

第 35 篇 齿 轮 传 动

主 编 蔡春源
编写人 蔡春源
鄂中凯
厉始忠
陈卓君
审稿人 鄂中凯
蔡春源

第 1 版

齿 轮 传 动

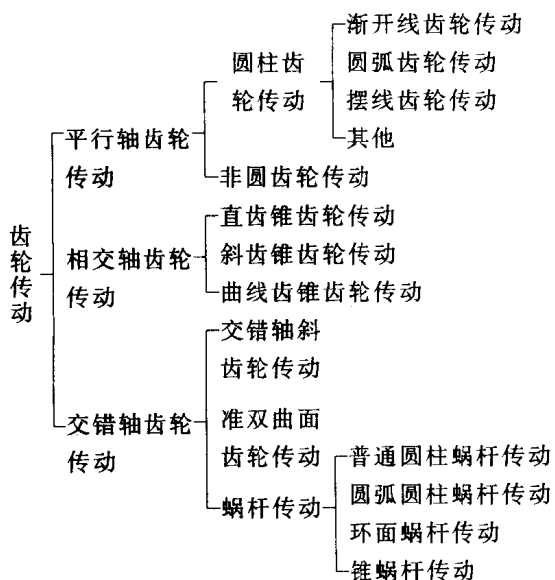
| | | |
|----|-----|-----|
| 主编 | 蔡春源 | |
| 编者 | 蔡春源 | 鄂中凯 |
| | 王 刚 | 王德全 |
| 审者 | 蔡书阡 | 李力行 |
| | 王培榷 | 徐振波 |

第 1 章 概 述

目前齿轮技术可达到的指标;圆周速度 $v=300\text{m/s}$, 转速 $n=10^5\text{r/min}$, 传递的功率 $P=10^5\text{kW}$, 模数 $m=0.004\sim 100\text{mm}$, 直径 $d=1\text{mm}\sim 152.3\text{m}$ 。

1 齿轮传动的分类和特点

1.1 分类



1.2 特点

1) 瞬时传动比恒定。非圆齿轮传动的瞬时传动比又能按需要的变化规律来设计。

2) 传动比范围大, 可用于减速或增速。

3) 速度(指节圆圆周速度)和传递功率的范围大, 可用于高速($v>40\text{m/s}$)、中速和低速($v<25\text{m/s}$)的传动; 功率可从小于 1W 到 10^5kW 。

4) 传动效率高, 一对高精度的渐开线圆柱齿轮, 效率可达 99% 以上。

5) 结构紧凑, 适用于近距离传动。

6) 制造成本较高, 某些具有特殊齿形或精度很高的齿轮, 因需要专用或高精度的机床、刀具和量仪等, 故制造工艺复杂, 成本高。

7) 精度不高的齿轮, 传动时噪声、振动和冲击大, 污染环境

8) 无过载保护作用。

2 齿轮传动类型选择的原则

1) 满足使用要求, 如对传动结构尺寸、重量、功率、速度、传动比、寿命、可靠性的要求等。对以上要求应作全面的、深入分析、满足主要的要求, 兼顾其他。如对大功率长期运转的固定式设备, 则着重于齿轮的寿命长和提高齿轮的传动效率; 对短期间歇运转的移动式设备, 应要求结构紧凑为主; 对重要的齿轮传动, 则要求可靠性高。

2) 考虑工艺条件, 如制造厂的工艺水平、设备条件、生产批量等。

3) 考虑合理性、先进性和经济性等。

表 35.1-1 列出各类齿轮传动的主要特点和适用范围, 供选型时参考。

表 35.1-1 各类齿轮传动的主要特点和适用范围

| 名称 | 主要特点 | 适用范围 | | | 应用举例 |
|-----------|---|------------------------------------|---|-----------------------|---|
| | | 传动比 | 传动功率 | 速度 | |
| 渐开线圆柱齿轮传动 | 传动的速度和功率范围很大; 传动效率高, 一对齿轮可达 98%~99.5%, 精度愈高, 效率愈高; 对中心距的敏感性小, 装配和维修比较简便; 可以进行变位切削及各种修形、修缘, 以适应提高传动质量的要求; 易于进行精确加工 | 单级 1~8, 最大到 10 两级到 45 三级到 75 | 到 25000kW 最大 10^5kW | 到 150m/s 最高 300m/s | 应用非常广泛 |
| 圆弧齿轮传动 | 接触强度高; 效率高; 磨损小而均匀; 没有根切现象; 不能做成直齿 | 单级 1~8, 最大到 10 两级到 45 三级到 75 | 高速传动可达 6000kW 低速传动输出转矩达 $1.2\text{MN}\cdot\text{m}$ ($117.7\text{t}\cdot\text{m}$) 功率达 5000kW | 到 100m/s | 高速传动如用于鼓风机、制氧机、汽轮机等; 低速传动如用于轧钢机械、矿山机械、起重运输机械等 |
| | 具有单圆弧齿轮的优点, 可用同一把滚刀加工一对齿轮; 传动平稳; 振动和噪声较单圆弧齿轮小 | | | | |

(续)

| 名 称 | | 主 要 特 点 | 适 用 范 围 | | | |
|----------|----------|---|-------------------------|----------|----------------------------------|--------------------------|
| | | | 传动比 | 传动功率 | 速度 | 应用举例 |
| 圆锥齿轮传动 | 直齿圆锥齿轮 | 轴向力小;比曲线锥齿轮制造容易;可制成鼓形齿 | 1~8 | 370kW | <5m/s | 用于机床、汽车、拖拉机及其他机械中轴线相交的传动 |
| | 曲线圆锥齿轮 | 比直齿锥齿轮传动平稳;噪声小,承载能力大,由于螺旋角产生轴向力,转向变化时,此轴向力方向亦改变,轴承应考虑止推问题 | 1~8 | 3700kW | >5m/s, ≥40m/s 需磨齿 | 用于汽车驱动桥传动,机床,拖拉机等传动 |
| 准双曲面齿轮传动 | | 比弧线锥齿轮传动更平稳。利用偏置距增大小轮直径,因而可以增加小轮刚度,实现两端支承。沿齿长方向有滑动,需用双曲面齿轮油 | 1~10,用于代替蜗杆传动时可达 50~100 | 735kW | >5m/s | 最广泛用于越野及小客车,也用于卡车 |
| 蜗杆传动 | 普通圆柱蜗杆传动 | 传动比大;工作平稳;噪声较小;结构紧凑;在一定条件下有自锁性,效率低 | 8~80 | 到 200kW | $v_s \leq 15 \sim 35$ m/s | 多用于中、小负荷、间歇工作的机器设备中 |
| | 圆弧圆柱蜗杆传动 | 接触线形状优于普通圆柱蜗杆传动,有利于形成油膜;中间平面共轭齿面为凸凹齿啮合,传动效率及承载能力均高于普通圆柱蜗杆传动 | | | | |
| | 环面蜗杆传动 | 接触线和相对速度夹角接近 90°,有利于形成油膜;同时接触齿数多,当量曲率半径大,因而承载能力大,一般比普通圆柱蜗杆传动大 2~3 倍 | 5~100 | 到 4500kW | 轧机压下装置、各种绞车、冷挤压机、转炉、军工产品以及其他重型设备 | |
| | 锥蜗杆传动 | 同时接触齿数多,齿面得到充分润滑和冷却,易形成油膜,承载能力高,传动平稳,效率高于圆柱蜗杆传动,制造和装配简单 | 10~359 | | 适用于特定结构的场合 | |

3 常用符号表(见表 35.1-2)

表 35.1-2 常用符号表

| 符号 | 名 称 | 单 位 | 符号 | 名 称 | 单 位 |
|-----------|------------------|-----|------------------|-----------------|-----------|
| a | 中心距,标准中心距 | mm | c | 顶隙 | mm |
| a | 名义中心距(角变位齿轮的中心距) | mm | c_r | 啮合刚度 | N/(mm·μm) |
| | | | c' | 单对齿刚度 | N/(mm·μm) |
| a_0 | 切齿中心距 | mm | c^* | 顶隙系数 | |
| a_v | 当量圆柱齿轮中心距 | mm | d | 直径,分度圆直径 | mm |
| b | 齿宽 | mm | d' | 节圆直径 | mm |
| b_1 | 小轮齿宽 | mm | d_s | 齿顶圆直径 | mm |
| b_2 | 大轮齿宽 | mm | d_{s1} | 小轮齿顶圆直径,蜗杆齿顶圆直径 | mm |
| b_{ca1} | 计算齿宽 | mm | d_{s2} | 大轮齿顶圆直径,蜗轮喉圆直径 | mm |
| b_{eF} | 弯曲强度计算的有效齿宽 | mm | d_b | 基圆直径 | mm |
| b_{eH} | 接触强度计算的有效齿宽 | mm | d_{e2} | 蜗轮顶圆直径 | mm |
| C | 节点,系数 | | d_{e1}, d_{e2} | 小轮、大轮大端分度圆直径 | mm |
| C_s | 齿顶修缘量 | μm | d_f | 齿根圆直径 | mm |
| C_{sy} | 由跑合产生的齿顶修缘量 | μm | d_{f1}, d_{f2} | 小轮、大轮齿根圆直径 | mm |
| C_{eff} | 有效修缘量 | μm | d_g | 发生圆直径,滚圆直径 | mm |

(续)

| 符号 | 名 称 | 单 位 | 符号 | 名 称 | 单 位 |
|--------------------|-------------------------------------|---------------|-------------------|--|---------------|
| d_{m1}, d_{m2} | 小轮、大轮齿宽中点分度圆直径 | mm | f_{β} | 螺旋线波度公差 | μm |
| d_{v1}, d_{v2} | 小轮、大轮的当量圆柱齿轮分度圆直径 | mm | f_h | 蜗杆一转螺旋线公差 | |
| | | | f_{hL} | 蜗杆螺旋线公差 | μm |
| d_{va1}, d_{va2} | 小轮、大轮的当量圆柱齿轮齿顶圆直径 | mm | F'_i | 切向综合公差 | μm |
| | | | F''_i | 径向综合公差 | μm |
| d_{van1} | 小轮、大轮的当量圆柱齿轮法向齿顶圆直径 | mm | f'_i | 一齿切向综合公差 | μm |
| d_{van2} | | | f''_i | 一齿径向综合公差 | μm |
| d_{vb1} | 小轮、大轮的当量圆柱齿轮基圆直径 | mm | F'_{ic} | 齿轮副的切向综合公差,蜗杆副的切向综合公差,齿条副的切向综合公差 | μm |
| d_{vb2} | | | | | |
| d_{vbn1} | 小轮、大轮的当量圆柱齿轮法向分度圆直径 | mm | f'_{ic} | 齿轮副的一齿切向综合公差,蜗杆副的一齿切向综合公差,齿条副的一齿切向综合公差 | μm |
| d_{vbn2} | | | | | |
| d_{vn1}, d_{vn2} | 小轮、大轮的当量圆柱齿轮法向分度圆直径 | mm | | | |
| d_0 | 刀具直径 | mm | $F''_{i\Sigma}$ | 轴交角综合公差 | μm |
| d_1 | 小轮分度圆直径,蜗杆分度圆直径 | mm | $f'_{i\Sigma}$ | 一齿轴交角综合公差 | μm |
| d'_1 | 小轮节圆直径,蜗杆节圆直径 | mm | $F''_{i\Sigma c}$ | 齿轮副轴交角综合公差 | μm |
| d_2 | 大轮分度圆直径,蜗轮分度圆直径 | mm | $f''_{i\Sigma c}$ | 齿轮副一齿轴交角综合公差 | μm |
| d'_2 | 大轮节圆直径,蜗轮节圆直径 | mm | F_{mt} | 齿宽中点分度圆上的名义切向力 | N |
| E | 弹性模量 | MPa | F_p | 齿距累积公差 | μm |
| E_{M1} | 量柱测量距下偏差 | μm | f_{pb} | 基节极限偏差 | μm |
| E_{M5} | 量柱测量距上偏差 | μm | F_{pk} | k 个齿距累积公差 | μm |
| E_{red} | 综合弹性模量 | MPa | f_{pt} | 齿距极限偏差 | μm |
| E_{si} | 齿厚极限下偏差 | μm | F_{pk} | 轴向齿距极限偏差 | μm |
| E_{ss} | 齿厚极限上偏差 | μm | f_{pk} | 蜗杆轴向齿距公差 | μm |
| E_{s11} | 蜗杆齿厚极限下偏差 | μm | f_{pkk} | 蜗杆 k 个轴各齿距累积公差 | μm |
| E_{s11} | 蜗杆齿厚极限上偏差 | μm | F_r | 齿圈径向跳动公差,齿槽跳动公差 | μm |
| E_{s12} | 蜗轮齿厚极限下偏差 | μm | f_r | 蜗杆齿槽径向跳动公差 | μm |
| E_{s12} | 蜗轮齿厚极限上偏差 | μm | f_{r2} | 蜗轮齿形公差 | μm |
| E_{wmi} | 公法线平均长度极限下偏差 | μm | F_t | 端面内分度圆周上的名义切向力 | N |
| E_{wms} | 公法线平均长度极限上偏差 | μm | F_{Vj} | 侧隙变动公差 | μm |
| E_{Σ} | 轴交角极限偏差 | μm | F_w | 公法线长度变动公差 | μm |
| e | 槽宽,分度圆槽宽,偏心距 | mm | f_x | x方向轴线的平行度公差,蜗杆副的中间平面极限偏差,中心平面传动极限偏差 | μm |
| e_n | 分度圆法向槽宽 | mm | | | |
| e_t | 分度圆端面槽宽 | mm | f_{x0} | 中心平面加工极限偏差 | μm |
| e_x | 分度圆轴向槽宽 | mm | f_y | y方向轴线的平行度公差,轴线垂直度公差 | μm |
| f_{AM} | 齿圈轴向位移极限偏差 | μm | f_{zk} | 周期误差的公差 | μm |
| f_a | 齿轮副的中心距极限偏差,蜗杆副的中心距极限偏差,齿条副的安装距极限偏差 | μm | f_{zkc} | 齿轮副周期误差的公差 | μm |
| | | | f_{zxc} | 齿轮副齿频周期误差的公差 | μm |
| | | | F_{β} | 齿向公差 | μm |
| f_{a0} | 蜗杆副的中心距加工极限偏差 | μm | $F_{\beta k}$ | 初始啮合齿向误差 | μm |
| F_b | 接触线公差 | μm | $F_{\beta y}$ | 跑合后的啮合齿向误差 | μm |
| F_{bn} | 法面内基圆周上的名义切向力 | N | f_{Σ} | 蜗杆副的轴交角极限偏差 | μm |
| F_{bt} | 端面内基圆周上的名义切向力 | N | $f_{\Sigma 0}$ | 轴交角加工极限偏差 | μm |
| f_c | 齿形相对误差的公差 | μm | G | 切变模量 | MPa |
| f_f | 齿形公差 | μm | g_{α} | 端面啮合线长度 | mm |
| f_{f1} | 蜗杆齿形公差 | μm | g_{β} | 纵向作用线长度 | mm |
| f_{f2} | 蜗轮齿形公差 | μm | g_{va} | 当量圆柱齿轮端面啮合线长度 | mm |

(续)

| 符号 | 名称 | 单位 | 符号 | 名称 | 单位 |
|--------------------|--------------------------------------|---------|--------------------|-----------------------|-------------|
| HB | 布氏硬度 | | $K_{B\beta}$ | 螺旋线系数 | |
| HRC | 洛氏硬度 | | $K_{F\alpha}$ | 抗弯强度计算的齿间载荷分配系数 | |
| HV1 | $F=9.8N$ 时的维氏硬度 | | | | |
| HV10 | $F=9.81N$ 时的维氏硬度 | | $K_{F\beta}$ | 抗弯强度计算的齿间载荷分布系数 | |
| h | 齿高, 全齿高, 摆线轮齿高 | mm | | | |
| h' | 工作齿高 | mm | $K_{H\alpha}$ | 接触强度计算的齿间载荷分配系数 | |
| h_a | 齿顶高 | mm | | | |
| h_a^* | 齿顶高系数 | | $K_{H\beta}$ | 接触强度计算的齿间载荷分布系数 | |
| \bar{h}_a | 弦齿高 | mm | | | |
| h_{ae1}, h_{ae2} | 小轮、大轮大端齿顶高 | mm | $k_{H\beta\alpha}$ | 轴承系数 | |
| h_{am1}, h_{am2} | 小轮、大轮齿宽中点齿顶高 | mm | K_v | 动载系数 | |
| h_{a0} | 刀具齿顶高 | mm | M | 弯矩 | $N \cdot m$ |
| h_{a0}^* | 刀具齿顶高系数 | | m | 模数, 蜗杆轴向模数, 蜗轮端面模数 | mm |
| \bar{h}_e | 固定弦齿高 | mm | | | m |
| h_{Fa} | 载荷作用于齿顶时的弯曲力臂 | mm | m_{et} | 大端端面模数 | mm |
| h_{Fe} | 载荷作用于单对齿啮合区上界点时的弯曲力臂 | mm | | | m_i |
| h_f | 齿根高 | mm | m_m | 中点模数 | mm |
| h_{fe1}, h_{fe2} | 小轮、大轮大端齿根高 | mm | m_{an} | 齿宽中点法向模数 | mm |
| h_{fm1}, h_{fm2} | 小轮、大轮齿宽中点齿根高 | mm | m_{mt} | 齿宽中点端面模数 | mm |
| h_{f0} | 刀具齿根高 | mm | m_n | 法向模数 | mm |
| h_0 | 刀具齿高 | mm | m_{red} | 诱导质量 | kg/mm |
| i | 传动比 | | m_t | 端面模数 | mm |
| $inv\alpha$ | α 角的渐开线函数 | | m_x | 轴向模数 | mm |
| j | 侧隙 | μm | m_0 | 刀具模数 | mm |
| j_n | 齿轮副的法向侧隙, 蜗杆副的法向侧隙, 齿条副的法向侧隙 | μm | N | 临界转速比, 指数 | |
| | | | N_L | 应力循环次数 | |
| j_t | 齿轮副的圆周侧隙, 蜗杆副的圆周侧隙, 齿条副的圆周侧隙 | μm | n | 转速 | r/min |
| | | | n_{c1} | 小轮临界转速 | r/min |
| j_{nmax} | 齿轮副的最大极限法向侧隙, 蜗杆副的最大法向侧隙, 齿条副的最大法向侧隙 | μm | P | 名义功率 | kW |
| | | | p | 径节 | |
| j_{nmin} | 齿轮副的最小极限法向侧隙, 蜗杆副的最小法向侧隙, 齿条副的最小法向侧隙 | μm | p_b | 基圆齿距 | mm |
| | | | p_n | 法向齿距 | mm |
| | | | p_{r0} | 凸台量 | mm |
| j_{tmax} | 齿轮副的最大极限圆周侧隙, 蜗杆副的最大圆周侧隙, 齿条副的最大圆周侧隙 | μm | p_t | 端面齿距 | mm |
| | | | p_x | 轴向齿距 | mm |
| j_{tmin} | 齿轮副的最小极限圆周侧隙, 蜗杆副的最小圆周侧隙, 齿条副的最小圆周侧隙 | μm | q | 蜗杆的直径系数, 辅助系数, 单位齿宽柔度 | |
| | | | q_n | 齿根圆角参数 | |
| k | 跨越齿数, 跨越槽数 (用于内齿轮), 给定范围内的齿数或齿距数 | μm | R | 锥距, 外锥距 | mm |
| | | | R_a | 粗糙度算术平均值 | μm |
| K_A | 使用系数 | | R_c | 外锥距 | mm |
| | | | R_i | 内锥距 | mm |
| $K_{B\alpha}$ | 胶合承载能力计算的齿间载荷分配系数 | | R_m | 中点锥距 | mm |
| | | | R_v | 背锥距 | mm |
| $K_{B\beta}$ | 胶合承载能力计算的齿间载荷分布系数 | | R_x | 平均粗糙度 | |
| | | | R_y | 轮廓最大高度 | μm |
| | | | R_z | 微观不平度十点高度 | μm |

(续)

| 符号 | 名 称 | 单位 | 符号 | 名 称 | 单位 |
|-------------|---------------------------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------|----|
| r | 半径,分度圆半径 | mm | X_Q | 啮入冲击系数 | |
| r' | 节圆半径 | mm | X_s | 润滑系数 | |
| r_a | 齿顶圆半径 | mm | X_w | 材料焊合系数 | |
| r_b | 基圆半径 | mm | X_g | 重合度系数 | |
| r_f | 齿根圆半径 | mm | x | 径向变位系数 | |
| r_g | 发生圆半径,滚圆半径 | mm | x_t | 切向变位系数 | |
| S_B | 胶合承载能力的计算安全系数 | | x_{t2} | 大轮切向变位系数 | |
| S_{Bmin} | 胶合承载能力的最小安全系数 | | x_1 | 小轮径向变位系数 | |
| S_F | 抗弯强度的计算安全系数 | | x_2 | 大轮径向变位系数,蜗轮变位系数 | |
| S_{Fmin} | 抗弯强度的最小安全系数 | | Y_F | 载荷作用于单对齿啮合区上界点时的齿形系数 | |
| s_{Fn} | 危险截面上的齿厚 | mm | Y_{Fa} | 载荷作用于齿顶时的齿形系数 | |
| s_H | 接触强度的计算安全系数 | | Y_K | 抗弯强度计算的锥齿轮系数 | |
| s_{Hmin} | 接触强度的最小安全系数 | | Y_{NT} | 抗弯强度计算的寿命系数 | |
| s_{mt} | 齿宽中点端面齿厚 | mm | Y_{RelT} | 相对齿根表面状况系数 | |
| s'_{mt} | 无侧隙时齿宽中点端面齿厚 | mm | Y_s | 载荷作用于单齿啮合区上界点时的应力修正系数 | |
| s_t | 大端端面齿厚 | mm | Y_{sa} | 载荷作用于齿顶时的应力修正系数 | |
| s | 齿厚,分度圆齿厚 | mm | Y_{sT} | 试验齿轮的应力修正系数 | |
| \bar{s} | 弦齿厚,分度圆弦齿厚 | mm | Y_x | 抗弯强度计算的尺寸系数 | |
| s_n | 齿顶厚 | mm | Y_β | 抗弯强度计算的螺旋角系数 | |
| s_h | 基圆齿厚 | mm | $Y_{\beta relT}$ | 相对齿根圆角敏感系数 | |
| \bar{s}_e | 固定弦齿厚 | mm | Y_e | 抗弯强度计算的重合度系数 | |
| s_n | 法向齿厚,蜗杆分度圆柱的法向齿厚 | mm | y | 中心距变动系数 | |
| \bar{s}_n | 法向弦齿厚 | mm | y_a | 跑合量 | mm |
| s_{n1} | 曲线齿锥齿轮的小轮小端法向齿厚 | mm | Z_B | 单对齿啮合区下界点系数 | |
| s_r | 端面齿厚 | mm | Z_E | 弹性系数 | |
| s_x | 蜗杆分度圆柱的轴向齿厚 | mm | Z_H | 节点区域系数 | |
| s_0 | 刀具齿厚 | mm | Z_K | 接触强度计算的锥齿轮系数 | |
| T_s | 齿厚公差 | μm | Z_L | 润滑油系数 | |
| T_{s2} | 蜗轮齿厚公差 | μm | Z_N | 接触强度计算的寿命系数 | |
| T_{wm} | 公法线平均长度公差 | μm | Z_R | 粗糙度系数 | |
| T_1, T_2 | 小轮、大轮名义转矩 | $\text{N} \cdot \text{m}$ | Z_V | 速度系数 | |
| u | 齿数比 | | Z_W | 齿面工作硬化系数 | |
| u_v | 当量圆柱齿轮齿数比 | | Z_x | 接触强度计算的尺寸系数 | |
| v | 线速度,分度圆上的线速度 | m/s | Z_β | 接触强度计算的螺旋角系数 | |
| v_{mt} | 齿宽中点分度圆圆周速度 | m/s | Z_c | 接触强度计算的重合度系数 | |
| v_x | 两轮在啮合点处沿齿廓切线方向速度之和 | m/s | z | 齿数 | |
| W | 公法线长度 | mm | z_v | 当量齿数 | |
| W_K | 跨k齿测量的公法线长度(对于外齿轮),跨k槽测量的公法线长度(对于内齿轮) | mm | z_{v1}, z_{v2} | 斜齿轮的小轮、大轮的当量齿数 | |
| W_m | 单位齿宽平均载荷 | N/mm | z_{vn1}, z_{vn2} | 小轮、大轮当量圆柱齿轮法截面上的齿数 | |
| W_{max} | 单位齿宽最大载荷 | N/mm | z_0 | 刀具齿数 | |
| w_t | 单位齿宽载荷 | N/mm | z_1 | 小轮齿数,蜗杆齿数(头数) | |
| X_{BE} | 小轮齿顶E点的几何系数 | | z_2 | 大轮齿数,蜗轮齿数 | |
| X_{ca} | 齿顶修缘系数 | | α | 压力角,齿形角,分度圆压力角 | |
| X_M | 热闪系数 | | α' | 啮合角,工作压力角 | |
| | | | α'' | 和基准齿轮双面啮合的压力角 | |

(续)

| 符号 | 名称 | 单位 | 符号 | 名称 | 单位 |
|---------------------|-------------------------------|------------------------|--------------------------|--|-----------------------------|
| α_a | 顶圆压力角 | | Δf_h | 蜗杆一转螺旋线误差 | μm |
| α_{an} | 齿顶法向压力角 | | Δf_{hl} | 蜗杆螺旋线误差 | μm |
| α_{at} | 齿顶端面压力角 | | $\Delta F'_i$ | 切向综合误差 | μm |
| α_{en} | 单对齿啮合区上界点处的法向压力角 | | $\Delta F''_i$ | 径向综合误差 | μm |
| | | | $\Delta f'_i$ | 一齿切向综合误差 | μm |
| α_{et} | 单对齿啮合区上界点处的端面压力角 | | $\Delta F''_i$ | 一齿径向综合误差 | μm |
| | | | $\Delta F'_{ie}$ | 齿轮副的切向综合误差,蜗杆副的切向综合误差,齿条副的切向综合误差 | μm |
| α_{Fan} | 齿顶法向载荷作用角 | | $\Delta F''_{ie}$ | 齿轮副的一齿切向综合误差,蜗杆副的一齿切向综合误差,齿条副的一齿切向综合误差 | μm |
| α_{Fat} | 齿顶端面载荷作用角 | | | | |
| α_{Fen} | 单对齿啮合区上界点处法向载荷作用角 | | $\Delta F'_{i\Sigma}$ | 轴交角综合误差 | μm |
| α_{Fet} | 单对齿啮合区上界点处端面载荷作用角 | | $\Delta F'_{i\Sigma}$ | 一齿轴交角综合误差 | μm |
| | | | $\Delta F''_{i\Sigma c}$ | 齿轮副轴交角综合误差 | μm |
| α_n | 法向压力角 | | $\Delta f'_{i\Sigma c}$ | 齿轮副一齿轴交角综合误差 | μm |
| α_t | 端面压力角 | | ΔF_p | 齿距累积误差 | μm |
| α'_t | 端面啮合角 | | Δf_{pb} | 基节偏差 | μm |
| α_{vt} | 当量圆柱齿轮端面压力角 | | Δf_{pk} | k 个齿距累积误差 | μm |
| α_y | 任意点 y 的压力角 | | Δf_{pt} | 齿距偏差 | μm |
| α_0 | 刀具齿形角 | | ΔF_{px} | 轴向齿距偏差 | μm |
| β | 螺旋角,分度圆柱螺旋角 | | Δf_{px} | 蜗杆轴向齿距偏差 | μm |
| β' | 节圆螺旋角 | | Δf_{pxk} | 蜗杆 k 个轴向齿距累积误差 | μm |
| β_b | 基圆螺旋角 | | ΔF_r | 齿圈径向跳动,齿槽跳动 | μm |
| β_c | 单对齿啮合区上界点处的螺旋角 | | Δf_r | 蜗杆齿槽径向跳动 | μm |
| β_M | 齿宽中点分度圆螺旋角 | | Δf_{r2} | 蜗轮齿形误差 | μm |
| β_{vb} | 当量圆柱齿轮基圆螺旋角 | | ΔF_{vj} | 侧隙变动量 | μm |
| γ | 导程角,分度圆柱导程角 | | ΔF_w | 公法线长度变动 | μm |
| γ_b | 基圆柱导程角 | | Δf_x | x 方向轴线的平行度误差,蜗杆副的中间平面偏移,中心平面偏移 | μm |
| ν | 润滑油运动粘度 | mm^2/s | | | |
| ν | 泊松比 | | Δf_y | y 方向轴线的平行度误差,轴线垂直度误差 | μm |
| $\Delta E''_a$ | 双啮中心距偏差 | μm | | | |
| $\Delta E''_{a1}$ | 双啮中心距极限下偏差 | μm | $\Delta f'_{zk}$ | 周期误差 | μm |
| $\Delta E''_{a2}$ | 双啮中心距极限上偏差 | μm | $\Delta f'_{zkc}$ | 齿轮副周期误差 | μm |
| ΔE_M | 量柱测量距偏差 | μm | $\Delta f'_{zcc}$ | 齿轮副齿频周期误差 | μm |
| ΔE_s | 齿厚偏差 | μm | ΔF_β | 齿向误差 | μm |
| ΔE_{s1} | 蜗杆齿厚偏差 | μm | Δf_Σ | 蜗杆副的轴交角偏差 | μm |
| ΔE_{s2} | 蜗轮齿厚偏差 | μm | δ | 锥角,分锥角 | |
| ΔE_{wm} | 公法线平均长度偏差 | μm | δ' | 节锥角 | |
| ΔE_Σ | 轴交角偏差 | μm | δ_a | 顶锥角 | |
| Δf_{AM} | 齿圈轴向位移 | μm | δ_f | 根锥角 | |
| | | | δ_v | 背锥角 | |
| Δf_a | 齿轮副的中心距偏差,蜗杆副的中心距偏差,齿条副的安装距偏差 | μm | ϵ | 重合度 | |
| | | | ϵ_a | 端面重合度 | |
| ΔF_b | 接触线误差 | μm | ϵ_β | 纵向重合度 | |
| Δf_c | 齿形相对误差 | μm | ϵ_γ | 总重合度 | |
| Δf_i | 齿形误差 | μm | γ | 槽宽半角 | |
| Δf_{i1} | 蜗杆齿形误差 | μm | η | 润滑油动力粘度 | $\text{mPa} \cdot \text{s}$ |
| Δf_{i2} | 蜗轮齿形误差 | μm | η_M | 润滑油在本体下的动力粘度 | $\text{mPa} \cdot \text{s}$ |
| $\Delta f_{i\beta}$ | 螺旋线波度误差 | μm | | | |

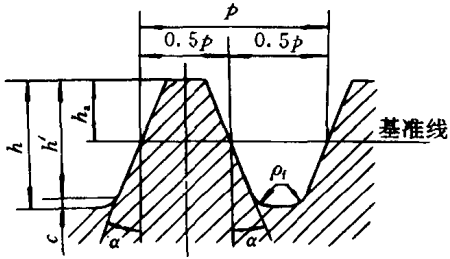
(续)

| 符号 | 名 称 | 单 位 | 符号 | 名 称 | 单 位 |
|-------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------|--------------|-------|
| $(I)_1, (I)_2$ | 小轮、大轮的转动惯量 | $\text{kg} \cdot \text{mm}^2$ | σ_b | 抗拉强度 | MPa |
| θ | 与齿高有关的角度, 齿宽角 | | σ_F | 计算齿根应力 | MPa |
| θ_s | 齿顶角 | | σ_{FP} | 许用齿根应力 | MPa |
| θ_f | 齿根角 | | σ_{Flim} | 试验齿轮的弯曲疲劳极限 | MPa |
| θ_{fls} | 啮合点瞬时温升 | C | σ_{F0} | 计算齿根应力基本值 | MPa |
| θ_{flsE} | 假定载荷全部作用在小齿轮齿顶 E 点时该点的瞬时温升 | C | σ_H | 计算接触应力 | MPa |
| | | | σ_{Hlim} | 试验齿轮的接触疲劳极限 | MPa |
| θ_{flsint} | 沿啮合线的积分平均温度 | C | σ_{HP} | 许用接触应力 | MPa |
| θ_{int} | 积分温度 | C | σ_{H0} | 计算接触应力基本值 | MPa |
| θ_{sint} | 胶合温度 | C | τ | 齿距角, 冠轮上的齿距角 | |
| θ_M | 本体温度 | C | φ | 作用角 | |
| μ_m | 平均摩擦因数 | | φ_d | 齿宽系数 | |
| ρ | 曲率半径, 齿廓曲线的曲率半径 | mm | φ_a | 端面作用角 | |
| ρ | 密度 | kg/mm^3 | φ_β | 纵向作用角 | |
| ρ' | 材料滑移层厚度 | μm | φ_l | 总作用角 | |
| ρ_s | 齿顶圆半径 | mm | ψ | 齿厚半角 | |
| ρ_{s0} | 基本齿条齿顶圆角半径 | mm | ψ_b | 基圆齿厚半角 | |
| ρ_r | 齿根过渡曲线半径 | mm | ω | 角速度 | rad/s |
| ρ_{red} | 当量半径, 啮合点处的综合曲率半径 | mm | ω_1 | 小轮角速度 | rad/s |
| Σ | 轴交角 | | ω_2 | 大轮角速度 | rad/s |

第 2 章 渐开线圆柱齿轮传动

1 渐开线圆柱齿轮基本齿廓和模数系列(见表 35.2-1~3)

表 35.2-1 渐开线圆柱齿轮基本齿廓(GB1356—1988)

| 基本齿廓 | 齿廓参数名称 | 代号 | 数值 |
|---|--------|----------|-----------------|
|  | 齿顶高 | h_a | m |
| | 工作高度 | h' | $2m$ |
| | 顶隙 | c | $0.25m$ |
| | 全齿高 | h | $2.25m$ |
| | 齿距 | p | πm |
| | 齿根圆角半径 | ρ_f | $\approx 0.38m$ |

注:1. 渐开线圆柱齿轮的基本齿廓是指基本齿条的法向齿廓。

2. 本标准适用于模数 $m \geq 1\text{mm}$, 齿形角 $\alpha = 20^\circ$ 的渐开线圆柱齿轮。

表 35.2-2 国外圆柱齿轮常用基本齿廓主要参数

| 国别 | 齿形种类 | 标准号 | m 或 DP | α | h_a^* | c^* | ρ_f | 备注 |
|---------|------------|-------------------|------------|-----------------------|---------|-------------------|-------------------|-----------------|
| 国际标准化组织 | 标准齿高 | ISO R53—1974 | m | 20° | 1 | 0.25 | $0.38m$ | |
| 德国 | 标准齿高 短齿 | DIN 867 | m | 20° | 1 | 0.1~0.3 | | |
| | | | m | 20° | 0.8 | 0.1~0.3 | | |
| 日本 | 标准齿高 | JIS B1701—1973 | m | 20° | 1 | 0.25 | | |
| 法国 | 标准齿高 短齿 | NFE 23—011—1979 | m | 20° | 1 | 0.25 | $0.38m$ | |
| 瑞士 | 标准齿高 | VSM 15520 | m | 20° | 1 | 0.25 0.167 | | 用于 插齿法 |
| | 马格齿形 | | m | 15° | 1 | | | |
| | | | m | 20° | 1 | 0.167 | | |
| 英国 | 标准齿高 | BS436—1940 | DP | $14\frac{1}{2}^\circ$ | 1 | 0.157 | | |
| | 标准齿高 | BS436:Part 1—1967 | DP | 20° | 1 | 0.25~0.4 | 0.25~0.39 | |
| | 标准齿高 | BS436:Part 2—1970 | m | 20° | 1 | 0.25~0.4 | 0.25~0.39 | |
| 美国 | 标准齿高 | ASAB6.1—1968 | DP | 20° | 1 | 0.25~0.35 0.40 | $0.3 \times 1/DP$ | $> DP20$ 剃齿法 |
| | 标准齿高 | ASAB6.1—1968 | DP | 25° | 1 | 0.25~0.35 0.40 | | $> DP20$ 剃齿法 |
| | 标准齿高 | ASAB6.1—1968 | DP | 20° | 1 | 0.20 0.35 | | $< DP20$ 剃齿法 |
| | 短齿 | ASME | DP | $22\frac{1}{2}^\circ$ | 0.875 | 0.125 | | |
| 原苏联 | 标准齿高 | ГОСТ 13755—68 | m | 20° | 1 | 0.25 | $0.4m$ | |
| | 短齿 | ГОСТ 13755—68 | m | 20° | 0.8 | 0.30 | | |

注:表中径节 $DP = \frac{z}{d} 1/\text{in}$; $m = \frac{25.4}{DP} \text{mm}$ 。

表 35.2-3 渐开线圆柱齿轮模数(GB1357—1987)

(mm)

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|-----|------|------|------|------|-------|------|------|-----|--------|------|-----|--------|
| 第一系列 | 0.1 | 0.12 | 0.15 | 0.2 | 0.25 | 0.3 | | 0.4 | 0.5 | 0.6 | | 0.8 | |
| 第二系列 | | | | | | | 0.35 | | | | 0.7 | | 0.9 |
| 第一系列 | 1 | 1.25 | 1.5 | | 2 | | 2.5 | | 3 | | | | |
| 第二系列 | | | | 1.75 | | 2.25 | | 2.75 | | (3.25) | 3.5 | | (3.75) |
| 第一系列 | 4 | | 5 | | 6 | | | 8 | | 10 | | | 12 |
| 第二系列 | | 4.5 | | 5.5 | | (6.5) | 7 | | 9 | | (11) | | |
| 第一系列 | | 16 | | 20 | | 25 | | 32 | | 40 | | | 50 |
| 第二系列 | 14 | | 18 | | 22 | | 28 | | 36 | | 45 | | |

注:1. 对于斜齿圆柱齿轮是指法向模数 m_n 。

2. 优先选用第一系列,括号内的数值尽可能不用。

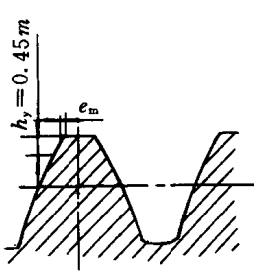
2 渐开线圆柱齿轮的齿形修缘

对于外啮合圆柱齿轮,当圆周速度大于表 35.2-4 的数值而需要修缘时,推荐使用表 35.2-5 所列数据。

表 35.2-4 外啮合圆柱齿轮的许用圆周速度

| 齿轮类型 | I 组 精 度 | | |
|--------|------------------------|-----|-----|
| | 6 级 | 7 级 | 8 级 |
| | 圆周速度/ $m \cdot s^{-1}$ | | |
| 直齿圆柱齿轮 | 10 | 6 | 4 |
| 斜齿圆柱齿轮 | 16 | 10 | 6 |

表 35.2-5 齿顶修缘高度和深度

| 图 形 | I 组 精 度 | | | | | |
|---|---------|-------|----------|-------|--------|--------|
| | 6 级 | | 7 级 | | 8 级 | |
| | m | e | m | e | m | e |
|  | 2~2.75 | 0.01 | 2~2.5 | 0.015 | 2~2.75 | 0.02 |
| | 3~4.5 | 0.008 | 2.75~3.5 | 0.012 | 3~3.5 | 0.0175 |
| | 5~10 | 0.006 | 3.75~5 | 0.010 | 3.75~5 | 0.015 |
| | 11~16 | 0.005 | 5.5~7 | 0.009 | 5.5~8 | 0.012 |
| | | | 8~11 | 0.008 | 9~16 | 0.010 |
| | | | 12~20 | 0.007 | 18~25 | 0.009 |
| | | | 22~30 | 0.006 | 28~50 | 0.008 |

注:1. 表中的数值是指在基准齿形上的修缘数值。

2. 基准齿形上的修缘部分是一条直线,也允许采用均匀的凸形曲线。

3. 在大批量生产中,对于特别重要的传动齿轮以及受工艺要求所限制时,允许改变修缘形状和数值。

4. 内啮合齿轮传动也可以应用本表数值。

以下情况不进行齿顶修缘：

1) 因修缘的结果,在直齿轮传动中使重合度 $\epsilon < 1.089$,在斜齿轮传动中使端面重合度 $\epsilon_a < 1$ 。

2) 当斜齿轮的螺旋角 $\beta > 17^\circ 45'$ 时。

对外啮合高变位齿轮传动 ($x_1 + x_2 = 0$),齿顶修缘后使重合度(或端面重合度)达到 1.089(直齿)或 1.0(斜齿)的条件,可按图 35.2-1 求得,即此时齿轮的变位系数 x 不得大于按图 35.2-1 求得的数值。

例 一对外啮合高变位直齿圆柱齿轮, $z_1 = 20$ 。由图可知,当 $x_1 = 0.62$ 时,端面重合度 $\epsilon_a = 1.089$;如果 $x_1 > 0.62$,则 $\epsilon_a < 1.089$ 。

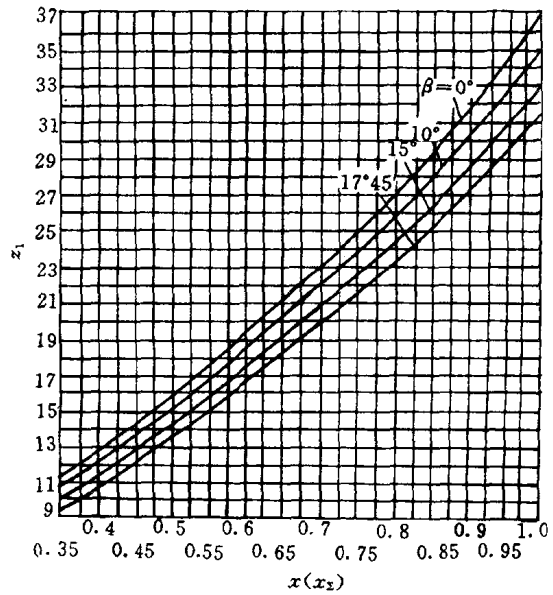
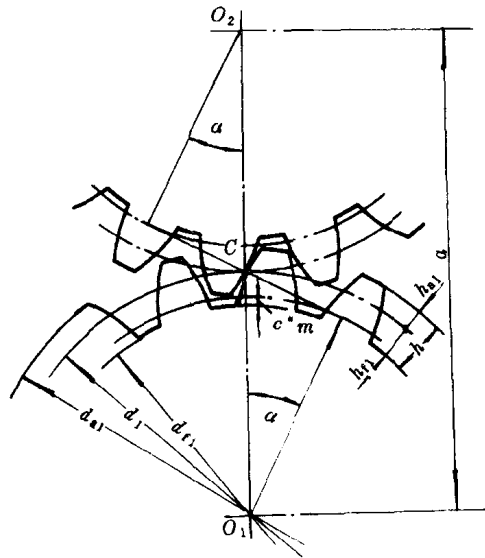


图 35.2-1 高变位齿轮传动在端面重合度 $\epsilon_a = 1.089$ (直齿)和 1.0(斜齿)时,齿数 z_1 与螺旋角 β 及变位系数 $x(x_2)$ 的关系

3 圆柱齿轮传动几何尺寸计算

3.1 圆柱齿轮传动几何尺寸计算公式(见表 35.2-6~8)

表 35.2-6 外啮合标准直齿、斜齿(人字齿)圆柱齿轮传动几何尺寸计算公式



| 名称 | 代号 | 直 齿 轮 | 斜齿(人字齿)轮 |
|-------|-----------------------|---|---|
| 模 数 | m 或 m_n | m 由强度计算或结构设计确定,并按表 35.2-3 取为标准值 | m_n 由强度计算或结构设计确定,并按表 35.2-3 取为标准值。 $m_t = m_n / \cos \beta$ |
| 压 力 角 | α 或 α_n | $\alpha = 20^\circ$ | $\alpha_n = 20^\circ$ $\tan \alpha_t = \tan \alpha_n / \cos \beta$ |
| 分度圆直径 | d | $d = z m$ | $d = z m_t = z m_n / \cos \beta$ |
| 齿 顶 高 | h_a | $h_a = h_a^* m = m (h_a^* = 1)$ | $h_a = h_{an}^* m_n = m_n (h_{an}^* = 1)$ |
| 齿 根 高 | h_f | $h_f = (h_a^* + c^*) m = 1.25 m$ ($h_a^* = 1, c^* = 0.25$) | $h_f = (h_{an}^* + c_n^*) m_n = 1.25 m_n$ ($h_{an}^* = 1, c_n^* = 0.25$) |

(续)

| 名 称 | 代 号 | 直 齿 轮 | 斜 齿 (人 字 齿) 轮 |
|-----------|-------|--|---|
| 全 齿 高 | h | $h = h_a + h_f = 2.25m$ | $h = h_a + h_f = 2.25m_n$ |
| 齿 顶 圆 直 径 | d_a | $d_a = d + 2h_a = (z + 2)m$ | $d_a = d + 2h_a$ |
| 齿 根 圆 直 径 | d_f | $d_f = d - 2h_f = (z - 2.5)m$ | $d_f = d - 2h_f$ |
| 中 心 距 | a | $a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{(z_1 + z_2)m}{2}$ | $a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{(z_1 + z_2)m_n}{2\cos\beta}$ |
| 齿 数 比 | u | $u = \frac{z_2}{z_1}$ | |

侧隙检验尺寸(选用一组)

| | | | | |
|-----|--------|------------------------------|---|---|
| I | 分度圆弦齿厚 | \bar{s} 或 \bar{s}_n | $\bar{s} = z m \sin \frac{90^\circ}{z} = m \bar{s}^*$ \bar{s}^* 查表 35.2-9 | $\bar{s}_n = z_v m_n \sin \frac{90^\circ}{z_v} = m_n \bar{s}_n^*$ \bar{s}_n^* 查表 35.2-9 |
| | 分度圆弦齿高 | \bar{h}_a 或 \bar{h}_{an} | $\bar{h}_a = m \left[1 + \frac{z}{2} \left(1 - \cos \frac{90^\circ}{z} \right) \right] = m \bar{h}_a^*$ \bar{h}_a^* 查表 35.2-9 | $\bar{h}_{an} = m_n \left[1 + \frac{z_v}{2} \left(1 - \cos \frac{90^\circ}{z_v} \right) \right] = m_n \bar{h}_{an}^*$ \bar{h}_{an}^* 查表 35.2-9 |
| II | 固定弦齿厚 | \bar{s}_c 或 \bar{s}_{cn} | $\bar{s}_c = \frac{\pi m}{2} \cos^2 \alpha$ 当 $\alpha = 20^\circ$ 时, $\bar{s}_c = 1.3870m$; \bar{s}_c 可查表 35.2-11 | $\bar{s}_{cn} = \frac{\pi m_n}{2} \cos^2 \alpha_n$ 当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时, $\bar{s}_{cn} = 1.3870m_n$ \bar{s}_{cn} 可查表 35.2-11 |
| | 固定弦齿高 | \bar{h}_c 或 \bar{h}_{cn} | $\bar{h}_c = m \left(1 - \frac{\pi}{8} \sin 2\alpha \right)$ 当 $\alpha = 20^\circ$ 时, $\bar{h}_c = 0.7476m$ \bar{h}_c 可查表 35.2-11 | $\bar{h}_{cn} = m_n \left(1 - \frac{\pi}{8} \sin 2\alpha_n \right)$ 当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时, $\bar{h}_{cn} = 0.7476m_n$ \bar{h}_{cn} 可查表 35.2-11 |
| III | 公法线跨齿数 | k | $k = \frac{\alpha}{180^\circ} z + 0.5$ 当 $\alpha = 20^\circ$ 时, k 值可按 z 查表 35.2-13 | $k \approx \frac{\alpha_n}{180^\circ} z' + 0.5$; 假想齿数 $z' = z \frac{\operatorname{inv} \alpha_1}{\operatorname{inv} \alpha_n}$ 当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时, 比值 $\frac{\operatorname{inv} \alpha_1}{\operatorname{inv} \alpha_n}$ 查表 35.2-14; 当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时, k 值可按 z' 查表 35.2-13 |
| | 公法线长度 | W_k 或 W_{kn} | $W_k = m \cos \alpha [\pi(k - 0.5) + z \operatorname{inv} \alpha]$ 当 $\alpha = 20^\circ$ 时, $W_k = m [2.9521(k - 0.5) + 0.014z] = m W_k^*$; W_k^* 按齿数 z 查表 35.2-13 | $W_{kn} = m_n \cos \alpha_n [\pi(k - 0.5) + z' \operatorname{inv} \alpha_n]$ 当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时, $W_{kn} = m_n [2.9521(k - 0.5) + 0.014z'] = m_n W_{kn}^*$; W_{kn}^* 按 z' 查表 35.2-13 |

注:斜齿轮按公法线长度进行测量时,必须满足 $b > W_{kn} \sin \beta$ 的条件。

表 35.2-7 外啮合变位直齿斜齿(人字齿)圆柱齿轮几何尺寸计算公式

| 名 称 | | 代 号 | 直 齿 轮 | 斜 齿 (人 字 齿) 轮 |
|-----------------------|---------------------------|----------------------------|--|--|
| 主要几何参数的计算 | | | | |
| 已知条件及要求项目 | | | 已知 z_1, z_2, m, a' 求 x_Σ 及 Δy | 已知 $z_1, z_2, m_n(m_t), \beta, a'$ 求 $x_{n\Sigma}$ 及 Δy_n |
| 按 公 式 计 算 | 未 变 位 时 的 中 心 距 | a | $a = \frac{1}{2}m(z_1 + z_2)$ | $a = \frac{1}{2}m_t(z_1 + z_2) = \frac{m_n}{2\cos\beta}(z_1 + z_2)$ |
| | 中 心 距 变 动 系 数 | y 或 y_n | $y = \frac{a' - a}{m}$ | $y_n = \frac{a' - a}{m_n}$ |
| | 压 力 角 | α 或 α_t | $\alpha = 20^\circ$ | $\alpha_n = 20^\circ; \tan\alpha_t = \tan\alpha_n / \cos\beta$ |
| | 啮 合 角 | α' 或 α'_t | $\cos\alpha' = \frac{a}{a'}\cos\alpha, \alpha'$ 可按图 35.2-2 查得 | $\cos\alpha'_t = \frac{a}{a'}\cos\alpha_t, \alpha'_t$ 可按图 35.2-2 查得 |
| | 总 变 位 系 数 | x_Σ 或 $x_{n\Sigma}$ | $x_\Sigma = \frac{z_1 + z_2}{2\tan\alpha}(\text{inv}\alpha' - \text{inv}\alpha)$ inv α' 及 inv α 可根据 α' 及 α 由表 35.2-19 查得 $x_\Sigma = x_1 + x_2$, 可按图 35.2-8、9 分配为 x_1 及 x_2 | $x_{n\Sigma} = \frac{z_1 + z_2}{2\tan\alpha_n}(\text{inv}\alpha'_t - \text{inv}\alpha_n)$ inv α'_t 及 inv α_n 可根据 α'_t 及 α_n 由表 35.2-19 查得 $x_{n\Sigma} = x_{n1} + x_{n2}$, 可按图 35.2-8、9 分配为 x_{n1} 及 x_{n2} |
| 齿 高 变 动 系 数 | Δy 或 Δy_n | $\Delta y = x_\Sigma - y$ | $\Delta y_n = x_{n\Sigma} - y_n$ | |
| 按 线 图 计 算 | 中 心 距 变 动 系 数 | y 或 y_n | $y = \frac{a' - a}{m}$, 其中 $a = \frac{1}{2}m(z_1 + z_2)$ | $y_n = \frac{a' - a}{m_n}, y_t = \frac{a' - a}{m_t}$, 其中 $a = \frac{m_n}{2\cos\beta}(z_1 + z_2)$ |
| | 齿 高 变 动 系 数 | Δy 或 Δy_n | 根据 x_Σ 及 y 由图 35.2-3 查得 | $\Delta y_n = (\Delta y_t - \omega z_\Sigma) / \cos\beta$ Δy_t 根据 x_Σ 及 y_t 由图 35.2-3 查得 ω 根据 $1000y_t/x_\Sigma$ 及 β 由图 35.2-5 查得 |
| | 总 变 位 系 数 | x_Σ 或 $x_{n\Sigma}$ | $x_\Sigma = y + \Delta y; x_\Sigma = x_1 + x_2$, 可按图 35.2-8 或图 35.2-9 将 x_Σ 分配为 x_1 及 x_2 | $x_{n\Sigma} = y_n + \Delta y_n; x_{n\Sigma} = x_{n1} + x_{n2}$, 可按图 35.2-8 或图 35.2-9 将 $x_{n\Sigma}$ 分配为 x_{n1} 及 x_{n2} |
| 已知条件及要求项目 | | | 已知 z_1, z_2, m, x_Σ 求 a' 及 Δy | 已知 $z_1, z_2, m_n(m_t), \beta, x_{n\Sigma}(x_{t\Sigma})$ 求 a' 及 Δy_n |
| 按 公 式 计 算 | 压 力 角 | α 或 α_t | $\alpha = 20^\circ$ | $\alpha_n = 20^\circ; \tan\alpha_t = \tan\alpha_n / \cos\beta$ |
| | 啮 合 角 | α' 或 α'_t | $\text{inv}\alpha' = \frac{2(x_1 + x_2)}{z_1 + z_2}\tan\alpha + \text{inv}\alpha$ | $\text{inv}\alpha'_t = \frac{2(x_{n1} + x_{n2})}{z_1 + z_2}\tan\alpha_n + \text{inv}\alpha_n$ |
| | 中 心 距 变 动 系 数 | y 或 y_n | $y = \frac{z_1 + z_2}{2}(\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha'} - 1)$ | $y_n = \frac{z_1 + z_2}{2\cos\beta}(\frac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha'_t} - 1)$ |
| | 中 心 距 | a' | $a' = a + ym$ | $a' = a + y_n m_n$ |
| | 齿 高 变 动 系 数 | Δy 或 Δy_n | $\Delta y = x_\Sigma - y$ | $\Delta y_n = x_{n\Sigma} - y_n$ |
| 按 线 图 计 算 | 齿 高 变 动 系 数 | Δy 或 Δy_n | 根据 x_Σ 及 x_Σ 由图 35.2-4 查得 | $\Delta y_n = (\Delta y_t - \mu z_\Sigma) / \cos\beta$ Δy_t 根据 x_Σ 及 $x_{t\Sigma}$ 由图 35.2-4 查得 μ 根据 $1000x_{t\Sigma}/z_\Sigma$ 及 β 由图 35.2-6 查得 |
| | 中 心 距 变 动 系 数 | y 或 y_n | $y = x_\Sigma - \Delta y$ | $y_n = x_{n\Sigma} - \Delta y_n$ |
| | 中 心 距 | a' | $a' = a + ym$ | $a' = a + y_n m_n$ |

(续)

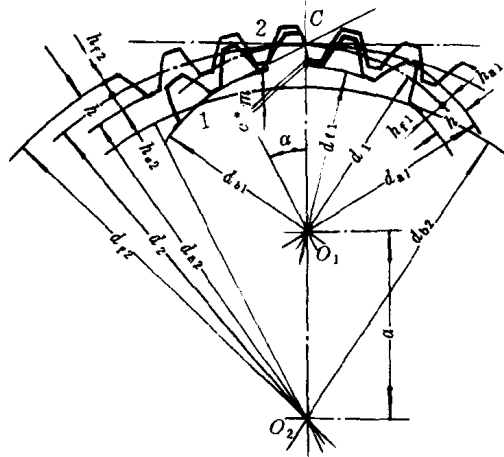
| 名称 | 代号 | 直 齿 轮 | 斜 齿 (人 字 齿) 轮 |
|------------|-------------|---------------------------------------|---|
| 主要几何尺寸计算公式 | | | |
| 模 数 | m 或 m_n | 由强度计算或结构设计确定, 并取为标 准值 | 由强度计算或结构设计确定, m_n 应取为 标准值; $m_t = m_n / \cos\beta$ |
| 齿 数 比 | u | $u = z_2 / z_1$ | |
| 分 度 圆 直 径 | d | $d_1 = z_1 m$ $d_2 = z_2 m$ | $d_1 = z_1 m_n / \cos\beta$ $d_2 = z_2 m_n / \cos\beta$ |
| 节 圆 直 径 | d' | $d'_1 = 2a' / (u+1)$ $d'_2 = u d_1$ | $d'_1 = 2a' / (u+1)$ $d'_2 = u d_1$ |
| 齿 顶 高 | h_a | $h_a = (h_a^* + x - \Delta y) m$ | $h_a = (h_{an}^* + x_n - \Delta y_n) m_n$ |
| 齿 根 高 | h_f | $h_f = (h_a^* + c^* - x) m$ | $h_f = (h_{an}^* + c_n^* - x_n) m_n$ |
| 全 齿 高 | h | $h = (2h_a^* + c^* - \Delta y) m$ | $h = (2h_{an}^* + c_n^* - \Delta y_n) m_n$ |
| 齿 顶 圆 直 径 | d_a | $d_a = d + 2(h_a^* + x - \Delta y) m$ | $d_a = d + 2(h_{an}^* + x_n - \Delta y_n) m_n$ |
| 齿 根 圆 直 径 | d_f | $d_f = d - 2(h_a^* + c^* - x) m$ | $d_f = d - 2(h_{an}^* + c_n^* - x_n) m_n$ |

侧隙检验尺寸(选用一组)

| | | | | |
|-----|--------|------------------------------|--|--|
| I | 分度圆弦齿厚 | \bar{s} 或 \bar{s}_n | $\bar{s} = z m \sin\Delta, \Delta = \frac{90^\circ + 41.7^\circ x}{z}$ \bar{s} 可查表 35.2-10 | $\bar{s}_n = z_n m_n \sin\Delta, \Delta = \frac{90^\circ + 41.7^\circ x_n}{z_n}$ \bar{s}_n 可查表 35.2-10 |
| | 分度圆弦齿高 | \bar{h}_a 或 \bar{h}_{an} | $\bar{h}_a = h_a + \frac{z m}{2} (1 - \cos\Delta)$ \bar{h}_a 可查表 35.2-10 | $\bar{h}_{an} = h_a + \frac{z_n m_n}{2} (1 - \cos\Delta)$ \bar{h}_{an} 可查表 35.2-10 |
| II | 固定弦齿厚 | \bar{s}_c 或 \bar{s}_{cn} | $\bar{s}_c = m \cos^2 \alpha \left(\frac{\pi}{2} + 2x \tan\alpha \right)$ 当 $\alpha = 20^\circ$ 时, $\bar{s}_c = m (1.3870 + 0.6428x)$ $= m \bar{s}_c^*$; \bar{s}_c^* 查表 35.2-12 | $\bar{s}_{cn} = m_n \cos^2 \alpha_n \left(\frac{\pi}{2} + 2x_n \tan\alpha_n \right)$ 当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时, $\bar{s}_c = m_n (1.3870 + 0.6428x_n) = m_n \bar{s}_{cn}^*$; \bar{s}_{cn}^* 查表 35.2-12 |
| | 固定弦齿高 | \bar{h}_c 或 \bar{h}_{cn} | $\bar{h}_c = h_a - 0.182 \bar{s}_c$ 当 $\alpha = 20^\circ$ 时, $\bar{h}_c = m \bar{h}_c^*$; \bar{h}_c^* 查表 35.2-12 | $\bar{h}_{cn} = h_a - 0.182 \bar{s}_{cn}$ 当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时, $\bar{h}_{cn} = m \bar{h}_{cn}^*$; \bar{h}_{cn}^* 可查表 35.2-12 |
| III | 公法线跨齿数 | k | $k = \frac{\alpha}{180^\circ} z + 0.5 + \frac{2x \cot\alpha}{\pi}$ 当 $\alpha = 20^\circ$ 时, k 值可查表 35.2-13 | $k \approx \frac{\alpha_n}{180^\circ} z' + 0.5 + \frac{2x_n \cot\alpha_n}{\pi}$; 假想齿数 z' $= z \frac{\operatorname{inv}\alpha_t}{\operatorname{inv}\alpha_n}$; 当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时, 比值 $\frac{\operatorname{inv}\alpha_t}{\operatorname{inv}\alpha_n}$ 查表 35.2-14; 当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时, k 值可查表 35.2-13 |
| | 公法线长度 | W_k 或 W_{kn} | $W_k = m \cos\alpha [\pi(k-0.5) + z \operatorname{inv}\alpha + 2x \tan\alpha]$ 当 $\alpha = 20^\circ$ 时, $W_k = m [2.9521(k-0.5) + 0.014z + 0.684x] = m(W_k^* + \Delta W^*)$ W_k^* 查表 35.2-13; ΔW^* 查表 35.2-16 | $W_{kn} = m_n \cos\alpha_n [\pi(k-0.5) + z' \operatorname{inv}\alpha_n + 2x_n \tan\alpha_n]$ 当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时, $W_{kn} = m_n [2.9521(k-0.5) + 0.014z' + 0.684x_n] = m_n (W_{kn}^* + \Delta W_n^*)$ W_{kn}^* 查表 35.2-13; ΔW_n^* 查表 35.2-16 |

注: 1. 斜齿轮按公法线长度进行测量时, 必须满足 $b > W_{kn} \sin\beta$ 的条件。2. 表内公式中的 $x, x_n(x_t)$ 本身应带正负号代入; $\Delta y, \Delta y_t$ 永为正值。3. 计算高度变位圆柱齿轮几何尺寸时, 公式中的 y 或 $y_t, \Delta y$ 或 Δy_t 均为零。

表 35.2-8 内啮合圆柱齿轮(标准与变位、直齿与斜齿)几何尺寸计算公式



| 名称 | | 代号 | 直 齿 轮 | 斜齿(人字齿)轮 |
|-----------|---------------------------|----------------------------|--|--|
| 主要几何参数的计算 | | | | |
| 已知条件及要求项目 | | | 已知 z_1, z_2, m, a' 求 x_Σ 及 Δy | 已知 $z_1, z_2, m_n(m_t), \beta, a'$ 求 $x_{n\Sigma}$ 及 Δy_n |
| 按公式计算 | 未变位时的中心距 | a | $a = \frac{1}{2}m(z_2 - z_1)$ | $a = \frac{1}{2}m_t(z_2 - z_1) = \frac{m_n}{2\cos\beta}(z_2 - z_1)$ |
| | 中心距变动系数 | y 或 y_n | $y = \frac{a' - a}{m}$ | $y_n = \frac{a' - a}{m_n}$ |
| | 压力角 | α 或 α_t | $\alpha = 20^\circ$ | $\alpha_n = 20^\circ; \tan\alpha_t = \tan\alpha_n / \cos\beta$ |
| | 啮合角 | α' 或 α'_t | $\cos\alpha' = \frac{a}{a'}\cos\alpha, a'$ 也可由图 35.2-2 查得 | $\cos\alpha'_t = \frac{a}{a'}\cos\alpha_t, \alpha'_t$ 也可由图 35.2-2 查得 |
| | 总变位系数 | x_Σ 或 $x_{n\Sigma}$ | $x_\Sigma = \frac{z_2 - z_1}{2\tan\alpha}(\text{inv}\alpha' - \text{inv}\alpha)$ $\text{inv}\alpha'$ 及 $\text{inv}\alpha$ 可根据 α' 及 α 由表 35.2-19 查得 $x_\Sigma = x_2 - x_1$ | $x_{n\Sigma} = \frac{z_2 - z_1}{2\tan\alpha_n}(\text{inv}\alpha'_t - \text{inv}\alpha_n)$ $\text{inv}\alpha'_t$ 及 $\text{inv}\alpha_n$ 可根据 α'_t 及 α_n 由表 35.2-19 查得 $x_{n\Sigma} = x_{n2} - x_{n1}$ |
| 齿高变动系数 | Δy 或 Δy_n | $\Delta y = x_\Sigma - y$ | $\Delta y_n = x_{n\Sigma} - y_n$ | |
| 按线图计算 | 中心距变动系数 | y 或 y_n | $y = \frac{a' - a}{m}$, 其中 $a = \frac{1}{2}m(z_2 - z_1)$ | $y_n = \frac{a' - a}{m_n}, y_t = \frac{a' - a}{m_t}$, 其中 $a = \frac{m_n}{2\cos\beta}(z_2 - z_1)$ |
| | 齿高变动系数 | Δy 或 Δy_n | 根据 $x_\Sigma = z_2 - z_1$ 及 y 由图 35.2-3 查得 | $\Delta y_n = (\Delta y_t - \omega x_\Sigma) / \cos\beta$ Δy_t 根据 x_Σ 及 y_t 由图 35.2-3 查得 ω 根据 $1000y_t/x_\Sigma$ 及 β 由图 35.2-5 查得 |
| | 总变位系数 | x_Σ 或 $x_{n\Sigma}$ | $x_\Sigma = y + \Delta y; x_\Sigma = x_2 - x_1$ | $x_{n\Sigma} = y_n + \Delta y_n; x_{n\Sigma} = x_{n2} - x_{n1}$ |
| 已知条件及要求项目 | | | 已知 z_1, z_2, m, x_Σ 求 a' 及 Δy | 已知 $z_1, z_2, m_n(m_t), \beta, x_{n\Sigma}(x_{t\Sigma})$ 求 a' 及 Δy_n |
| 按公式计算 | 压力角 | α 或 α_t | $\alpha = 20^\circ$ | $\alpha_n = 20^\circ; \tan\alpha_t = \tan\alpha_n / \cos\beta$ |
| | 啮合角 | α' 或 α'_t | $\text{inv}\alpha' = \frac{2(x_2 - x_1)}{z_2 - z_1}\tan\alpha + \text{inv}\alpha$ | $\text{inv}\alpha'_t = \frac{2(x_{n2} - x_{n1})}{z_2 - z_1}\tan\alpha_n + \text{inv}\alpha_n$ |
| | 中心距变动系数 | y 或 y_n | $y = \frac{z_2 - z_1}{2} \left(\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha'} - 1 \right)$ | $y_n = \frac{z_2 - z_1}{2\cos\beta} \left(\frac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha'_t} - 1 \right)$ |
| | 中心距 | a' | $a' = a + ym$ | $a' = a + y_n m_n$ |
| 按线图计算 | 齿高变动系数 | Δy 或 Δy_n | $\Delta y = x_\Sigma - y$ | $\Delta y_n = x_{n\Sigma} - y_n$ $\Delta y_n = (\Delta y_t - \mu x_\Sigma) / \cos\beta$ |
| | 齿高变动系数 | Δy 或 Δy_n | 根据 $x_\Sigma = z_2 - z_1$ 及 x_Σ 由图 35.2-4 查得 | Δy_t 根据 x_Σ 及 $x_{t\Sigma}$ 由图 35.2-4 查得; μ 根据 $1000x_{t\Sigma}/x_\Sigma$ 及 β 由图 35.2-6 查得 |
| | 中心距变动系数 | y 或 y_n | $y = x_\Sigma - y$ | $y_n = x_{n\Sigma} - \Delta y_n$ |
| 中 心 距 | a' | $a' = a + ym$ | $a' = a + y_n m_n$ | |

(续)

| 名称 | 代号 | 直 齿 轮 | 斜 齿 (人 字 齿) 轮 |
|------------|-------------|---|--|
| 主要几何尺寸计算公式 | | | |
| 模 数 | m 或 m_n | 由强度计算或结构设计确定, 并取为标 准值 | 由强度计算或结构设计确定, m_n 取为 标准值; $m_t = m_n / \cos\beta$ |
| 齿 数 比 | u | $u = z_2 / z_1$ | |
| 分 度 圆 直 径 | d | $d_1 = z_1 m$ $d_2 = z_2 m$ | $d_1 = z_1 m_n / \cos\beta$ $d_2 = z_2 m_n / \cos\beta$ |
| 节 圆 直 径 | d' | $d'_1 = 2a' / (u-1)$ $d'_2 = u d'_1$ | $d'_1 = 2a' / (u-1)$ $d'_2 = u d'_1$ |
| 齿 顶 圆 直 径 | d_{a1} | 当 $ x_2 - x_1 \leq 0.5$, $ x_2 < 0.5$ 和 $z_2 - z_1 \geq 40$ 时: $d_{a1} = d_1 + 2(h_a^* + x_1)m$ | 当 $ x_{n2} - x_{n1} \leq 0.5$, $ x_{n2} < 0.5$ 和 $z_{n2} - z_{n1} \geq 40$ 时: $d_{a1} = d_1 + 2(h_{an}^* + x_{n1})m_n$ |
| | | 当内齿轮用插刀加工时 | |
| | d_{a2} | $d_{a1} = d_1 + 2(h_a^* + x_1 + \Delta y - \Delta y_{02})m$ $d_{a2} = d_2 - 2(h_a^* - x_2 + \Delta y - k_2)m$ 当 $x_2 < 2$ 时, $k_2 = 0.25 - 0.125x_2$ 当 $x_2 \geq 2$ 时, $k_2 = 0$ | $d_{a1} = d_1 + 2(h_{an}^* + x_{n1} + \Delta y_{n1} - \Delta y_{n02})m_n$ $d_{a2} = d_2 - 2(h_{an}^* - x_{n2} + \Delta y_n - k_2)m_n$ 当 $x_{n2} < 2$ 时, $k_2 = 0.25 - 0.125x_{n2}$ 当 $x_{n2} \geq 2$ 时, $k_2 = 0$ |
| 齿 根 圆 直 径 | d_{f1} | 滚 齿: $d_{f1} \approx d_1 - 2(h_a^* + c^* - x_1)m$ 插 齿: $d_{f1} = 2a'_{01} - d_{a0}$ | 滚 齿: $d_{f1} \approx d_1 - 2(h_{an}^* + c_n^* - x_{n1})m_n$ 插 齿: $d_{f1} = 2a'_{01} - d_{a0}$ |
| | d_{f2} | d_{f2} 的近似值可按下式计算 | |
| | | $d_{f2} \approx d_2 + 2(h_a^* + c^* + x_2)m$ 当内齿轮用插刀加工时: $d_{f2} = 2a'_{02} + d_{a0}$ | $d_{f2} \approx d_2 + 2(h_{an}^* + c_n^* + x_{n2})m_n$ |
| 全 齿 高 | h | $h_1 = 0.5(d_{a1} - d_{f1})$ $h_2 = 0.5(d_{f2} - d_{a2})$ | |
| 齿 顶 高 | h_a | $h_{a1} = 0.5(d_{a1} - d_1)$ $h_{a2} = 0.5(d_2 - d_{a2})$ | |

侧隙检验尺寸(选用一组)

| | | | | |
|----|-------------|------------------------------|---|--|
| I | 分 度 圆 弦 齿 厚 | \bar{s} 或 \bar{s}_n | $\bar{s}_1 = z_1 m \sin\Delta_1$ $\Delta_1 = \frac{90^\circ + 41.7^\circ x_1}{z_1}$ $\bar{s}_2 = z_2 m \sin\Delta_2$ $\Delta_2 = \frac{90^\circ - 41.7^\circ x_2}{z_2}$ | $\bar{s}_{n1} = z_{v1} m_n \sin\Delta_1$ $\Delta_1 = \frac{90^\circ + 41.7^\circ x_{n1}}{z_{v1}}$ $\bar{s}_{n2} = z_{v2} m_n \sin\Delta_2$ $\Delta_2 = \frac{90^\circ - 41.7^\circ x_{n2}}{z_{v2}}$ |
| | 分 度 圆 弦 齿 高 | \bar{h}_a 或 \bar{h}_{an} | $\bar{h}_{a1} = h_{a1} + \frac{z_1 m}{2}(1 - \cos\Delta_1)$ $\bar{h}_{a2} = h_{a2} - \frac{z_2 m}{2}(1 - \cos\Delta_2) + \Delta h$ $\Delta h = \frac{d_{a2}}{2}(1 - \cos\delta_a)$ $\delta_a = \frac{\pi}{2z_2} - \text{inv}\alpha - \frac{2x_2}{z_2} \tan\alpha + \text{inv}\alpha_a$ (以弧度计) $\cos\alpha_a = \frac{d_2}{d_{a2}} \cos\alpha$ | $\bar{h}_{an1} = h_{a1} + \frac{z_{v1} m_n}{2}(1 - \cos\Delta_1)$ $\bar{h}_{an2} = h_{a2} - \frac{z_{v2} m_n}{2}(1 - \cos\Delta_2) + \Delta h$ $\Delta h = \frac{d_{a2}}{2}(1 - \cos\delta_a)$ $\delta_a = \frac{\pi}{2z_{v2}} - \text{inv}\alpha_1 - \frac{2x_{n2}}{z_{v2}} \tan\alpha_1 + \text{inv}\alpha_a$ (以弧度计) $\cos\alpha_a = \frac{d_2}{d_{a2}} \cos\alpha_1$ |
| II | 固 定 弦 齿 厚 | \bar{s}_c 或 \bar{s}_{cn} | $\bar{s}_{c1} = m \cos^2\alpha (\frac{\pi}{2} + 2x_1 \tan\alpha)$ $\bar{s}_{c2} = m \cos^2\alpha (\frac{\pi}{2} - 2x_2 \tan\alpha)$ 当 $\alpha = 20^\circ$ 时, $\bar{s}_{c1} = (1.3870 + 0.6428x_1)m$ $\bar{s}_{c2} = (1.3870 - 0.6428x_2)m$ | $\bar{s}_{cn1} = m_n \cos^2\alpha_n (\frac{\pi}{2} + 2x_{n1} \tan\alpha_n)$ $\bar{s}_{cn2} = m_n \cos^2\alpha_n (\frac{\pi}{2} - 2x_{n2} \tan\alpha_n)$ 当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时, $\bar{s}_{cn1} = (1.3870 + 0.6428x_{n1})m_n$ $\bar{s}_{cn2} = (1.3870 - 0.6428x_{n2})m_n$ |
| | 固 定 弦 齿 高 | \bar{h}_c 或 \bar{h}_{cn} | $\bar{h}_{c1} = h_{a1} - 0.182\bar{s}_{c1}$ $\bar{h}_{c2} = h_{a2} - 0.182\bar{s}_{c2} + \Delta h$ | $\bar{h}_{cn1} = h_{an1} - 0.182\bar{s}_{cn1}$ $\bar{h}_{cn2} = h_{an2} - 0.182\bar{s}_{cn2} + \Delta h$ |