

阮宝湘 石道平 朱中一 编著

机械工人

小顾问

(2)

——渐开线齿轮知识

机械工业出版社

本书的主要内容是渐开线齿轮知识,包括基本理论、应用、检测、加工等等。

本书继承第1册的风格,采用问答形式,配以趣味插图,通俗简练、深入浅出地解答各种问题。本书的特色有:1. 对一般技术读物中不常深入讨论的一些疑难问题,给予透彻简明的讲解,还通过生动、巧妙的比喻、或一些有趣的现象,来说明问题的关键,引起读者的浓厚兴趣;2. 对齿轮精度的现行标准 GB10095—88 进行了简要讲解;3. 汇集了丰富的现场加工经验,特别是一些近似加工法、替代加工法,对专用设备缺乏的中小企业很有实用价值。

本书的主要读者对象是齿轮工与其他技工,也可作为技工学校学生、职工培训班学员的重要参考书。由于内容有一定深度,对大、中专学生及技术人员也有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

机械工人小顾问(2)——渐开线齿轮知识/阮宝湘等
编著. —北京:机械工业出版社, 1998. 4
ISBN 7-111-06016-4

I. 机… II. 阮… III. ①机械工业-基本知识②
渐开线齿轮-基本知识 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 25533 号

出版人:马九荣(北京市百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑:杨溥泉 李超群 版式设计:霍永明

责任校对:张晓蓉 封面设计:郭景云 责任印制:路琳
北京大地印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998年3月第1版第1次印刷

787mm×1092mm 32·11.125印张·240千字

0.001—2500册

定价:17.50元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

前 言

齿轮是现代机械中常用的重要零件。随着生产与科技的发展,对齿轮的需求量日益增加,对其品质要求也越来越高。近年来,齿轮的专业生产企业,或专业化的齿轮车间、齿轮工段、齿轮加工小组在我国不断涌现与组建,使从事齿轮制造工作的职工、特别是青年工人的数量迅速增多。他们希望能尽快提高理论知识与实际技术水平。本书就是针对上述社会需求而编写的。

第2册保持第1册的风格,仍采用问答形式,力求通俗简炼、深入浅出地解答各种问题。本书具有以下几个方面的特色:

第一,在适当照顾系统性的前提下,突出重点,解答一般技术书籍未能讲深讲透的疑点与难点问题。在部分题目中,还以生动、巧妙的比喻,来点化疑难问题的关键。在另一些题目中,则通过一些有趣的现象或问题,引导读者进行深入思考、加深理解。

第二,本书编著者曾较长时间参加齿轮国家标准的学习与贯彻,工作中取得不少收获与体会。因此,本书提出的问题符合广大读者的实际需要,也有较强的针对性。

第三,编著者长期在生产第一线工作,积累了丰富的实际生产经验、试验研究成果等,在本书中均有反映,可供读者在生产实践中参考。特别是一些近似加工法,替代加工法,在缺乏专用设备的中、小机械厂中,是会受到欢迎的。

本书的大部分题目均配有趣味插图，其目的不仅是使版面生动活泼，还力图让趣味插图能集中、鲜明、形象地反映本题目的核心内容或关键之点，有助于读者的理解。

本书的主要读者对象是齿轮工及其他工种技工。可作为技工学校学生，职工培训班学员的补充读物，也可作为大、中专学生及技术人员的参考书。

北京美术家协会会员蔡汝震副教授为本书绘制了精美的插图。在此谨向他表示衷心的感谢。

由于编著者水平有限，本书错误及不当之处在所难免，欢迎读者批评指正。

阮宝湘、石道平、朱中一

1998.3

目 录

前言

1. 人类历史上是什么时候开始使用齿轮传动机构的？	1
2. 齿轮传动有什么优缺点？	2
3. 齿轮传动有哪些类型？	3
4. 齿轮的齿形为什么要做成曲线？做成直线不是更简单吗？	5
5. 什么叫做渐开线？	7
6. 渐开线齿形有什么特性？	8
7. 渐开线齿轮在啮合过程中，接触点为什么必然沿着一条固定的“啮合线”移动？	10
8. 渐开线齿轮传动为什么能保持瞬时传动比恒定？	12
9. 齿轮的分度圆指的是什么圆？	13
10. 模数是怎么回事？	15
11. 什么是径节制齿轮？	17
12. 渐开线齿轮的压力角指的是什么角？	18
13. 分度圆上的压力角为什么规定为 20° ？	20
14. 基圆和分度圆有什么联系？	22
15. 汽车变速箱中的齿轮比标准齿轮短而粗，但齿顶并不尖，这是为什么？	23
16. 什么叫做基本齿廓？国家标准对渐开线圆柱齿轮基本齿廓的有关参数有哪些规定？	25
17. 模数相同的齿轮，它们的齿形是否一样？	26
18. 节圆与分度圆有什么不同？又有什么关系？	27
19. 压力角、齿形角与啮合角有什么关系与区别？	29

20. 齿轮工、车工和铣工配换交换齿轮时，都凭目测安装，安装中心距与设计中心距可能会有误差，这对齿轮传动质量有影响吗？	30
21. 什么是齿厚？分度圆齿厚指的是弧长还是弦长？	34
22. 标准渐开线齿轮的齿根圆与基圆相比，哪个大？	36
23. 什么叫做齿轮的公法线？	38
24. 公法线长度如何计算？	38
25. 测量公法线长度时，跨多少个齿比较合适？	42
26. 公法线长度与基圆齿厚有什么关系？	45
27. 为什么公法线长度测量法在生产中应用较为广泛？	47
28. 齿轮在传动时是否会发生前一对啮合的齿分离了，后一对齿还没有啮合上的暂时中断现象？	47
29. 怎样避免齿轮传动中的啮合中断现象？	50
30. 渐开线是由发生线沿基圆作纯滚动而成，那么一对渐开线齿轮啮合时，两齿面之间是否也是纯滚动呢？	53
31. 齿轮通常是怎样损坏的？导致这些损坏的原因是什么？	54
32. 怎样才能使齿轮的轮齿不易折断？	56
33. 齿轮的模数是选大一些好，还是选小一些好？	58
34. 为什么疲劳点蚀通常产生在节线以下部位的齿面上？它对传动有什么影响？	59
35. 如何选择较为恰当的齿轮材料和热处理方法？	60
36. 为什么要把小齿轮的齿面做得比大齿轮硬些？	62
37. 标准渐开线齿轮的齿数过少会出现什么问题？	63
38. 为什么齿数少于 17 的标准渐开线齿轮在切齿时会发生根切现象？	65
39. 怎样才能避免少齿数齿轮的根切？	69
40. 变位齿轮难懂吗？	71
41. 变位齿轮常用来达到哪些目的？	72
42. 什么是变位系数？什么叫正变位？什么叫负变位？	74

43. 变位齿轮的齿廓是否还是渐开线?	75
44. 避免根切的最小变位系数怎样计算?	78
45. 什么是高度变位? 在什么情况下采用高度变位?	79
46. 什么是角度变位? 在什么情况下采用角度变位?	82
47. 角度变位齿轮传动有哪些优缺点?	83
48. 变位系数应根据什么原则选取?	84
49. 变位系数选取多大最合适?	86
50. 齿轮变位后公法线长度有什么变化?	88
51. 变位法在齿轮修复中有哪些应用?	92
52. 斜齿圆柱齿轮是怎样产生的?	94
53. 斜齿圆柱齿轮传动有哪些优点?	96
54. 斜齿轮的端面模数和法向模数是什么意思?	99
55. 为什么斜齿轮的端面模数通常是非标准值?	100
56. 斜齿轮的设计计算是用端面模数还是法向模数?	102
57. 斜齿轮传动也能配凑中心距吗?	103
58. 怎样选取合适的斜齿轮螺旋角?	105
59. 减速器设计中, 斜齿轮的螺旋角为什么 总是取 $\beta=8^{\circ}6'34''$?	106
60. 斜齿轮的当量齿数是什么意思? 它为什么比实际 齿数多, 而且常不是整数?	108
61. 斜齿轮的公法线长度是如何测量的?	110
62. 什么是平行轴斜齿轮传动? 什么是交错轴斜齿轮 传动? 二者有什么区别与联系?	113
63. 交错轴斜齿轮传动有哪些优缺点?	115
64. 交错轴斜齿轮副中的“小齿轮”直径有时比“大 齿轮”直径还大, 这是为什么?	117
65. 你知道交错轴斜齿轮传动中, 两轮的旋转方向能设 计出什么巧妙的变化来吗?	118
66. 锥齿轮的背锥和当量齿轮是什么意思?	119
67. 为什么锥齿轮要取大端模数为标准值?	121

68. 锥齿轮的传动比如何计算?	122
69. 弧齿锥齿轮传动有什么优点?	124
70. 圆弧齿轮是怎么回事? 它与渐开线齿轮比较有什么 优点?	125
71. 蜗杆传动有哪几种类型?	128
72. 蜗杆传动与齿轮传动有什么类似的地方?	131
73. 什么叫做蜗杆的直径系数?	133
74. 为什么将蜗轮的端面模数规定为标准模数?	135
75. 蜗杆与梯形螺杆有什么不同?	136
76. 蜗杆传动有什么特点?	138
77. 环面蜗杆传动有哪几种类型?	140
78. 怎样计算定轴轮系的传动比?	142
79. 什么叫惰轮? 它在齿轮传动中起什么作用?	144
80. 周转轮系是什么意思?	146
81. 行星轮系和差动轮系有什么区别?	147
82. 如何计算周转轮系的传动比?	150
83. 怎样进行差动轮系的运动合成计算?	153
84. 一齿差内啮合传动是怎么回事? 有什么优点?	155
85. 什么是谐波齿轮传动? 其传动有什么特点?	157
86. 齿轮精度分多少个等级?	161
87. 齿轮精度包括哪些内容?	162
88. 齿轮精度标准中为什么规定了那么多的误差项目?	161
89. 对同一个齿轮为什么各公差组可以规定不同的精度 等级? 它们之间有哪些制约关系?	166
90. 运动准确性和传动平稳性都反映在转角误差上, 它们到底有什么区别?	168
91. 为了提高齿轮传动质量, 选取高精度等级总比选低 精度等级好, 这种说法对吗?	171
92. 对齿轮的齿坯为什么也要规定精度要求?	172
93. 齿圈径向跳动和径向综合误差有什么异同点?	171

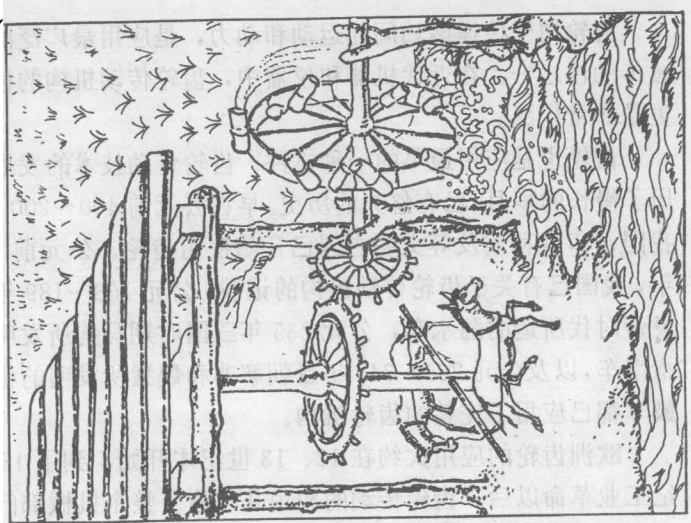
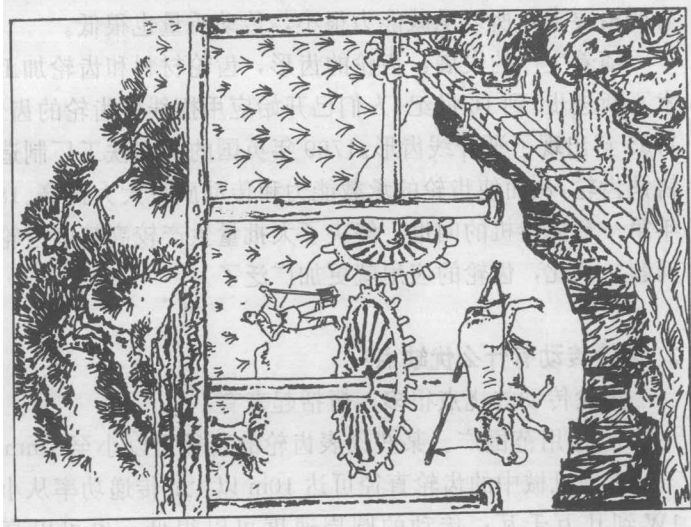
94. 公法线长度变动和公法线平均长度偏差
是一回事吗? 176
95. 公法线长度变动既然应用很广泛, 为什么国际标准中
不采用这项指标? 178
96. 设计齿形为什么不同于理论渐开线齿形? 180
97. 为什么 GB10095—88 标准中, 对齿形误差控制比
JB179—60 标准要严格? 182
98. 渐开线齿形误差也可分为形状误差和位置误差吗? 183
99. 齿距偏差和基节偏差都是反映齿轮上轮齿分布是否
均匀的误差项目, 那么它们有什么区别呢? 185
100. 国家标准 GB10095—88 对齿向误差有什么要求? 187
101. 修缘齿形、凸齿形和鼓形齿有什么区别? 188
102. 齿轮精度的公差组与检验组是一回事吗? 192
103. 评定运动准确性选用哪个检验组较为合适? 195
104. 为什么必须同时控制齿圈径向跳动和公法线长度
变动才能保证传动准确性? 197
105. 齿轮传动平稳性要求主、从动轮的基节相等, 但
实际上主动轮基节稍大于从动轮基节传动更为有
利, 这是为什么? 200
106. 为什么只要限制齿向误差这一项, 就能保证载荷
分布均匀性? 202
107. 啮合的一对齿轮, 齿侧留有间隙, 对传动准确性
有影响吗? 203
108. 单项误差、综合误差和整体误差有什么区别? 205
109. 贯彻齿轮国家标准的验收检查中, 为什么要强调
检查 ΔF_p 、 Δf_{pt} 、 Δf_t 和 ΔF_β 4 个单项误差? 208
110. 切齿加工的原理是什么? 210
111. 齿轮加工方法有哪些? 较常用的是哪几种? 如何
选用? 215
112. 齿轮铣刀的刀号数是怎么回事? 218

113. 用盘形齿轮铣刀加工齿轮时, 刀具为什么要对中? 怎样才能对中?	221
114. 盘形齿轮铣刀、插齿刀及齿轮滚刀安装后是否需要 校验安装精度? 怎样进行?	223
115. 铣削斜齿圆柱齿轮时, 如何选取盘形齿轮铣刀 号数?	226
116. 加工短齿齿轮可以用标准直齿齿轮铣刀吗?	228
117. 加工锥齿轮的成形铣刀有什么特点? 怎样选择 刀号?	229
118. 铣削直齿锥齿轮的一般步骤如何?	231
119. 可以用一刀成形法铣削锥齿轮吗?	233
120. 采用近似分度法铣削齿轮时, 出现周期性齿距不等 现象是操作错误吗?	236
121. 滚齿机中的“差动”机构是怎么回事?	239
122. 怎样避免滚齿机刀杆托架锥轴承咬死 或过松情况?	241
123. 滚齿时, 滚刀是否需要对中? 若要对中, 通常如何进行?	243
124. 滚齿时, 为什么要调整滚刀安装角? 滚刀安装角应 如何调整?	245
125. 滚齿时, 滚刀切削节圆导程角 γ_0 如何计算?	248
126. 滚齿时, 滚刀的径向进给量该如何计算?	251
127. 多次进给滚切大质数斜齿轮怎样防止乱齿?	253
128. 短齿圆柱齿轮可用标准滚刀加工吗?	256
129. 怎样用标准滚(插)齿刀加工非标准齿轮?	258
130. 滚齿加工时, 垫圈内孔与定位心轴配合间隙较小会引起 齿圈径向跳动吗?	260
131. 垫圈内孔与定位心轴配合间隙过大, 在滚齿中能 引起什么问题?	262
132. 滚切人字齿轮时, 怎样保证左右齿槽位置的	

互相对称?	264
133. 用标准滚刀加工短齿时, 滚刀安装角的调整与滚切 标准齿轮时有无差别?	266
134. 滚切蜗轮与滚切齿轮有什么不同?	267
135. 蜗轮的飞刀加工法是怎么回事?	269
136. 某些蜗杆卸下后, 为什么很难重新装上去?	270
137. 为什么一般不用齿轮滚刀来加工蜗轮?	272
138. 用齿轮滚刀近似切制低精度的蜗轮, 加工中的关 键问题是什么?	274
139. 在插齿机上加工大质数齿轮时不配置 交换齿轮行吗?	276
140. 为什么插齿加工的齿距偏差较大? 解决这一问题的 方法有哪些?	278
141. 用插齿刀插削内齿轮时, 为什么会出现 “过切”现象?	279
142. 插齿刀刃磨采用端面磨削方法行吗? 若采用轮缘 磨削, 则砂轮直径该如何选择?	281
143. 插齿时, 径向进给量的计算能套用滚齿时的 方法吗?	283
144. 滚齿或插齿中, 用测量公法线长度差值确定径向 进给量的方法, 适用于铣齿吗?	286
145. 剃齿的原理是什么? 剃齿的方法有几种?	290
146. 剃削少齿数齿轮时, 齿面较粗糙是剃齿刀 不快造成的吗?	292
147. 剃齿为什么会产生齿面中凹现象?	294
148. 如何消除剃齿齿面的中凹误差?	296
149. 剃齿刀修形有无简便方法?	298
150. 负变位剃齿刀剃齿是怎么回事?	299
151. 剃齿后齿轮的径向跳动误差为什么会转化为公 法线长度变动误差?	300

152. 磨齿有几种方法?	302
153. 交换齿轮的计算有哪些常用的方法?	306
154. 测绘齿轮时齿形角与模数如何确定?	311
155. 怎样测量奇齿数齿轮的齿顶圆直径?	313
156. 怎样用量柱测量齿轮的齿厚?	315
157. 用量柱(量球)测量齿轮齿厚时, 如何计算径向 进给深度?	318
158. 怎样利用近似分度表来控制齿轮的齿距偏差 及齿距累积误差?	320
159. 多齿数齿轮的齿距累积误差为什么要采用跨齿测 量法, 其步骤如何?	323
160. K 个齿距累积误差 ΔF_{pk} 是如何计值的?	325
161. 测量渐开线齿轮齿形时, 怎样正确选择受检的 起、止点?	326
162. 测量斜齿轮螺旋角的常用方法有哪些?	330
163. 轴向齿距法测量斜齿轮的螺旋角应如何进行?	332
164. 怎样在滚齿机上测量斜齿轮的螺旋角?	334
165. 什么是齿轮噪声? 齿轮传动时为什么会产生噪声?	335
166. 齿形误差和基节偏差是怎样影响齿轮噪声的?	338
167. 降低齿轮传动噪声, 从齿轮自身分析 主要有哪些方法?	340

1. 人类历史上是什么时候开始使用齿轮传动机构的？



我国古代的齿轮传动机构

齿轮用于传递两轴间的运动和动力，是应用最广泛的机械传动件之一。在近代机器和仪器中，齿轮传动机构的使用更是非常广泛。

齿轮也是应用最早的一种机件。齿轮传动技术的发展经历了漫长的岁月，已有悠久的历史。早在公元前 400~200 年，我国、印度和埃及等文明古国已开始使用齿轮。公元前 152 年，我国已有关于齿轮传动机构的记载。公元 168~189 年汉灵帝时代所造的翻水车，公元 235 年三国时期马钧所发明的指南车，以及公元 265~349 年晋朝解非和魏猛所发明的记里鼓车都已应用了完整的齿轮机构。

欧洲齿轮的应用大约在 12、13 世纪才开始，到了 18 世纪工业革命以后，齿轮传动的应用几乎遍及整个机械部门。

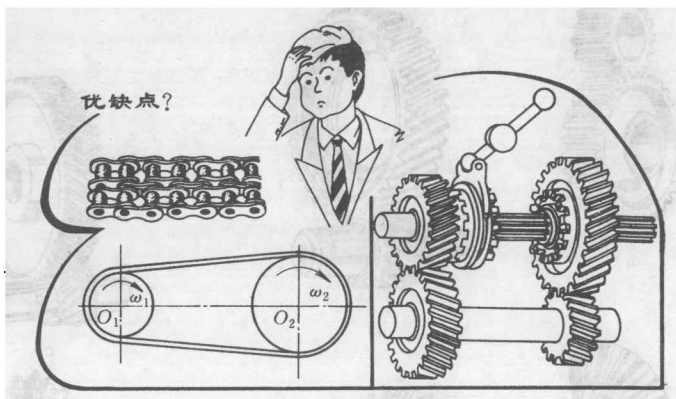
早期的齿轮是用木料制成的，齿廓为直线形，齿距也没有严格要求，所以承载能力很小，传动质量也很低。

随着生产的发展，齿轮的齿形，齿轮材料和齿轮加工技术不断进步。到 16 世纪，人们已开始应用摆线作齿轮的齿形。1765 年出现了渐开线齿形。1769 年英国的一家铁工厂制造了铸铁齿轮，从而使齿轮的承载能力和传动质量大大提高。1829 年第一台插齿机的问世，解决了大批量生产较高精度齿轮的问题，从此，齿轮的应用就更加广泛了。

2. 齿轮传动有什么优缺点？

齿轮传动的优点很多，概括起来有：

1. 适用范围广。某些仪表齿轮的直径可以小至 1mm 以下，重型机械中的齿轮直径可达 10m 以上；传递功率从小于 1W 到几万千瓦；传动的圆周速度可以很低，也可以高达 150m/s。



2. 效率较高，一般为 $\eta=0.94\sim0.99$ 。

3. 传动比稳定、准确，不像带、摩擦轮传动那样容易“打滑”，也不像链传动那样不均匀。

4. 使用寿命长，工作可靠性好。

5. 可以实现平行轴、相交轴、交错轴之间的传动。

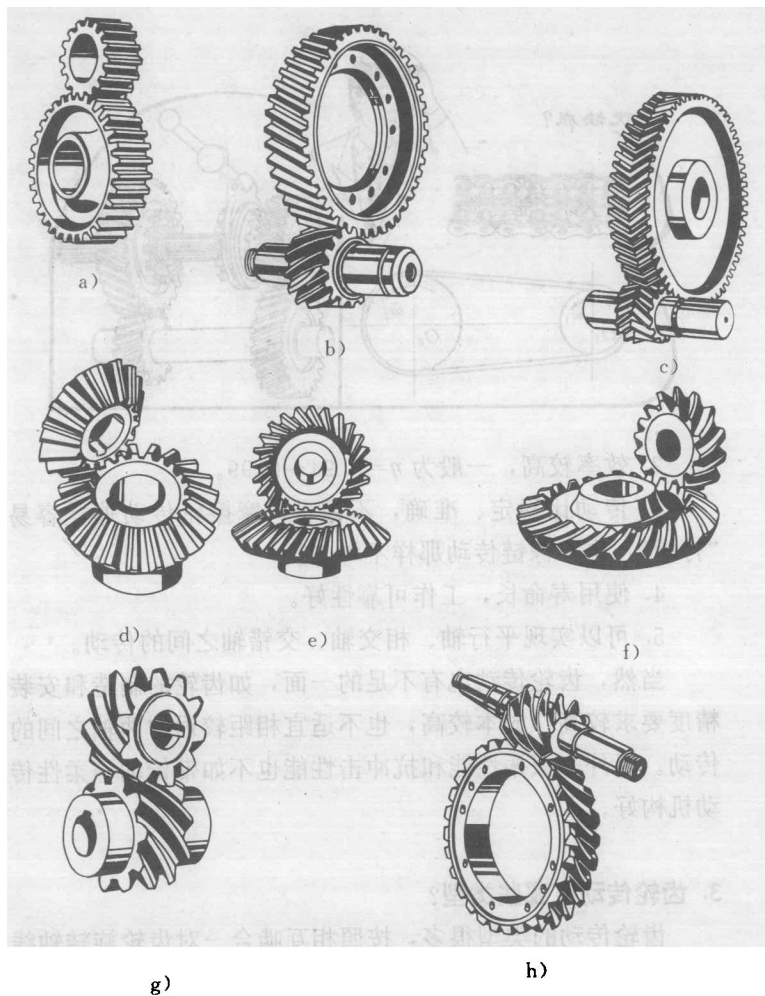
当然，齿轮传动也有不足的一面，如齿轮的制造和安装精度要求较高，成本较高，也不适宜相距较远的两轴之间的传动。另外，减振性能和抗冲击性能也不如带传动等柔性传动机构好。

3. 齿轮传动有哪些类型？

齿轮传动的类型很多，按照相互啮合一对齿轮旋转轴线的相对位置关系，一般可分为：

1. 平行轴之间的传动 直齿圆柱齿轮(如图 a)、斜齿圆柱齿轮(如图 b)、人字齿圆柱齿轮(如图 c)可实现这种传动。

2. 相交轴之间的传动 直齿锥齿轮(如图 d)、斜齿锥齿轮(如图 e)、弧齿锥齿轮(如图 f)可实现这种传动。



齿轮传动的类型

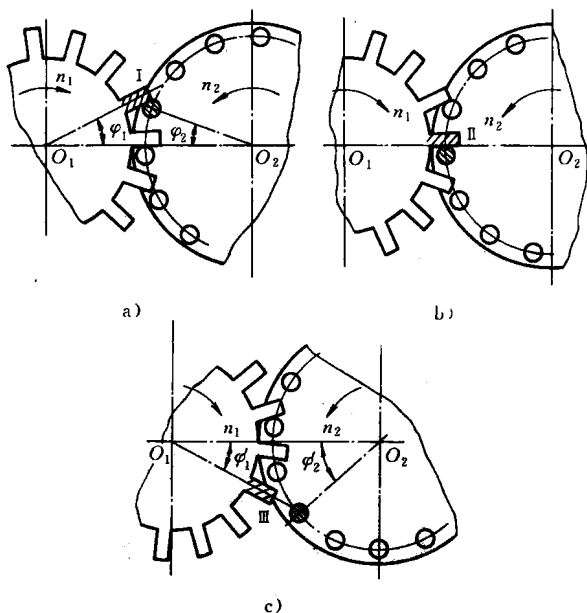
- a) 直齿圆柱齿轮 b) 斜齿圆柱齿轮 c) 人字齿圆柱齿轮
 d) 直齿锥齿轮 e) 斜齿锥齿轮 f) 弧齿锥齿轮
 g) 交错轴斜齿轮 h) 蜗轮蜗杆

3. 空间交错轴之间的传动 交错轴斜齿轮(如图 g)、蜗轮蜗杆(如图 h)可实现这种传动。

上述这些类型中,直齿圆柱齿轮传动是最基本、应用最广泛的传动形式。

4. 齿轮的齿形为什么做成曲线? 做成直线不是更简单吗?

现代的齿轮齿形都是做成曲线的(第 3 题图)。然而古代的齿轮结构却比较简单,齿形是直线,齿距也没有严格要求。如图示, O_1 表示主动齿轮,齿数为 z_1 , O_2 是从动齿轮,齿数是 z_2 。当主动齿轮旋转,转过一个齿,从动齿轮相应被拨转



(早期)直线齿形齿轮传动

a)位置 I b)位置 II c)位置 III