

# 齿轮知识问答

青工自学读物

CHI LUN ZHI SHI WEN DA



王 昆 钟毅芳 刘 良 廖道训 唐增宝 编写

青工自学读物

# 齿 轮 知 识 问 答

王 昆 钟毅芳 刘 良  
廖道训 唐增宝 编写

上海科学技术出版社

青工自学读物

齿轮知识问答

王 昆 钟毅芳 刘 良

廖道训 唐增宝 编写

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 无锡县人民印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 4.5 字数 97,000

1982年5月第1版 1982年5月第1次印刷

印数 1—20,400

统一书号: 15119·2184 定价: (科三) 0.38 元

## 前 言

齿轮在机器制造中占有极其重要的地位,许多机器,诸如汽车、飞机、坦克、轮船、机床等等,都离不开齿轮传动。齿轮也是应用最早的机械零件之一,早在公元前四世纪,就有了关于齿轮传动的记载。我国,在公元纪元时代所发明的指南车和晋朝以前发明的记里鼓车,其中就应用了整套的齿轮系。

随着生产的发展,齿轮传动的应用越来越广泛,齿轮传动的类型越来越多,传动性能不断提高。古代采用的齿轮,多为木制或金属铸造的齿轮,传动质量很低,只能传递极低的转速和不大的载荷。到了十七世纪,人们才知道用摆线来作为齿轮的轮齿,使齿轮传动的性能得到了很大的提高。1829年出现了第一部插齿机,可以大量生产较高精度的渐开线齿轮,从此,齿轮的发展进入了一个新的阶段。由于齿轮的应用越来越普遍,生产的发展又不断地提出了新的要求,为了满足新情况下提出的更高的要求,齿轮传动又有了更新的发展。目前,齿轮的类型越来越多,就齿形来说,除了常见的渐开线齿轮以外,还有摆线齿轮、圆弧齿轮、纯滚动齿轮等等;从结构上来看,除了常见的直齿圆柱齿轮以外,还有斜齿圆柱齿轮,直齿的和曲线齿的圆锥齿轮,各种类型的蜗杆蜗轮等等;从整个齿轮系统来看,又有定轴齿轮传动系统,行星齿轮传动系统。谐波齿轮传动系统等等。总之,随着工业技术的发展,齿轮的应用将日益广泛,新的齿轮类型还将不断增加,传动性能还要不断提高,所有这些,都要求从事齿轮工作的科学技术工作者和

有关的人员不断地开展有关齿轮方面的科学研究工作和齿轮技术的普及工作。为此，我们特以问答的形式编写这一通俗读物，在此读物中，准备对各种齿轮传动的性能、特点作一些通俗的介绍，希望能引起广大读者特别是青年工人和学生对齿轮传动的兴趣，共同为推动齿轮技术的发展作出我们的贡献。我们在编写过程中尽量做到读者能自学读懂本书。

参加本书编写工作的有：华中工学院机一系机械原理及机械零件教研室钟毅芳（第1.14、15节）、廖道训、唐增宝（第2~13节）及王昆（前言、第16~22节、第40节）、刘良（第23~31节）、廖道训（第32~39节）同志，并最后由钟毅芳和王昆进行统稿。但由于我们的水平有限，书中肯定会有许多谬误之处，敬希读者批评指正，以便今后修订。本书插图绘制工作均由徐培毅同志担任，在此一并致谢。

# 目 录

## 前言

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 一、为什么很多机器都离不开齿轮传动？ .....         | 1  |
| 二、为什么不能将一对齿轮的轮齿做成直线齿廓？ .....     | 3  |
| 三、什么叫做渐开线？ .....                 | 6  |
| 四、为什么大多数齿轮都用渐开线作轮齿齿廓曲线？<br>..... | 10 |
| 五、你知道这些名称的意思吗？ .....             | 15 |
| 六、你见过无穷大的齿轮吗？ .....              | 17 |
| 七、齿轮的轮齿能做在内圆表面吗？ .....           | 24 |
| 八、你知道齿轮是怎样做出来的吗？ .....           | 26 |
| 九、你认识这张图纸吗？ .....                | 33 |
| 十、什么叫做齿轮的精度等级和公差？ .....          | 36 |
| 十一、你怎么知道做出来的齿轮合不合用？ .....        | 40 |
| 十二、它的轮齿为什么会被挖掉一块？ .....          | 50 |
| 十三、什么叫做变位齿轮？ .....               | 52 |
| 十四、为什么要把轮齿扭歪？ .....              | 57 |
| 十五、用圆弧做齿轮的齿廓曲线行吗？ .....          | 62 |
| 十六、为什么把这种齿轮做成一头大一头小？ .....       | 68 |
| 十七、能不能把圆锥齿轮转化成圆柱齿轮来研究？ .....     | 70 |
| 十八、圆锥齿轮怎样进行成形法加工？ .....          | 73 |
| 十九、圆锥齿轮传动中齿数和节角之间有什么关系？ .....    | 76 |
| 二十、怎样计算标准直齿圆锥齿轮的尺寸？ .....        | 79 |

|      |                            |     |
|------|----------------------------|-----|
| 二十一、 | 曲线齿圆锥齿轮的奥妙在哪里？             | 82  |
| 二十二、 | 有哪些齿轮可用于两轴交错传动？            | 84  |
| 二十三、 | 什么叫做蜗杆蜗轮传动？                | 88  |
| 二十四、 | 你知道它们往哪边转吗？                | 91  |
| 二十五、 | 蜗轮能够带动蜗杆转动吗？               | 93  |
| 二十六、 | 这种蜗杆为什么做成圆弧形的？             | 96  |
| 二十七、 | 什么叫做平面包络蜗杆？                | 99  |
| 二十八、 | 什么叫做渐开线包络蜗杆？               | 101 |
| 二十九、 | 什么叫做圆弧齿圆柱蜗杆？               | 102 |
| 三十、  | 什么叫做锥形蜗杆？                  | 103 |
| 三十一、 | 哪些地方需要用到蜗杆蜗轮传动？            | 105 |
| 三十二、 | 为什么有些齿轮只在部分圆周上分布轮齿？        | 107 |
| 三十三、 | 所有的齿轮都是圆的吗？                | 110 |
| 三十四、 | 周转轮系是如何构成的，它有何用途？          | 112 |
| 三十五、 | 用少数几个齿轮能获得很大的传动比吗？         | 116 |
| 三十六、 | 为什么有些行星齿轮传动要有输出机构？         | 118 |
| 三十七、 | 渐开线少齿差行星减速器与摆线针轮行星减速器有何差别？ | 121 |
| 三十八、 | 有些行星减速器为何要有均载装置？           | 124 |
| 三十九、 | 为什么这种齿轮的齿圈那么柔软？            | 126 |
| 四十、  | 齿轮传动的发展趋势是什么？              | 131 |

## 一、为什么很多机器都离不开齿轮传动？

汽车在行驶的过程中，司机将不时的扳动他坐位旁边的操纵杆，使汽车的行驶速度快一些或慢一些。为什么扳动操纵杆就可以改变汽车行驶的速度呢？原来，在操纵杆的下面，是一个变速齿轮箱，扳动操纵杆，就可以改变某些齿轮的位置，及它们的传动路线，从而达到改变速度的目的。可见汽车离不开齿轮。汽车是这样，其他的机器，诸如拖拉机、轮船、飞机、许多矿山冶金设备、金属切削机床等也是这样，大多离不开齿轮传动。

为什么在机器中非要齿轮传动不可呢？

我们知道，不同的机器，它们的功能是不同的，例如，飞机能在天空飞翔，汽车可以在公路上奔跑，机床可对金属进行加工等等。尽管各种机器的功能不一样，但他们都有一个共同的特点，那就是机器必须能够运动，车轮不转，汽车就跑不了，机床主轴不动，就无法进行加工，这是非常清楚的。

那么，运动是从那里来的呢？

汽车的车轮与装在车头

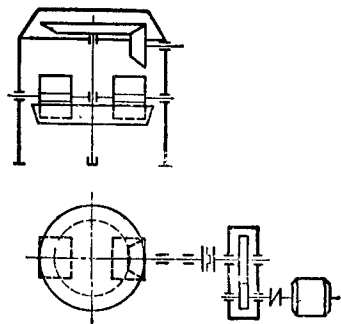


图 1-1

上的内燃机、齿轮变速箱,以及后桥齿轮等一系列传动装置相连。内燃机转动后,通过一系列的传动装置,带动车轮旋转,汽车就可以在路上奔跑。图 1-1 所示的混料机,它的两个滚子相对于圆盘运动时,可以进行混料的工作。运动从那里来呢?从图中可以看到,运动来自电动机,电动机转动后,通过圆柱齿轮减速器和一对圆锥齿轮传动,带动圆盘旋转,从而达到混料的目的。图 1-2 则为一台常见的普通车床,工作时,机床的主轴必须旋转,刀架必须作相应的移动,否则,不能进行切削加工。这些运动从哪里来的呢?从图中不难看到,无论是主轴的旋转还是刀架的移动,都是通过电动机和一系列的齿轮传动来现实的。

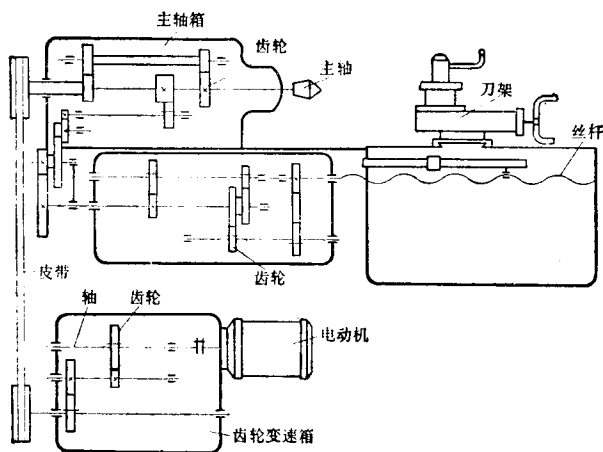


图 1-2

由此可见,无论是汽车、机床还是其他各种机器,大多离不开齿轮传动。

能不能将原动机(例如内燃机、电动机等)直接和机器的

工作部分(例如汽车的车轮、机床的主轴等)连接起来,从而取消齿轮传动呢?一般来说,这是不大可能的。将内燃机直接与车轮相联,不但在结构上有困难,要使车速能满足行驶的要求更是不可能,因此,必须借助于一系列的齿轮传动。从图 1-1 所示的混料机来看,混料机工作时,要求圆盘慢慢的旋转,但电动机却转得很快,如果直接将电动机和圆盘相联,混料机将无法工作。图 1-2 所示的车床,主轴的旋转和刀架的移动,都要根据不同的情况有所快慢,在电动机转速不变情况下,这就需要通过一系列的齿轮传动达到改变速度的目的。

如上所述,许多机器,不但需要通过齿轮来传递运动,而且,更重要的是要通过齿轮来改变运动的形式和运动速度的大小,以满足机器工作的要求。

总之,由于结构的需要,由于各种机器的运动形式和运动速度高低的要求,只靠原动机往往不能得到满足,因此,许多机器,都离不开齿轮传动。

## 二、为什么不能将一对齿轮的轮齿做成直线齿廓?

齿轮是应用最早的机械零件之一,早在公元前就已有关于齿轮的记载。在我国,汉朝时就有了金属铸造的齿轮。但是,古时候所用的齿轮有许多地方不同于现代的齿轮,其中最主要的可以说是轮齿齿廓的形状。

很早以前所用的齿轮,它的轮齿大多是做成直线型的,图 2-1 所示的永转翻车中所用的齿轮,就是其中的一个例子。但是现代所用的齿轮,无论是用于汽车、拖拉机、机床,还是其它机器,齿轮的轮齿齿廓,大多做成曲线型。现代齿轮的齿廓形状,如图 2-2 所示。为什么现代齿轮的轮齿多做成曲线齿廓?将一对齿轮的轮齿做成直线齿廓有些什么问题?

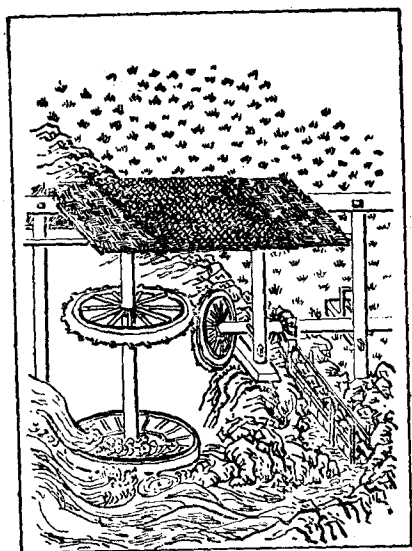


图 2-1

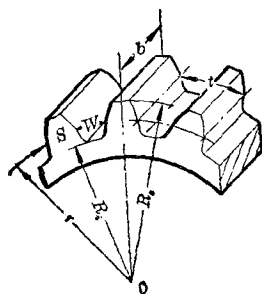


图 2-2

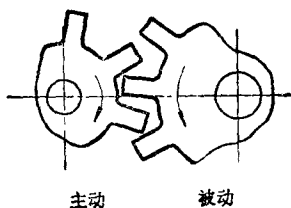


图 2-3

我们都有这样的体会,当你乘坐汽车时,如果汽车振动很大,声音很响,你就感到很不舒服;在机械加工车间,我们可以看到,如果机床的振动和冲击很大,加工出来的产品,精度就

不高,甚至成为废品。造成机器的振动、冲击和响声有很多原因,但是,我们知道,齿轮传动是机器中重要的组成部分,其质量的好坏,直接或间接地影响机器的工作性能,机器工作时发生的振动、冲击和响声,往往与齿轮传动的不平稳有关,而齿轮传动是否平稳,又取决于齿轮轮齿的形状。

假如有一对齿轮传动(图 2-3), 它们的轮齿齿廓是直线型的,现在我们来分析一下,这种齿轮传动是否平稳。

图 2-4 表示一对具有直线齿廓的齿轮传动的示意图, 它们的有关尺寸如图所示,并假定主动轮是等速转动的。

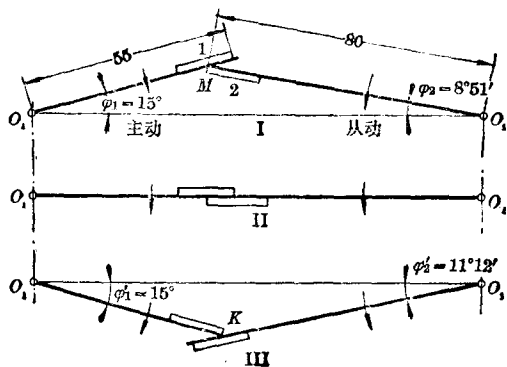


图 2-4

由图所示的几何关系,我们不难看出,当主动轮从位置 I 转到位置 II 时,它转过  $15^\circ$ ,从动轮相应的转过  $8^\circ 51'$ ;在相同的时间内,主动轮从位置 II 转到位置 III,同样转过  $15^\circ$ ,而从动轮却转过  $11^\circ 12'$ 。由此可见,主动轮等速转动时,从动轮从位置 I 到位置 II 转得慢,而从位置 II 到位置 III 却转得快。这种一快一慢,就象我们乘坐汽车时,汽车开得一快一慢,使人感到很不平稳。如果齿轮传动的速度很高,就会发

生很大的振动、冲击和响声，而且速度越高，齿轮传动发生的振动、冲击和响声就越大。古代，由于齿轮传动的速度极低，直线型齿廓还可以满足传递运动的要求。今天，随着机械工业的发展，齿轮承担了越来越繁重的任务，不但传递的速度高、载荷大，而且对齿轮传动的精确性的要求也越来越高，在这种情况下，如果还采用直线齿廓，那就是十分不适当的了。

为了适应机械工业不断发展的要求，许多科学工作者，就齿轮的齿廓问题，作了不少的研究。早在1765年，欧拉就建议用渐开线作为齿轮轮齿的齿廓，使齿轮传动的质量大为提高。渐开线齿廓，在各种齿轮中，今天仍然得到十分广泛的应用。如要知道什么叫做渐开线和为什么渐开线齿廓至今仍然得到十分广泛的应用，请读者继续阅读下一个问题。

### 三、什么叫做渐开线？

在图3-1中，我们列举了许多种类型的齿轮，这些齿轮，在现在的许多机器，例如汽车、飞机、机床等机器中都可以看到，这些齿轮的齿廓都是渐开线型的。

什么叫做渐开线？如果我们在一个圆盘的圆周上绕上一根棉线，线头上栓一枝铅笔，将棉线拉紧并逐渐展开，铅笔在纸上画出的曲线 $ab$ （图3-2）就叫做渐开线。围绕棉线的圆盘，叫做这根渐开线的基圆，这根拉直了的棉线，叫做渐开线的发生线。

从渐开线的形成过程可以看出，渐开线具有如下性质：

(1) 被展开的发生线的长度等于未展开前绕在基圆上的弧长，即 $\overline{bc} = \widehat{ac}$ ，原因是， $\widehat{ac}$ 弧拉直即为 $\overline{bc}$ ，所以它们相等。

(2) 渐开线上任意一点的法线必与基圆相切。为了弄清这个道理，首先要知道什么叫做切线和法线。

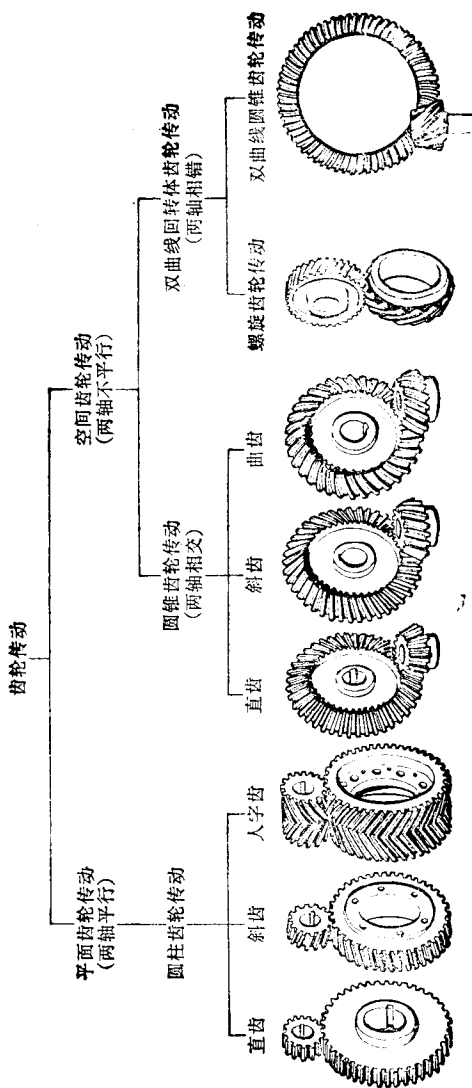


图 3-1

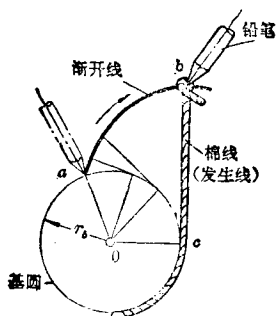
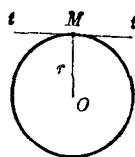
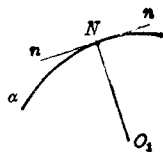


图 3-2



a)



b)

图 3-3

如图 3-3a 所示, 如果直线  $\overline{tt}$  在  $M$  点与圆相切,  $\overline{tt}$  就叫做圆上  $M$  点的切线; 过  $M$  点作垂直于  $\overline{tt}$  的直线  $\overline{OM}$ , 叫圆上  $M$  点的法线, 因此, 圆上任意一点的法线必定通过圆心。对于如图 3-3b 所示的一般曲线, 在它上面的任意一点  $N$ , 也可以作一直线  $\overline{nn}$  和它相切,  $\overline{nn}$  叫做曲线上  $N$  点的切线; 过  $N$  点作垂直于切线的直线  $\overline{NO_1}$ ,  $\overline{NO_1}$  就是曲线在  $N$  点上的法线。在  $N$  点附近的一小段曲线, 可看作是以  $O_1$  为中心, 以  $\overline{NO_1}$  为半径所画出的一段圆弧。由此可见, 法线总是沿着一段圆弧半径方向的直线。

弄清楚切线和法线的含义以后, 就不难理解为什么渐开线上任一点的法线必与基圆相切。由图 3-2 可知, 发生线总是与基圆相切的, 也就是说,  $\overline{bc}$  是基圆的切线; 此外, 在渐开线上  $b$  点附近很短的一段曲线, 可以看成是以  $o$  点为中心, 以  $\overline{bc}$  为半径所作的一段圆弧, 所以  $\overline{bc}$  就是过渐开线  $b$  点的法线, 即渐开线上任一点的法线必切于基圆的论点得到证明。

(3) 渐开线是由棉线在基圆外展开而成, 所以在基圆内无渐开线。

(4) 渐开线上各点的压力角不等。

要理解这一性质,首先要知道什么叫做压力角。

如图 3-4 所示,当推动物体沿某一方向运动时,作用力方向与物体运动方向之间的夹角就叫做压力角。由图可知,压力角越大,推动物体越费劲,因此,压力角反映了力和运动之间的一定的关系。

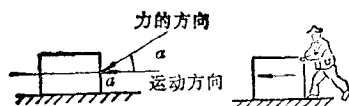


图 3-4

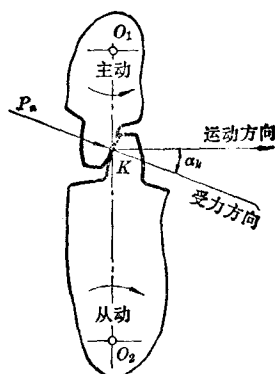


图 3-5

什么是渐开线上任意一点的压力角? 图 3-5 表示一对分别固定于中心  $O_1$ 、 $O_2$  上的渐开线齿廓, 当主动轮轮齿用力推动从动轮的轮齿时, 力将沿着它们的法线方向作用在轮齿上, 而从动轮齿上的接触点  $K$  将沿着与  $\overline{KO_2}$  垂直的方向运动。根据压力角的基本含义, 在  $K$  点上力的作用方向与  $K$  点的运动方向之间的夹角  $\alpha_K$  就是渐开线  $K$  点上的压力角。

明确了压力角的含义以后, 下面就来分析为什么渐开线上各点的压力角是不相同的。

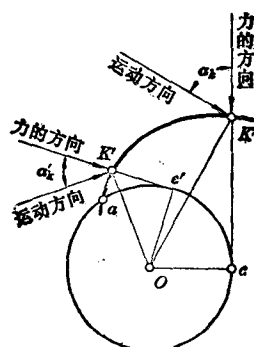


图 3-6

在渐开线上任取两点  $K$  和  $K'$  (图 3-6)。由于力总是沿

着法线方向作用的, 根据渐开线的性质(2), 作用在  $K$  或  $K'$  点上的力, 其延长线必与基圆相切; 此外, 在力的作用下,  $K$  和  $K'$  点的运动方向, 将分别垂直于  $K$  和  $K'$  点与中心  $O$  的连线。由力的方向和运动方向所构成的夹角  $\alpha_k$  和  $\alpha'_k$ , 就分别是渐开线上  $K$  和  $K'$  点的压力角。由图可知,  $\alpha_k$  和  $\alpha'_k$  是不相等的。在渐开线上离基圆上越远的点, 它的压力角越大, 离基圆越近的点, 它的压力角越小, 在基圆上的点  $a$ , 它的压力角为零。

以上四条, 就是渐开线的基本性质, 弄清这些性质以后, 就可以知道, 渐开线齿廓为什么直到现在仍然得到十分广泛的应用。

#### 四、为什么大多数齿轮都用渐开线作轮齿齿廓曲线?

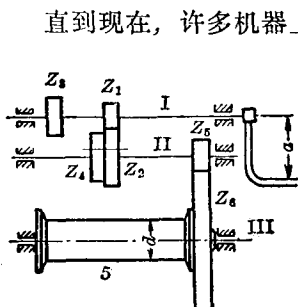


图 4-1

直到现在, 许多机器上的齿轮, 其轮齿都做成渐开线齿廓, 图 4-1 所示的手动绞车中所用的齿轮, 就是渐开线齿轮。此外, 汽车、拖拉机、起重机、机床等机器中所用的齿轮, 也都是渐开线齿轮。为什么渐开线齿轮直到今天仍然得到这样广泛的应用呢? 主要是采用渐开线做齿轮轮齿的齿廓曲线, 不仅能保证传动平稳, 而且也给齿轮的制造和安装带来很大的方便。这些就是渐开线齿轮直到今天仍然得到广泛应用的主要原因。

首先要讨论的就是渐开线齿廓为什么能够保证传动平稳。