

圆 弧 齿 轮

太原工学院齿轮研究室 主编

目 录

符号说明

第一章 总论	1
一、接触区沿轴向移动的齿轮	1
二、圆弧圆柱齿轮的运动学和几何学	6
三、圆弧齿轮的强度概述	9
四、圆弧齿轮在我国的使用和发展概况	10
五、国外圆弧齿轮的发展简况	13
六、圆弧齿轮的发展趋势	15
第二章 圆弧齿轮传动的的基本啮合原理	18
一、概述	18
二、圆弧齿轮的齿面	21
三、圆弧齿轮共轭齿面的条件	32
四、圆弧齿轮的运动特性	37
五、圆弧齿轮的啮合特性	40
六、曲面的曲率问题	53
第三章 圆弧齿轮传动的设计与计算	64
一、圆弧齿轮齿形设计与计算	64
二、圆弧齿轮的几何尺寸计算	89
三、圆弧齿轮的主要破坏形式	90
四、初步确定圆弧齿轮的主要参数	98
五、圆弧齿轮接触强度计算	101
六、圆弧齿轮齿根弯曲强度计算	118
七、双圆弧齿轮的强度计算	129
八、圆弧齿轮传动基本参数的选择	131
九、齿轮材料的选择	136
十、计算举例	139

第四章 圆弧齿轮制造工艺	165
一、圆弧齿轮的工艺特性	165
二、圆弧齿轮齿坯的加工	170
三、圆弧齿轮的滚齿工艺	171
四、圆弧齿轮的其它加工方法探讨	183
附录 按包络原理推导圆弧齿轮齿面方程	185
第五章 圆弧齿轮滚刀的设计和制造	191
一、概述	191
二、圆弧齿轮滚刀的主要参数及设计计算	192
三、直沟正前角圆弧齿轮滚刀的齿形计算	209
四、镶齿圆弧齿轮滚刀	217
五、圆弧齿轮滚刀的制造	222
第六章 圆弧齿轮传动公差和测量	230
一、概述	230
二、检验项目及公差	231
三、基准齿形位置偏差 Δh 和中心距偏差 Δa 的确定	250
四、圆弧齿轮精度等级的选择	259
五、测量尺寸的计算	261
六、基准齿形位移有关检验项目在生产实践中的应用	286
附录 双圆弧圆柱齿轮的公差与检验	291
第七章 圆弧齿轮测量工具	311
一、概述	311
二、圆弧齿轮的制造误差及其影响	311
三、圆弧齿轮的测量方法与测量工具	314
第八章 圆弧齿轮的试验	330
一、概述	330
二、齿轮试验台的基本原理与结构	331
三、圆弧齿轮的疲劳试验和磨损试验	346
四、圆弧齿轮效率试验	356

V

五、齿轮润滑试验及齿面温度测试	358
六、圆弧齿轮齿轮箱的振动测试	361
七、圆弧齿轮的噪音测试	364
八、圆弧齿轮轮齿应力分析试验	368
第九章 圆弧齿轮的装配和维修	370
一、装配与安装	370
二、使用与维修	385
第十章 圆弧齿轮的润滑和冷却	392
一、圆弧齿轮的润滑	392
二、圆弧齿轮减速器的散热与冷却	417
参考文献	420

第一章 总 论

一、接触区沿轴向移动的齿轮

齿轮传动是现代各类机械中应用最广的一种基本传动形式。齿轮传动是靠主动轮的轮齿依次推压从动轮的轮齿以实现传递运动和动力。由于各种机器中齿轮的传动都是一个复杂的运动过程，包含着许多有关强度（折断、点蚀、胶合、磨损、塑性变形等）、寿命和传动质量（冲击、振动、噪音）等方面的矛盾，因此，设计时要综合考虑各方面的因素，特别是下述几方面的基本要求：

1. 啮合过程中，轮齿的传递要平稳连续，即齿轮传动时的瞬时速比不变（或按预定规律变化）。传动时齿廓不允许出现干涉。

2. 相啮合的轮齿表面尽可能地紧密贴合，以保证高的接触强度。

3. 轮齿的断面要厚，以保证高的折断强度。

4. 传动时，齿面间滑动要小，以减小磨损，提高效率。

5. 对传动零件的变形、轴的歪斜以及制造、装配误差的敏感性要小。

6. 齿廓形状要简单，以便于制造，降低成本，并容易达到较高的精度。

齿轮传动的发展和生产发展密切相关。在古老的齿轮传动中，由于齿轮传动的速度低、功率小，齿轮能相互传动就已满足要求，齿廓曲线采用最简单的直线，例如我国古代水

车上的齿轮。随着生产的发展，齿轮传动的功率日益增大，速度越来越高，轮齿齿廓曲线的选择就显得十分重要。经过长期实践，十七世纪末提出了摆线作为轮齿齿廓曲线。由于摆线的制造和安装较困难，限制了它的发展。十八世纪六十年代，欧拉提出用渐开线作为轮齿齿廓曲线。渐开线齿廓在制造和安装上都显示出很大的优越性，所以，获得了广泛的应用和发展。经过二百多年的实践，人们对渐开线齿轮积累了丰富的资料。

最早应用的渐开线齿轮是圆柱直齿轮，它是靠轮齿齿廓的推压来传递运动的，这样的一对轮齿，其端面齿廓是共轭的，但连续啮合传动仅靠一对轮齿是不可能的，它是靠许多齿不断交替传动来实现连续啮合的。因此，只有在前一对齿脱离啮合之前，随后的一对齿必须已进入啮合，才能保证齿轮的连续传动，即端面重合度 $\varepsilon_a > 1$ 。我们知道，重合度的大小是表示传动过程中轮齿同时啮合的对数，显然， ε_a 愈大，传动愈平稳。

为了加大渐开线齿轮的重合度，不宜采取过分增加齿高的方法。这是因为轮齿愈长，其抗弯曲折断的能力愈低，同时离节点愈远的齿面，其相对滑动愈大，摩擦损失也大，从而导致效率的降低；此外，还易产生干涉或根切及齿顶变尖等缺点。

增加重合度最有效的办法是采用渐开线斜齿轮。在渐开线斜齿轮传动中，除上述由端面共轭齿廓保持的一个端面重合度外，还存在着因螺旋角而造成的延迟脱离啮合的时间，即除有端面重合度 ε_a 外，另外又增加了一个齿轮的轴向重

合度 $\varepsilon_\beta = \frac{b \tan \beta}{p_s}$ 。因此，它的重合度为

$$e_r = e_\alpha + e_\beta = e_\alpha + \frac{b \operatorname{tg} \beta}{p_s} \quad (1-1)$$

式中 p_s ——端面周节。

由上式知，如增大重合度 e_r ，不增加齿高，而增加齿宽 b 及螺旋角 β 也可实现。

渐开线齿轮由于其中心距的可分性以及制造、测量方便等许多优点，使它得到了广泛的应用，但它也存在着下述缺点：

1. 渐开线齿轮当两轮齿在节点处啮合时，两齿面之间的相对运动是纯滚动。但啮合点离节点越远，则两啮合齿面之间的相对滑动速度也越大。这种滑动，对于齿面的磨损、发热、传动平稳性和效率以及传动的寿命都很不利。因此，渐开线齿轮滑动系数的大小（以齿根最大滑动系数为指标），应力求降低。

2. 渐开线外啮合齿轮传动是凸齿对凸齿的啮合传动，从接触强度来看，这种齿形的承载能力很差。

随着生产和科学技术的发展，对高速、重载、大功率的齿轮传动装置，提出了更高的要求。为了克服渐开线齿轮传动的缺点，逐渐开展了对凸凹齿面相啮合的斜齿轮传动方案的研究。这种方案不仅提高了齿面的接触强度，而且在设计时，只要合理的选取齿宽 b 和螺旋角 β ，使轴向重合度 e_β 大于 1，在这种情况下，即使该齿形的端面重合度 e_α 为零，也仍然能实现连续的啮合传动。

1922 年，威克-波斯托克-布朗莱（Vickers-Bostock-Bramley）研究了包围齿形的齿轮，简称 VBB 齿轮（图 1-1），这种齿轮不仅是凸凹齿面相啮合的传动（小齿轮为凸齿齿廓，大齿轮为凹齿齿廓），而且在端面内仍然有重合度 e_α 。在接

触强度方面, 由于啮合齿廓具有很大的当量曲率半径, 表面接触应力比渐开线齿轮小得多。但是这种齿轮由于凹齿齿顶厚度很小, 因而弯曲强度较弱, 易于折断, 这就限制了 VBB 齿轮的应用。

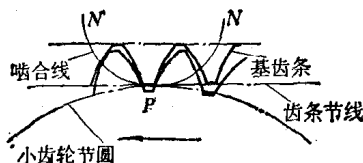


图1-1 端截面内的 VBB 齿轮

葛朗特(G. B. Grant)

基于轴向啮合传动的概念,

曾建议将斜齿轮的齿顶高取成接近于零, 而使一对齿只在节圆上接触 (图1-2), 完全靠轴向重合度来保证传动的连续性。这样的一对齿轮, 由于事实上与刀口接触相类似, 其传动能力自然是微乎其微。葛朗特原来的想法是企图利用这种传动只在节圆上接触、齿面之间完全没有滑动的特点, 希望能应用于仪表中作为不需要润滑的齿轮。但由于这种齿轮, 必须要有较大的齿宽, 而且对中心距的敏感性又很强。

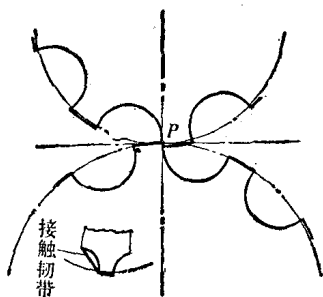


图1-2 葛朗特齿廓

因而在生产上没有得到实际的应用, 但对于齿轮的发展却是一种启发。

1926 年, 维尔德哈泊 (E. W. Wildhaber) 建议的圆弧齿轮方案, 就是基于上述的概念而提出的, 如图 1-3 所示。凹齿齿廓圆弧半径 ρ_2 的圆心在齿条型刀具的节线上, 齿面啮合时, 凹齿齿廓圆心 P_2 和节点 P 重合。齿轮的凸齿齿廓圆弧半径 ρ_1 比 ρ_2 减小一个 $\Delta\rho$ 值, 其圆心 P_1 位于名义压力角 α 的半径线 JP 上。这种齿轮也没有应用到工业生产上去。

1956年, 诺维柯夫 (М. Л. Новиков) 提出的圆弧齿轮方案, 如图1-4所示。凸齿齿廓的圆心 P_1 落在齿条型刀具的节线上, 凹齿齿廓的圆弧半径比凸齿齿廓的圆弧半径加大 $\Delta\rho$ 值, 它的圆心 P_2 则在名义压力角处的半径延长线上。

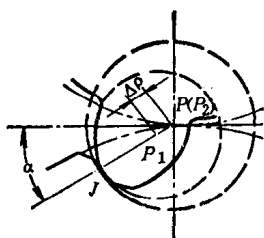


图1-3 维尔德哈泊建议的
圆弧齿轮

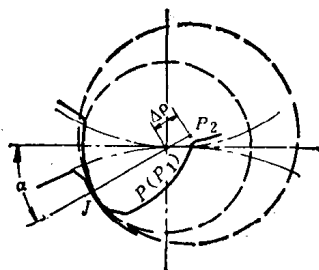


图1-4 诺维柯夫圆弧齿轮

上述两种圆弧齿轮的齿形 (维尔德哈泊齿轮齿形和诺维柯夫齿轮齿形) 方案非常接近。最初安装好的齿轮副, 跑合前, 啮合齿面仅在 J 点接触。但加上负载后, 经过一段时间的运转, 两啮合齿面逐渐跑合 (磨合)。凸齿齿廓在接触点处的曲率半径逐渐增大, 凹齿齿廓在接触点处的曲率半径则逐渐减小。最后两工作齿面的曲率半径趋于相等, 跑合好的齿面呈现密合接触。此时, 两齿面的共同圆弧半径 ρ_{af} 大于原来凸齿齿廓圆弧半径 ρ_a , 而小于原来凹齿齿廓圆弧半径 ρ_f 。跑合后的齿廓圆弧中心, 则位于原来齿廓圆弧中心 P_1 和 P_2 之间。但是, 圆弧齿轮在运转时, 凸凹两齿廓的瞬时运动中心和节点 P 重合。因此, 最好的跑合效果应使相啮合齿廓的圆弧中心都和节点重合。

二、圆弧圆柱齿轮的运动学和几何学

(一) 圆弧齿轮的运动特性

圆弧齿轮的端面齿形为非共轭齿形，为了能达到连续而平稳的传动，就必须具备下列的运动特性：

1. 两齿轮的工作齿面（在理论上的接触线或实际运转中的接触带），必须是螺旋线或螺旋面。

2. 一对相啮合的齿轮，在两个节圆柱上的螺旋角必须大小相等，方向相反。也就是两个齿轮的轴向节距（齿距）必须相等。这一点和渐开线斜齿轮是一致的。

3. 一对相啮合的齿轮，其轴向重合度必须大于1，即 $\varepsilon_\beta > 1$ 。

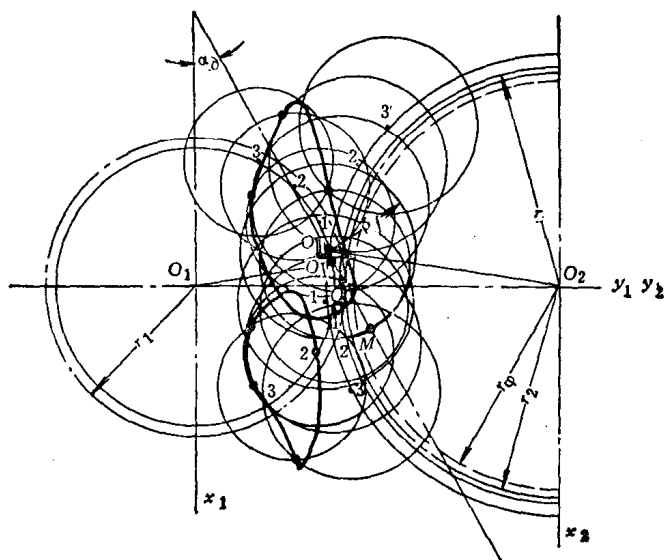


图1-5 校验齿形干涉的图解法

4. 一对相啮合的齿轮其模数必须相等。

5. 一对相啮合的齿轮，其啮合点（区域面）移动的方向是与两齿轮的轴线方向平行的。

6. 一对相啮合的齿轮，其齿面之间不得产生齿形干涉。用图解法很容易看出（图 1-5），为了避免齿形干涉，凹齿齿形不应超出节圆，凸齿齿形工作部分也不应伸展到节圆以内。

（二）圆弧齿轮的几何参数和特点

1. 两啮合齿轮的工作齿面是凸齿齿廓与凹齿齿廓，即啮合时凹齿包住凸齿，以提高其接触强度。

2. 在理论上，最好使凸凹齿廓的圆弧半径相等，这样才能得到沿整个齿高的瞬时线接触。但是由于制造和安装时将产生各种误差，如果凸、凹齿的齿廓圆弧半径相等，则由于误差的影响，将会引起齿顶棱边接触。因此在设计齿形时，凸、凹两工作齿廓的圆弧半径需要有一个很小的差值（凹齿齿廓的圆弧半径稍大于凸齿齿廓的圆弧半径）。这样，齿轮运转时，开始只有一个点接触（避免了齿顶棱边接触），运转一段时间后，齿面逐渐跑合，凸齿面和凹齿面接触弧的曲率半径趋于相等，达到了沿齿高瞬时线接触的理想情况。

3. 在两齿面的正确啮合情况下，由于两齿面存在齿廓圆弧半径差，如果轮齿绝对刚性，齿面没有磨损，而且具有绝对光洁度，此时，齿面才发生点接触。实际上，在负荷作用下，齿轮材料发生弹性变形，加工后的齿面并非绝对光洁，齿轮运转后，齿面逐渐磨损而跑合。所以在负荷作用下，两啮合齿面的实际接触部分，首先出现近似椭圆形状的接触区（见图 1-6 a、b）。若负荷再加大（在许用功率范围内），则呈现“梭形”接触区（见图 1-6 c、d）。有的文献则认

为：在负荷作用下，圆弧齿轮同一齿上有两点接触时，由于轮齿纵向变形，及齿面各点曲率半径的不同，齿面接触区呈近似梯形（见图

3-4）。总之，圆弧齿轮的啮合齿面在良好的跑合之后，接触面积增加很多。如果圆弧齿轮和渐开线齿轮的几何尺寸相同，由于圆弧齿轮的当量曲率半径比渐开线齿轮的当量曲率半径大数十倍，因此其接触应力将大幅度下降，接触强度将大大提高。

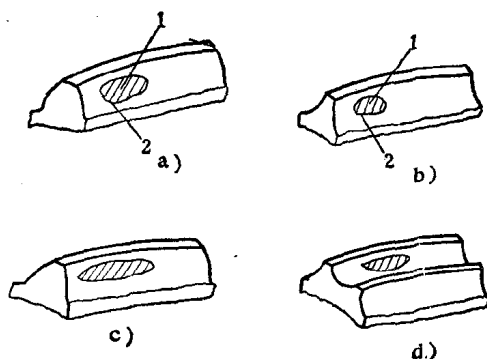


图1-6 齿面接触区形状

- a) 凸齿面上近似椭圆形接触区
1—理论的接触点 2—实际的近似椭圆形接触区
- b) 凹齿面上近似椭圆形接触区
1—理论的接触点 2—实际的近似椭圆形接触区
- c) 负荷加大时凸齿面上梯形接触区
- d) 负荷加大时凹齿面上梯形接触区

(三) 圆弧齿轮的啮合情况和要求

显然，跑合良好的圆弧齿轮，凸凹两齿廓的圆弧中心重合，并都在节圆上，这时两啮合的齿廓圆弧也重合。所以在同一个端截面里，当两个齿的齿廓圆心同时经过节点 P 时，两齿形曲线就出现瞬时重合，即沿整个齿高成线接触（图1-7 c），但当圆心 P_1 、 P_2 不在节点上时，两段圆弧齿形始终保持着分离（如图1-7 a、b、c所示）。

由此可知，为了保持齿轮的连续平稳传动，圆弧齿轮必须作成斜齿。

目前，圆弧齿轮绝大多数是用滚刀加工的，因为滚齿的

生产率高，精度也有一定保证。如果采用端面圆弧齿形，则滚刀的法面齿形并非圆弧，且随螺旋角的不同而变化。这样，切制不同螺旋角的齿轮，需要不同齿形的滚刀。因此，在实际生产上，为了滚刀有通用性，通常都采用滚刀法面齿形为圆弧。加工出齿轮的法面齿形也为圆弧，而其端面齿形则成为近似的椭圆形。理论分析和实践表明，齿形的这种改变，对圆弧齿轮的传动特性和强度的影响是极其微小的。

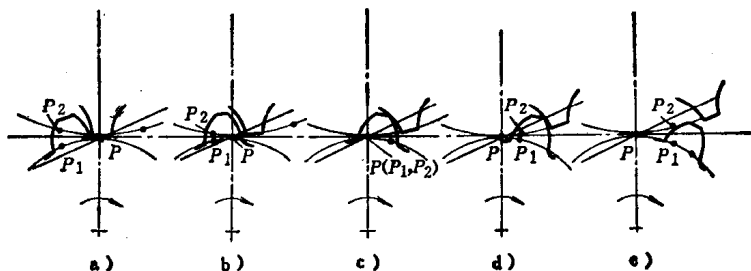


图1-7 圆弧齿轮啮合情况

三、圆弧齿轮的强度概述

正确啮合的单圆弧齿轮，其接触（抗点蚀）强度比同样条件的渐开线齿轮接触强度高。渐开线齿轮的承载能力，主要受齿面点蚀的限制。而圆弧齿轮，是凸、凹齿廓啮合，齿轮传动时接触齿面沿齿宽方向滚动，齿面沿齿宽方向曲率很小，即啮合时的当量曲率半径很大。所以圆弧齿轮抗点蚀强度是很高的。此外，由于两齿面跑合后紧密贴合，接触面积较大，而且啮合齿面间有较厚的油膜，因而也有助于提高抗点蚀强度。

圆弧齿轮的接触精度和齿面硬度，是影响圆弧齿轮接触

强度的重要因素。因此，正确选择齿轮材料、热处理工艺和啮合参数是至关重要的，必须在设计、制造和安装过程中引起足够的重视。同时选择适当的润滑油和润滑方式，或在润滑油中加入极压抗磨、抗胶合添加剂或其它添加剂（如合成烃等），对防止点蚀、胶合能起较大作用。

双圆弧齿轮凸、凹齿廓沿齿高的总接触弧长比单圆弧齿廓的弧长大得多，因此，齿面的接触应力又相应的进一步减小。同时，由于双圆弧齿轮轮齿根部厚度较大，而分担的负荷较小，因此弯曲强度也有较大的提高。所以，双圆弧齿轮的承载能力比单圆弧齿轮有较大的提高。

四、圆弧齿轮在我国的使用和发展概况

从1958年开始，我国不少厂矿和科研单位已对圆弧齿轮进行试验和研究，并逐步得到应用和推广。

1962年12月，在上海召开了圆弧齿轮技术会议，总结了圆弧齿轮在生产中所取得的成就。当时已经生产了三千多台圆弧齿轮设备，圆周速度达到了 68.9m/s ，齿轮最大直径达到4468mm。

1965年5月，在杭州召开了高速圆弧齿轮传动经验交流会，重点讨论了提高圆弧齿轮传动质量的问题。1965年11月，在鞍山召开了中、低速圆弧齿轮会议，对大模数圆弧齿轮的主要失效形式，中、小模数圆弧齿轮的弯曲强度、塑性变形，以及提高精度等重大生产问题，进行了深入的研究。

十多年来对圆弧齿轮传动，在齿形改进，齿轮制造工艺，提高加工精度等方面作了大量工作，取得了很大成绩。迄今已生产的单圆弧齿轮减速器及增速器约近十余万台。中、低速重载和高速重载动力设备中都得到了比较广泛的应用。

截止目前,我国在生产应用软齿面 ($HB < 350$) 单圆弧齿轮传动中,速度已达 110m/s ,功率达数千千瓦,模数达到 40mm 以上,齿轮直径达 4000mm 以上,扭矩近十万 $\text{kgf}\cdot\text{m}$ 。

在中、低速重载齿轮传动方面:圆弧齿轮用于轧钢机上,技术经济效果最为显著。该方面的典型例子有,在 24 英寸连轧机上采用中心距为 4070mm 的圆弧齿轮减速器后,使用功率由 2950kW 提高到 4000kW ,轧制坯料断面由原来的 $196 \times 196\text{mm}^2$ 的普通碳钢改为轧制 $250 \times 250\text{mm}^2$ 的合金钢和硅钢,并且尚有潜力可挖。在 1200 薄板轧机上使用中心距为 2748mm 和 3400mm 的圆弧齿轮减速器,至今已十余年。与原来使用的渐开线齿轮减速器相比,极大地提高了齿轮使用寿命,节约了设备维修费用,保证轧钢机安全运转,提高了轧制钢材的产量和质量。在 650 轧机齿轮机座中采用圆弧齿轮后,已运转了七年多,开创了提高齿轮机座使用寿命的先例。

圆弧齿轮减速器在其它行业中,使用效果也很好。以小代大方面的例子,如 ZH950 圆弧齿轮减速器代替 ZS1100 渐开线齿轮减速器,已使用 10 多年。减速器重量从 2100kg 减少到 1620kg 。在 2×40 吨门式起重机行走机构中,用 ZHD200 圆弧齿轮减速器代替 ZD250 渐开线齿轮减速器,减速器重量从 260kg 减少到 195kg 。在提高使用寿命方面,例如 JZQH 250~500 圆弧齿轮减速器是在 JZQ 型减速器的箱体内,把渐开线齿轮换成圆弧齿轮后,减速器的传动功率不变,齿轮寿命普遍提高一倍以上。又如石油抽油机上,配用 JS850 和 JS1000 圆弧齿轮减速器,以单斜齿圆弧齿轮代替人字齿渐开线齿轮,不仅使用效果好,且简化了工艺。

由上可知,如果减速器的外形尺寸和传递功率不变,即

使以单圆弧齿轮代替渐开线齿轮,使用寿命可以成倍提高,一台圆弧齿轮减速器至少可以顶替两台渐开线齿轮减速器使用。

在高速齿轮传动方面:目前,圆弧齿轮也广泛应用于中、小型汽轮机、离心式鼓风机、空气压缩机和船舶动力设备等近 20 种产品中。

这种高速单圆弧齿轮装置采用 45 号钢,调质、精滚的工艺,加工精度基本上达到级 7-6-6。接触面积占全齿面的 80% 以上。运转中,一般都比渐开线齿轮的噪音低、振动小,约相当于磨齿的渐开线齿轮的水平。有的运转了五年以上,仍然平稳。因此,采用圆弧齿轮,不需要磨齿,不修形,工艺简单,和渐开线齿轮比较具有较多的优点。例如,用在离心式鼓风机上的高速圆弧齿轮,转数达 10000r/min ,它和同容量的 3000r/min 的老产品相比,重量由 8 吨降到 3.8 吨。目前高速圆弧齿轮的单机传动功率已达 6000kW ,最高转数达 21500r/min ,圆周速度为 110m/s 。而且,圆周速度为 140m/s ,功率接近 20000kW 的高速圆弧齿轮亦在制造。

以上仅是单圆弧齿轮的情况,近年来,我国在试用公切线式双圆弧齿轮的基础上,又研制了分阶式双圆弧齿轮,分别用于轧钢机、起重运输设备、化工机械设备、石油抽油机、卷板机、水泥磨和工作条件很差的热矿振动筛上。经实践考验,运转数年均未损坏,证明了双圆弧齿轮无论在承载能力和使用寿命方面比单圆弧齿轮又有大幅度提高。

关于双圆弧齿轮在高速传动中的应用也进行了试验。试验在 250kW 的直流电机和 $300\sim 400\text{kW}$ 的水力测功器与增速器组成的开式试验台上进行。圆周速度达 75m/s ,振动和噪音都符合规定。试验负荷系数达 $18\sim 19\text{kgf/cm}^2$ 。这完全

表明，双圆弧齿轮在高速传动中，具有远大的发展前途。

为了进一步提高双圆弧齿轮的承载能力，使用了齿高为 $1.8m_n$ 的硬齿面双圆弧齿轮。例如在调合压密制团机上的减速器中（大齿轮调质处理，轴齿轮用低温氮化处理），原用渐开线齿轮，平均寿命仅几个月，改用硬齿面分阶式双圆弧齿轮后，已使用四年多，齿面光亮，完好无损。证明硬齿面双圆弧齿轮具有更高的承载能力。

在圆弧齿轮的制造工艺方面：我国各工具厂，已成批生产各种精度等级的单圆弧齿轮滚刀，最大模数达30mm。各种齿形的双圆弧齿轮滚刀亦能制造。圆弧齿轮的测量工具，生产品种已达十几种，如弦齿测深仪，200和300mm的公法线卡尺，300mm的齿根圆千分尺和可以装在1000mm千分尺上测量齿根圆的测量头，两用齿距仪和手提式齿距仪等。

在理论研究方面：我国各厂矿、院校、研究机构，对圆弧齿轮的啮合原理进行分析研究，提出了齿形设计的方法和适用于高速、中低速、软齿面、硬齿面齿轮的各种齿形方案。建立了圆弧齿轮的强度计算方法。在试验台上对圆弧齿轮进行了一系列承载能力和有关系数的试验研究，对各种齿形的齿面应力进行实验应力分析，分析了齿形参数对齿轮承载能力的影响，为合理设计齿形打下了基础。

五、国外圆弧齿轮的发展简况

国外对圆弧齿轮的应用与试验研究，也相当重视。苏联的单圆弧齿轮主要用于中、低速传动。传递扭矩已达到10万 $\text{kgf}\cdot\text{m}$ ，齿轮模数达到52mm，齿轮直径达到3m。主要用在内燃机车、汽轮机、压缩机、汽车、拖拉机、轧钢机和起重机等产品上。1969年，在苏联的双圆弧齿轮国家标准中，已表明齿形为