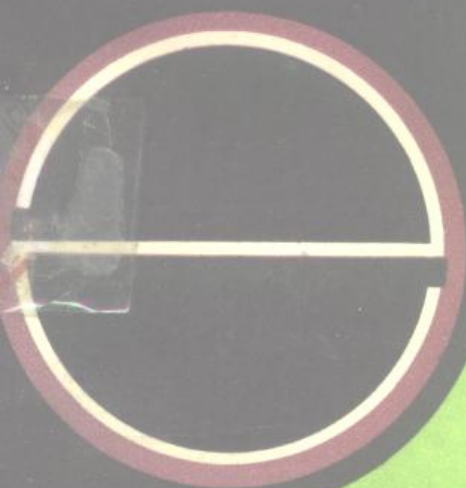


机械制造检验员丛书

# 齿轮和蜗轮蜗杆的 检查与测量

国家机械工业委员会  
质量安全监督司 编

机械工业出版社



机械制造检验员丛书

# 齿轮和蜗轮蜗杆的检查与测量

国家机械工业委员会质量安全监督司 编



机械工业出版社

本书主要内容包括：圆柱齿轮的基本概念、主要参数和尺寸计算，齿轮制造误差及精度，齿轮的单项测量和综合测量；圆锥齿轮的基本概念、几何尺寸计算、传动公差、单项测量及圆锥齿轮副的检查；蜗轮、蜗杆和齿条的检查与测量等。

本书内容比较系统完整，结合生产实际，可供质量检验工及机械加工工人学习之用，也可作为检验工的培训教材。

0102/07

## 齿轮和蜗轮蜗杆的检查与测量

国家机械工业委员会质量监督司 编

责任编辑：杨溥泉 齐福江 版式设计：吴静霞

封面设计：姚毅 责任校对：李广孚

责任印制：王国光

机械工业出版社出版（北京东黄城根北街1号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/32·印张 8 1/2·字数 183 千字

1991年9月北京第一版·1991年9月北京第一次印刷

印数 0,001—4,200·定价：5.80 元

\*

ISBN 7-111-01872-9/TH·316

## 前 言

为了给机械制造行业广大质量检验人员提供一套学习材料，不断提高技术水平，以适应“四上两提高”，即上质量、上品种、上水平、上成套，提高经济效益，提高服务质量的需要，我们组织编写了《机械制造检验员丛书》，先出版其中的《机械制造检验员须知》、《形状和位置误差检查与测量》、《刀具的检查与测量》、《齿轮和蜗轮蜗杆的检查与测量》、《铸铁件质量的检验》、《焊接质量的检验》和《滚动轴承的检查与测量》等7本。它们不仅可以供质量检验人员学习用，也可以供机械加工工人学习用，还可以作为培训他们的辅助教材。

除了《机械制造检验员须知》外，其它6本书都是专题性著作，一个专题一本书。这套丛书的编写原则是理论与实践相结合，而偏重于实践。所以每本书中的理论不多，也不深，但是，实践经验却很丰富。在总结经验的基础上，介绍了质量检验的许多方法。在这些方法中，有很多是目前机械制造中行之有效的方法，有些则是目前国内外比较先进的方法。学习这些经验，掌握这些方法，对提高检验人员的技能大有裨益。

参加编审这套书的同志，都是既有理论知识，又有丰富的实践经验的同志。书稿写出后，经集体初审，最后委托上海市机电工业管理局终审。尽管这样，书中一定还有缺点与错误，希望读者及时批评和指正，以便再版时修订。

本书由仇天任、孙洪娟编写，陈祝平、王凯审稿。

国家机械工业委员会质量安全监督司

1988年4月

# 主要符号

|                  |             |
|------------------|-------------|
| $a$              | 中心距         |
| $b$              | 齿宽          |
| $c$              | 径向间隙        |
| $c^*$            | 径向间隙系数      |
| $d$              | 直径、分度圆直径    |
| $d'$             | 节圆直径        |
| $d_a$            | 齿顶圆直径       |
| $d_f$            | 齿根圆直径       |
| $E_a''$          | 双啮中心距极限偏差   |
| $\Delta E_a''$   | 双啮中心距偏差     |
| $E_M$            | 量柱测量距极限偏差   |
| $E_{ss}$         | 齿厚极限偏差      |
| $\Delta E_s$     | 齿厚偏差        |
| $E_{w_s}$        | 公法线平均长度极限偏差 |
| $\Delta E_w$     | 公法线长度偏差     |
| $F_i'$           | 切向综合公差      |
| $\Delta F_i'$    | 切向综合误差      |
| $F_i''$          | 径向综合公差      |
| $\Delta F_i''$   | 径向综合误差      |
| $F_p$            | 周节累积公差      |
| $\Delta F_p$     | 周节累积误差      |
| $F_{p_x}$        | 轴向齿距极限偏差    |
| $\Delta F_{p_x}$ | 轴向齿距偏差      |
| $F_r$            | 齿圈径向跳动公差    |

- $\Delta F_r$  齿圈径向跳动
- $F_w$  公法线长度变动公差
- $\Delta F_w$  公法线长度变动
- $F_\beta$  齿向公差
- $\Delta F_\beta$  齿向误差
- $f_a$  中心距极限偏差
- $\Delta f_a$  中心距偏差
- $f_f$  齿形公差
- $\Delta f_f$  齿形误差
- $f_{f\beta}$  螺旋线波度公差
- $\Delta f_{f\beta}$  螺旋线波度误差
- $f_i'$  切向一齿综合公差
- $\Delta f_i'$  切向一齿综合误差
- $f_i''$  径向一齿综合公差
- $\Delta f_i''$  径向一齿综合误差
- $f_{pb}$  基节极限偏差
- $\Delta f_{pb}$  基节偏差
- $f_{pt}$  周节极限偏差
- $\Delta f_{pt}$  周节偏差
- $\Delta f_x$   $x$  方向的轴心线平行度
- $\Delta f_y$   $y$  方向的轴心线平行度
- $h$  齿高、全齿高
- $h_o$  齿顶高
- $h_o^*$  齿顶高系数
- $\bar{h}_a$  弦齿高
- $h_f$  齿根高
- $i$  传动比
- $j_n$  齿轮副法向侧隙
- $j_t$  齿轮副圆周侧隙

- $k$  测量公法线的卡齿数
- $M$  量柱或量球的测量距
- $m$  模数
- $m_n$  法向模数
- $m_t$  端面模数
- $p$  齿距、周节、分度圆周节
- $p_b$  基圆齿距、基节
- $p_n$  法向齿距
- $p_t$  端面齿距
- $p_x$  轴向齿距
- $P_z$  导程
- $q$  蜗杆特性系数
- $R$  锥距、外锥距
- $R_i$  内锥距
- $R_m$  中点锥距
- $r$  半径、分度圆半径
- $r'$  节圆半径
- $s$  齿厚、分度圆齿厚
- $\bar{s}$  弦齿厚、分度圆弦齿厚
- $\mu$  齿数比
- $x$  径向变位系数、圆锥齿轮的齿高变位系数
- $x_t$  切向变位系数
- $z$  齿数
- $z_o$  当量齿数
- $\alpha$  压力角、分度圆压力角、齿形角
- $\alpha'$  啮合角
- $\alpha_n$  法向压力角
- $\alpha_t$  端面压力角
- $\operatorname{inv} \alpha$  渐开线函数



|                   |       |
|-------------------|-------|
| $\beta$           | 螺旋角   |
| $\beta_b$         | 基圆螺旋角 |
| $\delta$          | 分度圆锥角 |
| $\delta_a$        | 齿顶圆锥角 |
| $\delta_f$        | 齿根圆锥角 |
| $\epsilon_a$      | 端面重合度 |
| $\epsilon_\beta$  | 轴向重合度 |
| $\epsilon_\gamma$ | 总重合度  |
| $\theta_a$        | 齿顶角   |
| $\theta_f$        | 齿根角   |
| $\rho$            | 曲率半径  |
| $\Sigma$          | 轴交角   |

# 目 录

前言

主要符号

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第一章 圆柱齿轮的基本概念           | 1   |
| 一、齿轮的特点与类型              | 1   |
| 二、渐开线及其性质               | 2   |
| 三、渐开线齿轮的主要参数            | 8   |
| 四、圆柱齿轮的尺寸计算             | 11  |
| 第二章 齿轮制造误差              | 15  |
| 一、齿轮误差的分析方法             | 15  |
| 二、齿轮的误差                 | 17  |
| 第三章 渐开线圆柱齿轮精度(JB179—83) | 25  |
| 一、适用范围                  | 25  |
| 二、各项误差的名称和代号            | 26  |
| 三、精度等级及其选择              | 28  |
| 四、公差组的检验组及其选择           | 32  |
| 五、齿坯公差                  | 35  |
| 第四章 圆柱齿轮的测量             | 49  |
| 一、齿轮的检查方法和量仪            | 49  |
| 二、圆柱齿轮的单项测量             | 53  |
| 三、圆柱齿轮的综合检查             | 138 |
| 第五章 圆锥齿轮的测量             | 166 |
| 一、圆锥齿轮的类型及基本概念          | 166 |
| 二、圆锥齿轮的几何尺寸计算           | 171 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 三、圆锥齿轮传动公差 .....        | 178 |
| 四、圆锥齿轮的单项测量 .....       | 196 |
| 五、圆锥齿轮副的检查 .....        | 198 |
| 六、曲线齿锥齿轮整体误差测量新技术 ..... | 203 |
| 第六章 蜗轮蜗杆的检查与测量 .....    | 204 |
| 一、蜗轮蜗杆的传动特点与类型 .....    | 204 |
| 二、三种基本蜗杆 .....          | 205 |
| 三、蜗轮蜗杆的几何尺寸计算 .....     | 208 |
| 四、蜗杆传动公差 .....          | 211 |
| 五、蜗杆的测量 .....           | 232 |
| 六、蜗轮的检查与测量 .....        | 240 |
| 第七章 齿条的测量 .....         | 248 |
| 一、齿条传动公差 .....          | 248 |
| 二、齿条的测量 .....           | 257 |
| 主要参考文献 .....            | 260 |

# 第一章 圆柱齿轮的基本概念

## 一、齿轮的特点与类型

齿轮是应用最广泛的传动元件之一，齿轮生产的技术水平往往是工业技术水平的标志。为了适应现代工业的发展，齿轮传动正向大功率、高精度和高效率方面发展，同时加强了对材料、热处理、加工工艺的研究，注意减小尺寸、减轻重量、延长使用寿命、降低噪声等。

在各种齿形的齿轮中，用得最广泛的是渐开线齿轮，此外还有摆线齿轮、圆弧齿轮等。

一般地讲，渐开线圆柱齿轮具有以下特点：

- 1) 瞬时传动比恒定，传动平稳；
- 2) 传动比范围大，可用于增速或减速；
- 3) 传动速度范围大，高的可达 $200\sim 300\text{r/s}$ ；
- 4) 传动功率范围大，可高达几万千瓦；
- 5) 传动效率高，可达99%以上；
- 6) 结构紧凑，体积较小；
- 7) 制造工艺复杂，成本较高。

根据相互啮合的一对齿轮的相对运动为平面运动还是空间运动来分，齿轮可以分作两类：

### 1. 平面齿轮机构

相互传动的一对齿轮，其相对运动为平面运动的称为平面齿轮机构。平面齿轮机构的两轮轴平行。在平面机构中，当传动比为常数时，构成齿轮机构的一对齿轮必为圆柱形齿

轮。圆柱形齿轮又可分为直齿圆柱齿轮与斜齿圆柱齿轮。

## 2. 空间齿轮机构

相互传动的一对齿轮，其相对运动为空间运动的称为空间齿轮机构。在空间齿轮机构中，两齿轮的运动平面互不平行。空间齿轮机构按其两轮轴的位置又可分为：

1) 传递相交两轴运动的齿轮称为圆锥齿轮。圆锥齿轮主要有直齿圆锥齿轮和曲线齿圆锥齿轮两种。

2) 传递相错两轴运动的齿轮。主要有圆柱蜗杆传动（蜗轮副传动）和螺旋齿轮传动。

## 二、渐开线及其性质

### 1. 渐开线的形成

当一直线沿一圆周作纯滚动（无滑动的滚动）时，直线上任意一点的轨迹称为该圆的渐开线，见图1-1。此圆叫做基圆，此直线叫做发生线。齿轮的齿廓曲线仅是渐开线上的一段。

渐开线齿形上任一点 $M$ 的受力方向线（即压力线 $F_r$ ）和速度方向线（即 $v$ ）之间的夹角叫做 $M$ 点的压力角，用 $\alpha_M$ 表示。

$$\cos \alpha_M = \frac{r_b}{r_M}$$

渐开线上任一点 $M$ 的向量半径 $\overline{OM}$ 与渐开线 $AM$ 的起点 $A$ 的向量半径 $\overline{OA}$ 之间的夹角，为渐开线 $AM$ 的渐开角，以 $\theta_M$ 表示。

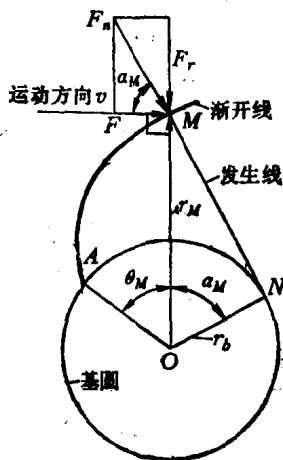


图1-1 圆的渐开线

## 2. 渐开线的性质

根据渐开线的形成原理，可以知道它有以下几个基本性质：

- 1) 弧长  $\widehat{AN}$  等于发生线上线段  $\overline{MN}$  的长度，
- 2) 发生线  $\overline{MN}$  是渐开线的法线，亦是基圆的切线。渐开线上各点的曲率半径是不相同的，越接近基圆的渐开线，其曲率半径越小；
- 3) 基圆以内无渐开线；
- 4) 渐开线的形状仅取决于基圆的大小。见图 1-2，基圆越小，渐开线越弯曲；基圆越大，渐开线越平直。当基圆半径无穷大时，渐开线即成为直线。

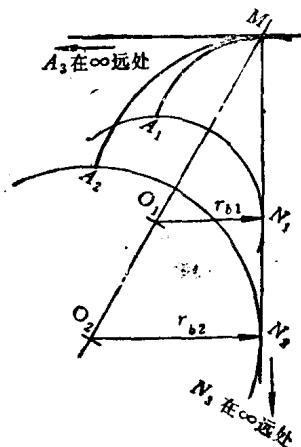


图1-2 渐开线形状与基圆的关系

根据渐开线的性质，可以导出渐开线的方程式：

$$\theta = \operatorname{tg} \alpha - \alpha$$

式中  $\theta$  —— 渐开角；

$\alpha$  —— 压力角。

由于渐开角  $\theta$  是任意点压力角  $\alpha$  的函数，所以也称为渐开线函数，通常用  $\operatorname{inv} \alpha$  表示。

$$\operatorname{inv} \alpha_x = \operatorname{tg} \alpha_x - \alpha_x$$

$$\cos \alpha_x = \frac{r_b}{r_x}$$

式中  $r_b$  —— 齿轮基圆半径；

$r_x$  —— 渐开线上点  $x$  的向量半径；

$\alpha_x$ ——渐开线上点  $x$  的压力角。

$r_x$  是渐开线上任意一点的半径, 随着  $x$  点位置的不同, 渐开线上各点的压力角是不相同的。离基圆中心远, 压力角大; 离基圆中心近, 压力角小。通常所说的压力角, 往往指齿轮分度圆上的压力角而言。分度圆上的压力角为  $20^\circ$  时, 在分度圆以外, 压力角大于  $20^\circ$ ; 在分度圆以内, 压力角小于  $20^\circ$ , 基圆上压力角为零。  $0^\circ \sim 45^\circ$  的渐开线函数见表 1-1。

表 1-1 渐开线函数表

$$\operatorname{inv} \alpha = \operatorname{tg} \alpha \alpha$$

| $\alpha^\circ$ | $\operatorname{inv} \alpha$ | $\alpha^\circ$ | $\operatorname{inv} \alpha$ | $\alpha^\circ$ | $\operatorname{inv} \alpha$ | $\alpha^\circ$ | $\operatorname{inv} \alpha$ |
|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|
| 0.0            | 0.000000                    | 0              | 142                         | 4.0            | 136                         | 6.0            | 845                         |
| 1              | 0                           | 1              | 164                         | 1              | 224                         | 1              | 0.0004 041                  |
| 2              | 0                           | 2              | 189                         | 2              | 316                         | 2              | 244                         |
| 3              | 0                           | 3              | 216                         | 3              | 412                         | 3              | 453                         |
| 4              | 1                           | 4              | 245                         | 4              | 513                         | 4              | 669                         |
| 5              | 2                           | 5              | 277                         | 5              | 619                         | 5              | 892                         |
| 6              | 1                           | 6              | 312                         | 6              | 729                         | 6              | 0.0005 122                  |
| 7              | 6                           | 7              | 349                         | 7              | 845                         | 7              | 359                         |
| 8              | 9                           | 8              | 389                         | 8              | 965                         | 8              | 604                         |
| 9              | 0.0000013                   | 9              | 433                         | 9              | 0.0002 091                  | 9              | 856                         |
| 1.0            | 18                          | 3.0            | 479                         | 5.0            | 222                         | 7.0            | 0.0006 115                  |
| 1              | 24                          | 1              | 529                         | 1              | 358                         | 1              | 382                         |
| 2              | 31                          | 2              | 582                         | 2              | 500                         | 2              | 657                         |
| 3              | 39                          | 3              | 638                         | 3              | 647                         | 3              | 939                         |
| 4              | 49                          | 4              | 698                         | 4              | 800                         | 4              | 0.0007 230                  |
| 5              | 60                          | 5              | 761                         | 5.5            | 959                         | 5              | 528                         |
| 6              | 73                          | 6              | 823                         | 6              | 0.0003 124                  | 6              | 835                         |
| 7              | 87                          | 7              | 899                         | 7              | 295                         | 7              | 0.0008 150                  |
| 8              | 0.0000 103                  | 8              | 974                         | 8              | 472                         | 8              | 473                         |
| 9              | 122                         | 9              | 0.0001 053                  | 9              | 655                         | 9              | 805                         |

(续)

| $\alpha^\circ$ | inva       | $\alpha^\circ$ | inva       | $\alpha^\circ$ | inva       | $\alpha^\circ$ | inva       |
|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|
| 8.0            | 0.0009 145 | 11.0           | 3941       | 14.0           | 9819       | 17.0           | 0.009 0247 |
| 1              | 494        | 1              | 4607       | 1              | 0.005 0912 | 1              | 1889       |
| 2              | 852        | 2              | 5285       | 2              | 2021       | 2              | 3551       |
| 3              | 0.0010 219 | 3              | 5975       | 3              | 3147       | 3              | 5234       |
| 4              | 595        | 4              | 6678       | 4              | 4289       | 4              | 6937       |
| 5              | 980        | 5              | 7394       | 5              | 5448       | 5              | 8662       |
| 6              | 0.0011 375 | 6              | 8123       | 6              | 6624       | 6              | 0.010 0407 |
| 7              | 779        | 7              | 8865       | 7              | 7817       | 7              | 2174       |
| 8              | 0.0012 192 | 8              | 9620       | 8              | 9027       | 8              | 3963       |
| 9              | 615        | 9              | 0.003 0389 | 9              | 0.006 0254 | 9              | 5773       |
| 9.0            | 0.001 3048 | 12.0           | 1171       | 15.0           | 1498       | 18.0           | 0.01 07604 |
| 1              | 3491       | 1              | 1966       | 1              | 2760       | 1              | 09458      |
| 2              | 3944       | 2              | 2775       | 2              | 4039       | 2              | 11333      |
| 3              | 4407       | 3              | 3598       | 3              | 5337       | 3              | 13231      |
| 4              | 4880       | 4              | 4434       | 4              | 6652       | 4              | 15151      |
| 5              | 5363       | 5              | 5285       | 5              | 7985       | 5              | 17094      |
| 6              | 5857       | 6              | 6150       | 6              | 9337       | 6              | 19059      |
| 7              | 6362       | 7              | 7029       | 7              | 0.007 0706 | 7              | 21043      |
| 8              | 6877       | 8              | 7923       | 8              | 2095       | 8              | 23059      |
| 9              | 7403       | 9              | 8831       | 9              | 3501       | 9              | 25093      |
| 10.0           | 7941       | 13.0           | 9754       | 16.0           | 4927       | 19.0           | 27151      |
| 1              | 8489       | 1              | 0.004 0692 | 1              | 6372       | 1              | 29232      |
| 2              | 9048       | 2              | 1644       | 2              | 7835       | 2              | 31336      |
| 3              | 9619       | 3              | 2612       | 3              | 9318       | 3              | 33465      |
| 4              | 0.002 0201 | 4              | 3595       | 4              | 0.008 0820 | 4              | 35617      |
| 5              | 0795       | 5              | 4593       | 16.5           | 2342       | 5              | 37794      |
| 6              | 1400       | 6              | 5607       | 6              | 3883       | 6              | 39994      |
| 7              | 2017       | 7              | 6636       | 7              | 5444       | 7              | 42220      |
| 8              | 2646       | 8              | 7681       | 8              | 7025       | 8              | 44470      |
| 9              | 3288       | 9              | 8742       | 9              | 8626       | 9              | 46744      |



(续)

| $\alpha^\circ$ | $\ln v \alpha$ | $\alpha^\circ$ | $\ln v \alpha$ | $\alpha^\circ$ | $\ln v \alpha$ | $\alpha^\circ$ | $\ln v \alpha$ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 20.0           | 49044          | 23.0           | 30491          | 26.0           | 39470          | 29.0           | 81636          |
| 1              | 51869          | 1              | 33651          | 1              | 43640          | 1              | 87020          |
| 2              | 53719          | 2              | 36842          | 2              | 47847          | 2              | 92450          |
| 3              | 56094          | 3              | 40063          | 3              | 52092          | 3              | 97924          |
| 4              | 58495          | 4              | 43316          | 4              | 56374          | 4              | 0.05 03442     |
| 5              | 60922          | 5              | 46600          | 5              | 60694          | 5              | 09006          |
| 6              | 63375          | 6              | 49916          | 6              | 65051          | 6              | 14616          |
| 7              | 65854          | 7              | 53264          | 7              | 69447          | 7              | 20271          |
| 8              | 68359          | 8              | 56642          | 8              | 73881          | 8              | 25973          |
| 9              | 70891          | 9              | 60053          | 9              | 78354          | 9              | 31721          |
| 21.0           | 73449          | 24.0           | 63497          | 27.0           | 0.03 82866     | 30.0           | 37515          |
| 1              | 76034          | 1              | 66973          | 1              | 87416          | 1              | 43356          |
| 2              | 78646          | 2              | 70481          | 2              | 92006          | 2              | 49245          |
| 3              | 81286          | 3              | 74023          | 3              | 96636          | 3              | 55181          |
| 4              | 83953          | 4              | 77598          | 4              | 0.04 01306     | 4              | 61184          |
| 5              | 86647          | 5              | 81206          | 5              | 06015          | 5              | 67196          |
| 6              | 89369          | 6              | 84848          | 6              | 10765          | 6              | 73276          |
| 7              | 92119          | 7              | 88523          | 7              | 15555          | 7              | 79405          |
| 8              | 94897          | 8              | 92232          | 8              | 20387          | 8              | 85582          |
| 9              | 97703          | 9              | 95976          | 9              | 25259          | 9              | 91809          |
| 22.0           | 0.02 00538     | 25.0           | 99753          | 28.0           | 30172          | 31.0           | 98086          |
| 1              | 03401          | 1              | 0.03 03566     | 1              | 35128          | 1              | 0.06 04412     |
| 2              | 06293          | 2              | 07413          | 2              | 40124          | 2              | 10788          |
| 3              | 09215          | 3              | 11295          | 3              | 45163          | 3              | 17215          |
| 4              | 12165          | 4              | 15213          | 4              | 50245          | 4              | 23692          |
| 5              | 15145          | 5              | 19166          | 5              | 55369          | 5              | 30221          |
| 6              | 18154          | 6              | 23154          | 6              | 60535          | 6              | 36801          |
| 7              | 21193          | 7              | 27179          | 7              | 65745          | 7              | 43432          |
| 8              | 24262          | 8              | 31239          | 8              | 70998          | 8              | 50116          |
| 9              | 27361          | 9              | 35336          | 9              | 76295          | 9              | 56851          |