级及失效方式。

5 仪器设备

5.1 高速齿轮承载能力测试机

用于涡轮滑油承载能力测试的双齿轮箱测试机，主要由供油单元、加热冷却单元、加载单元、主测试台、动力单元及图像采集单元组成，高速齿轮承载能力测试机应符合附录A的要求，主测试台应符合附录B的要求，加载单元应符合附录C的要求。

5.2 测试齿轮

测试齿轮可为FZG C-PT标准齿轮或等效齿轮，包含主动齿轮（24齿）和从动齿轮（16齿），测试齿轮参数应符合附录D的要求。

注：测试传动系统润滑油时，推荐选用FZG-A齿轮，材质为20MnCr5钢。

5.3 齿轮组件加热板

齿轮组件加热板用于加热测试齿轮和轴承内圈，加热温度应不低于120 ℃。

5.4 超声波清洗机

超声波清洗机用于清洁测试齿轮、轴承内圈和间隔垫片等。

5.5 光学显微镜

光学显微镜放大倍数应不小于10倍，且配备可视化图像采集软件，可自动计算选取区域面积。

5.6 扭力扳手

扭力扳手最大扭矩应不小于100 N·m。

5.7 扭矩加载器

用于加载载荷的工具，可加载的载荷不低于400 N·m。

5.8 游标卡尺

量程不低于10 cm，测量精度不低于0.05 mm。

6 试剂与耗材

6.1 清洗剂

分析纯石油醚，沸程为（60～90）℃。

6.2 支撑单元润滑油

支撑单元润滑油应选用与支撑单元适配的工业齿轮油。

7 测试准备

7.1 样品准备

应准备不低于20 L的涡轮滑油作为测试样品。

7.2 支撑润滑油准备

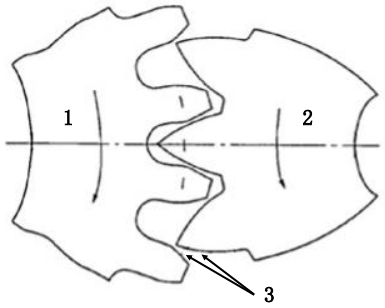
将适量支撑润滑油加入支撑油箱，每年更换1次。

7.3 测试单元准备

7.3.1 使用测试样品对管路单元、油箱、齿轮箱等进行至少 1 h 循环润洗，润洗后排干测试样品。

7.3.2 使用超声波清洗机清洗测试齿轮上的防锈油，使用压缩空气吹干清洗后的测试齿轮，目视检查并确认齿面无机械缺陷或腐蚀状况；使用清洗剂清洗测试齿轮安装件。

7.3.3　使用齿轮组件加热板加热测试齿轮及齿轮安装件，按照图 1 将测试齿轮安装到轴上并锁紧，安装并锁紧测试齿轮箱前端盖。



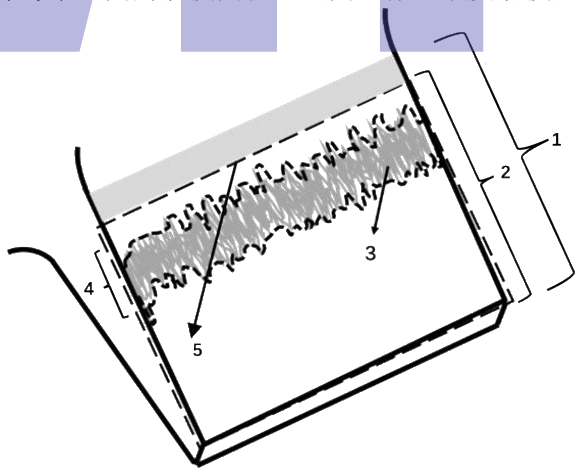
标引序号说明：
1——主动齿轮；
2——从动齿轮；
3——齿轮齿面。

图1　测试齿轮安装示意图

7.3.4　确认喷嘴位置、齿轮箱温度传感器位置符合图 B.2 要求。
7.3.5　使用光学显微镜采集从动齿轮每个啮合齿面的图像信息，安装并锁紧测试齿轮箱上端盖。
7.3.6　加入（8～10）L 样品至测试油箱。

8　测试步骤

8.1　使用扭矩加载器对加载离合器加载表 1 规定的 1 级载荷，使用扭矩为 100 N·m 的扭力扳手拧紧所有螺母，盖上防护罩。
8.2　当齿轮箱喷嘴处样品到达预设温度（74±2.5）℃和流量（1.0±0.1）L/min 时，启动电机，转速达到（10 000±10）r/min 后，运行 10 min±5 s。
8.3　待齿轮停止转动后，打开防护罩，使用扭力扳手卸除加载离合器载荷，打开测试齿轮箱上端盖，吹净所有齿面上附着的测试样品，使用光学显微镜采集从动齿轮每个啮合齿面的图像信息，圈选磨损区域时应包含全部磨痕，计算每个齿面的磨损面积。齿面工作区域及磨损区域见图 2。



标引序号说明：
1——齿面；
2——齿面工作区域；
3——磨痕；
4——磨损区域；
5——啮合起始线。

图2　齿面工作区域及磨损区域示意图

根据公式（1）计算16个齿面的磨损面积占比：

$$A_{\mathrm{a}}=\frac{\sum_{i=1}^{16}\frac{A_{\mathrm{w}i}}{A_{\mathrm{e}i}}}{16}\times 100\% \cdots\cdots (1)$$

式中：

A_{a} ——磨损面积占比；

A_{w_i}——第i个齿面磨损面积，单位为平方毫米（mm^2）；

A_{e_i} ——第i个齿面工作面积，单位为平方毫米（mm^2）。

8.4 完成磨损面积占比计算后，按表 1 规定逐级加载后续载荷，重复 8.2～8.3 步骤，直至齿轮发生失效，记录失效前一级为有效载荷等级。若 16 级仍未失效，记录有效载荷等级为“不小于 16 级”。

8.5 测试过程中监控齿轮箱温度，观察齿面胶合情况，失效判定方式见表 2，典型失效照片见图 3。

表1 齿轮加载载荷

单位为牛顿米

载荷等级	加载载荷	精度
1	18	±2
2	35	±2
3	53	±2
4	70	±2
5	88	±2
6	105	±5
7	123	±5
8	140	±5
9	158	±5
10	175	±5
11	193	±5
12	210	±5
13	228	±5
14	245	±5
15	263	±5
16	280	±5

表2 齿轮失效判定依据和特征

齿轮失效判定依据	特征[a]
磨损面积占比	≥22.5%
齿轮箱温度	≥140 ℃时
齿面胶合	当齿面出现深色呈带状磨损或大面积胶合时
[a]出现上述任意一种特征即判定为齿轮失效。	

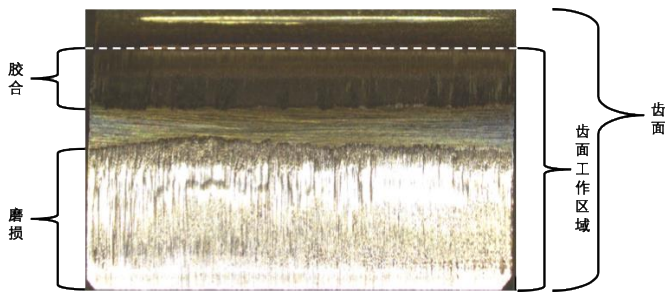


图3 齿轮典型失效照片

9 数据处理与结果报告

计算承载能力，计算步骤应符合附录E的要求。

结果报告应至少包含以下内容：

a) 承载能力，N/mm；

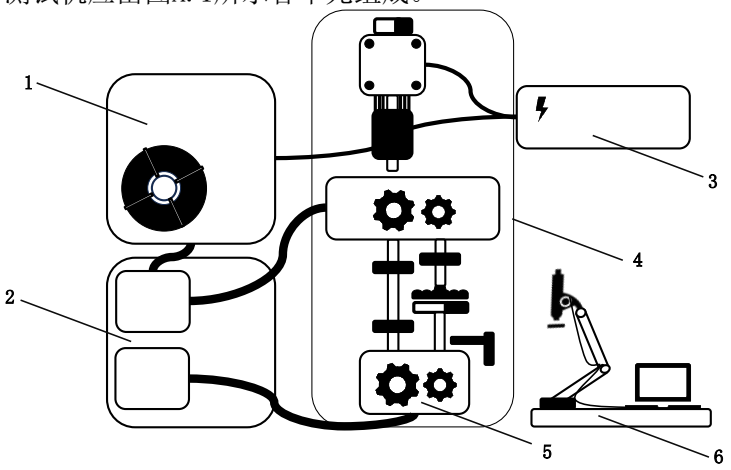
b) 有效载荷等级；

c) 失效方式。

MH

附 录 A
（规范性）
高速齿轮承载能力测试机

高速齿轮承载能力测试机应由图A.1所示各单元组成。

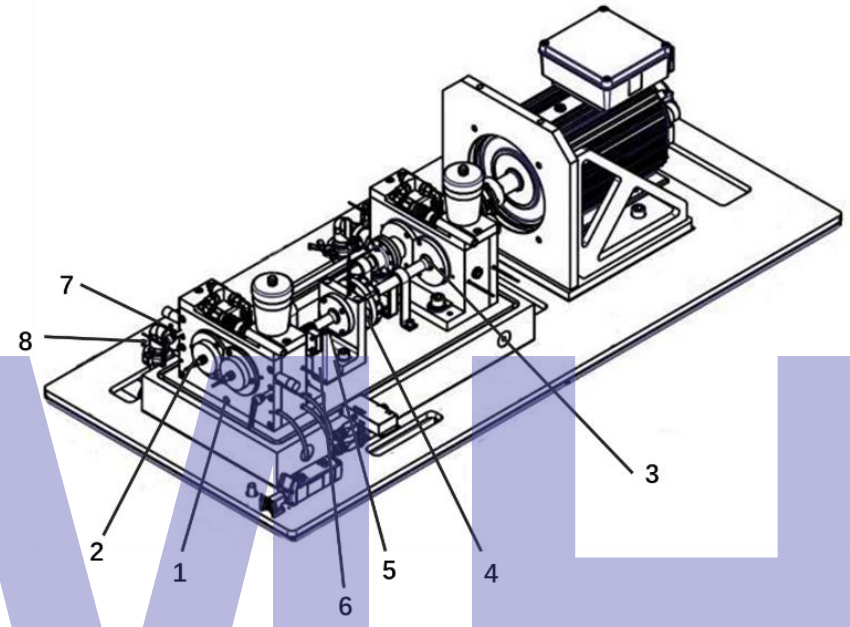


标引序号说明：
1——加热冷却单元；
2——供油单元；
3——动力单元；
4——主测试台；
5——加载单元；
6——图像采集单元。

图A.1 高速齿轮承载能力测试机

附 录 B
（规范性）
高速齿轮承载能力测试机主测试台

高速齿轮承载能力测试机主测试台应按图B.1示意进行装配。

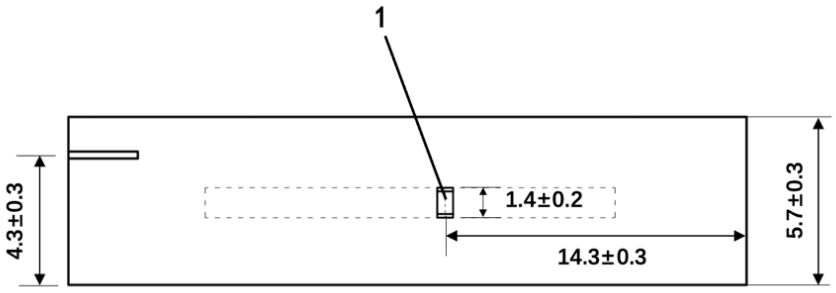


标引序号说明：
1——从动齿轮；
2——主动齿轮；
3——支撑齿轮对；
4——加载离合器；
5——锁销；
6——扭矩测量传感器；
7——喷油口温度传感器；
8——齿轮箱温度传感器。

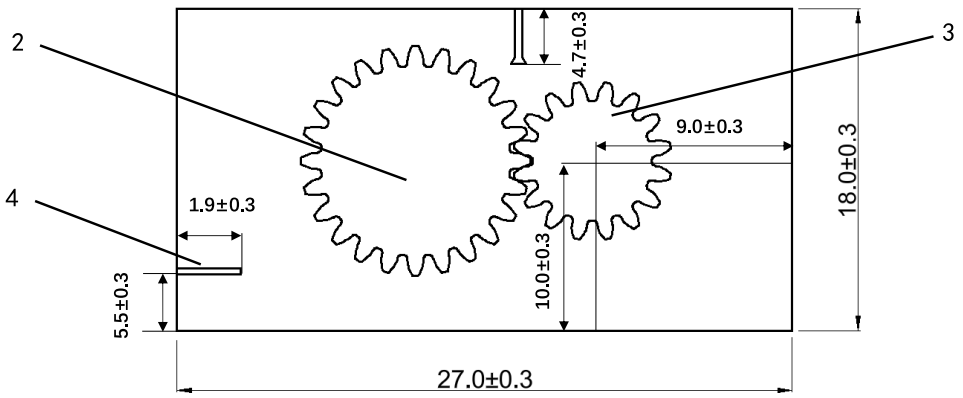
图B.1 高速齿轮承载能力测试机主测试台

其中齿轮箱中主、从动齿轮、齿轮箱温度传感器及喷嘴装配位置应符合图B.2要求。

单位为厘米



a) 齿轮箱俯视图



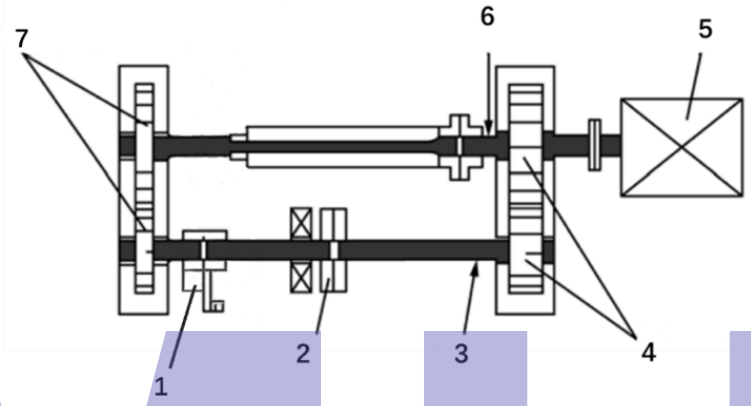
b)齿轮箱正视图

标引序号说明：
1——喷嘴；
2——主动齿轮；
3——从动齿轮；
4——齿轮箱温度传感器。

图B.2 齿轮箱示意图

附 录 C
（规范性）
高速齿轮承载能力测试机加载单元

高速齿轮承载能力测试机加载单元应按图C.1示意进行装配。



标引序号说明：
1——扭矩测量传感器；
2——加载离合器；
3——传动轴1；
4——支撑齿轮对；
5——直驱驱动电机；
6——传动轴2；
7——测试齿轮。

图C.1 高速齿轮承载能力测试机加载单元

附 录 D
（规范性）
测试齿轮参数

测试齿轮参数应满足表D.1要求。

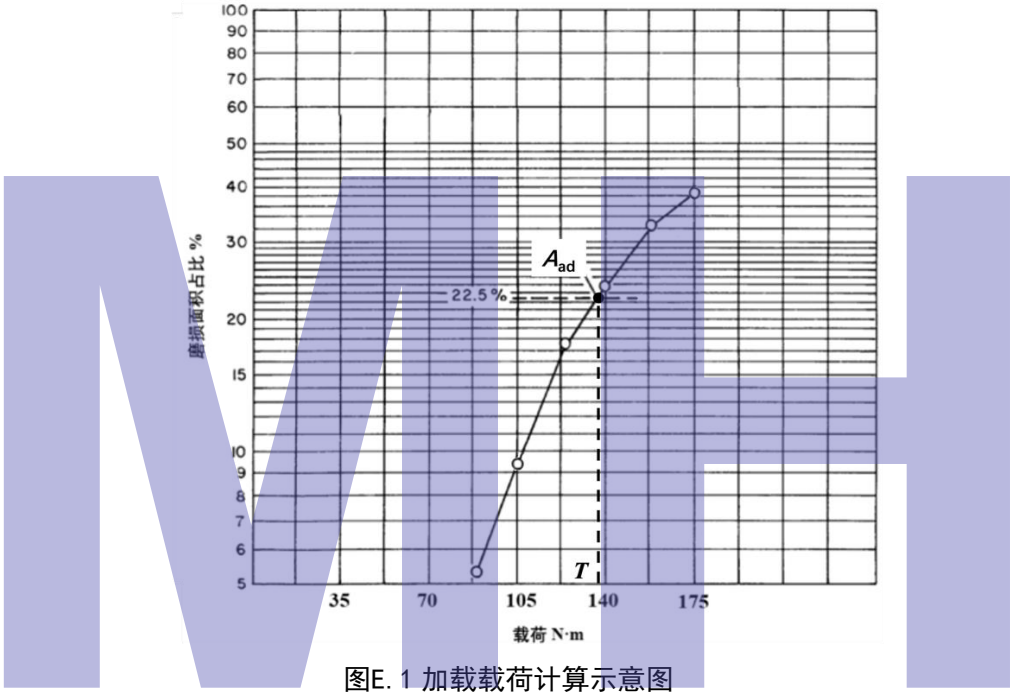
表D.1 测试齿轮参数

齿轮参数	具体要求
中心距/mm	91.5±0.1
主动齿轮齿数/个	24
从动齿轮齿数/个	16
模数/mm	4.5
压力角/°	20.0
主动齿轮齿宽/mm	14±0.1
从动齿轮齿宽/mm	14±0.1
齿面硬度/HV	700～750
齿面粗糙度/μm	0.30～0.40
齿轮材质	16CrMnH 钢或 16MnCr5 钢

附 录 E
（规范性）
承载能力计算方法

可使用游标卡尺测量从动齿轮测试面有效齿面宽度，记录为W。

选取所有磨损面积占比A_a大于1%的数据为有效数据，以加载载荷为横坐标，磨损面积占比A_a为纵坐标，在半对数坐标纸上绘制数据点，并在相邻数据点之间用直线连接，绘制连线图。从纵坐标中找到失效点的A_{ad}，因面积超22.5%失效则A_{ad}取值22.5%，因其它原因失效A_{ad}取失效前一级磨损面积占比值，以此点作垂线与连线图相交，此交点在横坐标轴上对应的点即为A_{ad}对应的加载载荷T。磨损面积占比为22.5%时的加载载荷示意图见图E.1。



图E.1 加载载荷计算示意图

计算从动齿轮圆周力F_t：

$$F_t = 2000T/d \quad \cdots\cdots (E.1)$$

式中：

F_t——从动齿轮圆周力，单位为牛顿（N）；

T ——加载载荷，单位为牛顿米（N·m）；

d ——从动齿轮节圆直径，单位为毫米（mm）。

其中从动齿轮节圆直径d计算公式为：

$$d = m \cdot t_n \quad \cdots\cdots (E.2)$$

式中：

d ——从动齿轮节圆直径，单位为毫米（mm）；

m——从动齿轮模数，单位为毫米（mm）；

t_n——从动齿轮齿数，单位为个。

计算从动齿轮法向力F_n：

$$F_n = F_t/\cos\alpha \quad \cdots\cdots (E.3)$$

式中：

F_n——从动齿轮法向力，单位为牛顿（N）；

F_t——从动齿轮圆周力，单位为牛顿（N）；
α ——从动齿轮压力角。

承载能力P：

$$P = F_n/W \quad \cdots\cdots\cdots\

参 考 文 献

[1] EN 10084 Case hardening steels—Technical delivery conditions

MH