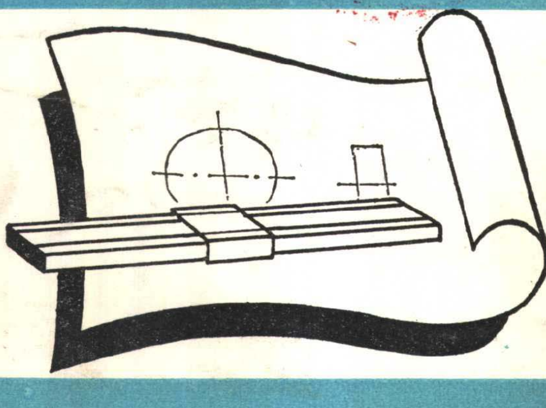
机械工人学习材料

JIXIE GONGREN XUEXI CAILIAO

直齿圆锥齿轮各部尺寸计算

陈邕麟 编著



简易计算

机械工业出版社

内容提要 在同一平面上，两相交轴的传动可以用圆锥齿轮。圆锥齿轮可分为直齿的、斜齿的、圆弧型或螺旋圆锥齿轮等等。本书主要是介绍直齿圆锥齿轮的基本知识。

书中对直齿圆锥齿轮的各部名称、意义、常用的代号，以及各部尺寸关系的公式等都作了详细的介绍。为了使读者了解公式的应用，作者还列举了不少计算实例，反复演证，说明其计算步骤和方法，另外对主要的公式还作了一番证明。

本书是1965年第三版修订本。这次修订，在内容上除了保留原本由浅入深、反复举例的特点外，还增加了不少新内容。

本书可供机械工人阅读。

直齿圆锥齿轮各部尺寸计算

（修订第四版）

陈邕麟 编著

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

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 2 12/16 · 字数 61 千字

1973年11月北京第四版·1973年11月北京第一次印刷

印数 00,001—212,000 · 定价 0.21 元

*

统一书号：15033·1206

毛主席语录

红与专、政治与业务的关系，是两个对立物的统一。一定要批判不问政治的倾向。一方面要反对空头政治家，另一方面要反对迷失方向的实际家。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

目　　次

一　基本概念和参数……………………………………………………… 1
二　主要部分名称和意义………………………………………………… 4
三　几个基本公式的证明………………………………………………… 8
四　直齿圆锥齿轮计算公式……………………………………………13
五　公制直齿圆锥齿轮计算实例………………………………………16
六　圆锥齿轮传动公差和工作图………………………………………29
七　英制直齿圆锥齿轮计算公式和实例………………………………39
附表…………………………………………………………………………48
附表 1　分度圆锥角 φ 表………………………………………………48
附表 2　锥距系数 L_0 表……………………………………………62
附表 3　齿顶圆直径系数 D_0 表……………………………………67
附表 4　圆锥齿轮毛坯公差表…………………………………………81
附表 5　圆锥齿轮传动公差表…………………………………………82

一 基本概念和参数

在同一平面上，两相交轴的传动可以用圆锥齿轮。圆锥齿轮的轴线夹角δ，可以大于或小于90°，其中最常用的是轴线夹角δ＝90°（图2）的。

圆锥齿轮可以分为：直齿的、斜齿的、圆弧型或螺旋圆锥齿轮。

由于直齿圆锥齿轮比较容易制造，所以广泛地应用在机器上。例如，柴油机的定时传动轴、阀杆的传动、挖泥船动力的传递、开钟表的发条等等都用到它。它的缺点是：不容易制造出较高的精度，齿轮和齿条接触区不容易控制。此外，因为它是直齿，牙齿的啮合和离开比较突然，而不是逐渐的，所以在高速和大动力传递中，逐渐地就被标准渐开线或圆弧型圆锥齿轮所代替。

从外形看，直齿圆锥齿轮和圆柱齿轮的最大区别是：一个是截锥体，一个是圆柱体。此外，直齿圆锥齿轮和斜齿圆锥齿轮的区别，只是在截锥体上所切削出来的齿条都通过锥顶（轴线与齿顶圆或分度圆母线延长的交点叫“锥顶”），更确切地说，直齿圆锥齿轮的齿面可以看成通过锥顶的许多直线的轨迹。

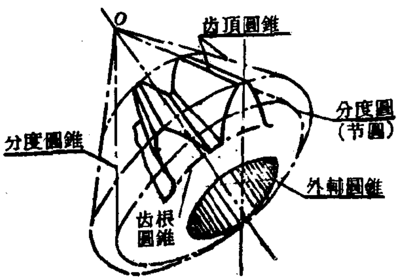


图1　直齿圆锥齿轮上的几个主要名称

分度圆的意义是有

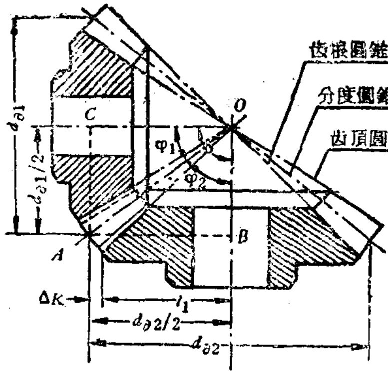


图2　一对啮合的直齿圆锥齿轮

标准模数的圆。在图1里，过大端分度圆而逐渐向锥顶缩小的圆锥，叫分度圆锥；同样，过大端齿顶圆而逐渐向锥顶缩小的圆锥，叫齿顶圆锥，和过大端齿底圆（又叫齿根圆）而逐渐向锥顶缩小的圆锥，叫齿根圆锥。节圆锥可以看作当它和另一锥齿轮啮合时，只有纯滚动而无滑动的圆锥。对非变位的正常圆锥齿轮来说，节圆锥和分度圆锥重合在一起，所以节圆直径等于分度圆直径。

跟分度圆锥轴线一致，而母线和分度圆锥母线互相垂直的有两个辅圆锥：在齿轮大端方向的叫外辅圆锥（又叫做背锥）在小端方向的叫内辅圆锥（图1中的内辅圆锥被遮住看不见，可参看图3 b），一般所有的各部齿形尺寸都在外辅圆锥上计量。如果需要在内辅圆锥上注明齿形尺寸的话，那么根据三角学的直角三角形相似定理，只要把外辅圆锥上的几何尺寸乘上比例常数$\frac{L-b}{L}$，即乘上$\frac{\text{锥距}-\text{齿面宽}}{\text{锥距}}$就可以了（证明见第三章）。

跟直齿圆柱齿轮的定义一样，在分度圆上的相邻两齿间对应两点的弧长叫周节，用 t 来表示，而比值 $\frac{t}{\pi}$ 叫做模数，用 m 来表示。设 z 代表齿数，那么它们的关系是：

因　周节　　　　　　$t = \frac{\pi d_\partial}{z}$

∴　模数　　　　　　$m = \frac{t}{\pi} = \frac{d_\partial}{z}$

移项得：分度圆直径 $d_\partial = mz$

因此模数也可被理解为一个牙齿占有分度圆直径的部分长度。从公式 $m = \frac{t}{\pi}$ 看，齿轮的周节越大，它的模数也越大，齿形也就越粗。

圆锥齿轮的模数，也可以按第一机械工业部标准 JB 111-60 的模数系列来选定（见表 1）：

表 1　齿轮模数系列表(JB 111-60)

第一系列	0.1　0.15　0.2　0.25　0.3　0.4　0.5　0.6　0.8　1　1.25　1.5　2　2.5　3　4　5　6　8　10　12　14　18　20　22　25　30　36　40　45　50
第二系列	0.7　1.75　2.25　(2.75)　(3.25)　3.5　(3.75)　4.5　(5.5)　(6.5)　7　9　11　(13)　(15)　28　33

注：1.本标准适用于圆柱齿轮、圆锥齿轮和蜗轮；
2.应优先采用第一系列，其次为第二系列，括号内的模数尽可能不用；
3.对圆锥齿轮来说，模数是按大端分度圆直径来计算的。

在截锥体上切削出来的齿形，是从外辅圆锥开始，逐渐向锥顶缩小。因此，周节是变化的，而模数也是变化的。这里必须注意：原来标准模数的圆锥齿轮，如果任意加长或缩短锥距，结果就会使大端模数加大或减小，变为非标准值。

直齿圆锥齿轮的传动比 i，建议取 $\leqslant 5$，即 $i = \frac{z_2}{z_1} \leqslant 5$。此外，把齿数 z 换算为当量齿数 z_n 后，不发生根切的至少齿数应

大于直齿圆柱齿轮的至少齿数，即$z_n \geqslant z_{至少} = \frac{2f}{\sin^2\alpha_\partial}$[1]。

例如：正常齿 当 $\alpha_\partial = 20$， $f = 1.0$ 时， $z_n \geqslant \frac{2 \times 1}{\sin^2 20^\circ} \approx 17$齿，但根据圆锥齿轮当量齿轮公式知 $z_n = \frac{z}{\cos\varphi}$，即 $z_{至少} = z_n \cdot \cos\varphi$，因此节锥角 $\varphi = 45^\circ$ 的圆锥齿轮不发生根切的至少实际齿数是 $z_{至少} \approx 17\cos 45^\circ \approx 12$ 齿。如果 z_n 小于上述齿数，就需要进行修正[2]。

二　主要部分名称和意义

前面我们已经懂得了什么叫做分度圆锥（在非修正齿轮中，

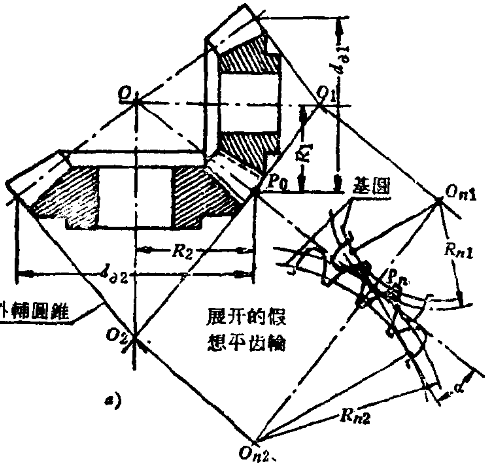


图 3 *a*　一对啮合的直齿圆锥齿轮各部名称及代号

---

[1] f 叫齿高系数，α_∂ 叫分度圆压力角，可参看《直齿圆柱齿轮各部尺寸计算》一书。

[2] 本书所讲解的范围是非变位的直齿圆锥齿轮，至于变位齿轮的知识，请看《变位齿轮各部尺寸计算》一书。

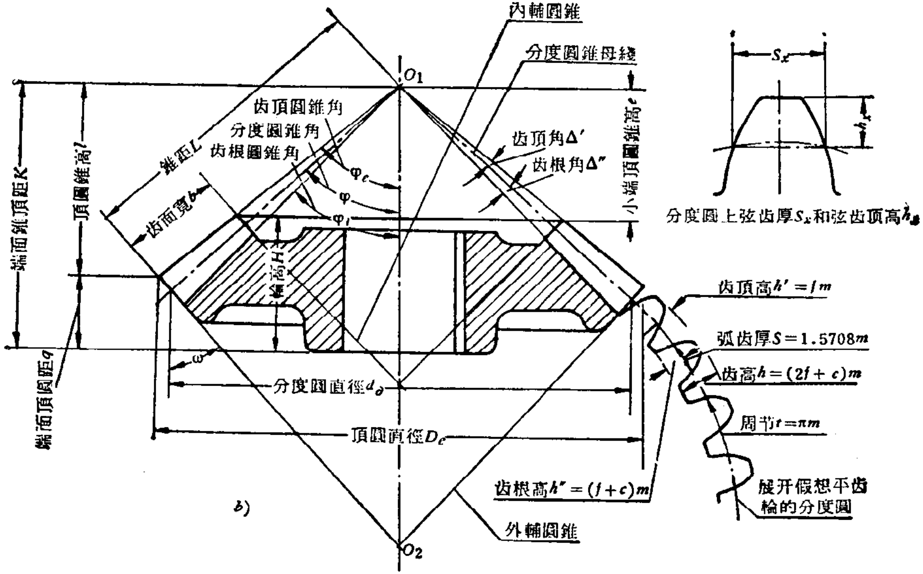


图3 b　直齿圆锥齿轮各部名称及代号

它与“节圆锥”重合）、分度圆、齿顶圆锥、齿根圆锥、外辅圆锥、内辅圆锥、周节、模数，以及有关它们的知识。下面介绍直齿圆锥齿轮的其他各部分名称、代号和意义（见图3a、b）。

齿顶高h'　在外辅圆锥上，分度圆到齿顶圆的部分牙齿高度。正常齿的齿顶高$h'=m$。

齿根高h''　在外辅圆锥上，分度圆到齿根圆的部分牙齿高度。正常齿当$m>1$毫米时，$h''=1.2m$；当$m\leqslant 1$毫米时，$h''=1.25m$。

齿高h　在外辅圆锥上，齿顶圆到齿根圆的牙齿全高。正常齿当$m>1$毫米时，$h=h'+h''=2.2m$。

当$m\leqslant 1$毫米时，$h=h'+h''=2.25m$。

齿工作高度h_g　牙齿嵌入偶合齿沟内那部分的高度。

径向间隙C　齿顶与配偶齿轮齿底之间的最小距离。当$m>1$时，$C=0.2m$；当$m\leqslant 1$时，$C=0.25m$。

齿顶圆直径（顶圆直径）D_e　齿顶圆锥底的直径，也叫做外径。

齿顶角Δ'　齿顶圆锥母线和分度圆锥母线间的夹角。

齿根角Δ''　齿根圆锥母线和分度圆锥母线间的夹角。

轴线夹角δ　两锥齿轮轴线间的夹角。

齿顶圆锥角φ_e　齿顶圆锥母线对轴线的夹角（过去叫它做齿面角）。

齿根圆锥角φ_i　齿根圆锥母线对轴线的夹角（过去叫它做切削角）。

分度圆锥角φ　轴线和分度圆锥母线间的夹角（过去叫它做节锥角）。

锥距L　在分度圆锥母线上，从锥顶到分度圆的距离（过去

叫它做节锥半径)。

齿面宽 b　在分度圆锥母线上齿条的长度。

顶圆锥高 l　齿顶圆到锥顶，而在轴向计量的距离。

小端顶圆锥高 e　小端齿顶圆到锥顶的轴向距离。

端面锥顶距 K　锥顶到支承端面的距离，也叫做顶端距。

端面顶圆距 q　齿顶圆到支承端面的距离。

齿轮高度 H　从小端齿顶圆到支承端面的轴向距离。

分度圆上弧齿厚　在分度圆上，一个牙齿的两面齿型轮廓间的弧长。

当量齿数 z_n　图 3 a 是一对啮合的直齿圆锥齿轮（节圆半径各为 R_1 及 R_2），展开在平面上的假想的平齿轮（分度圆半径各为 $O_2P_0=R_{n2}$，及 $O_1P_0=R_{n1}$）。这样，圆锥齿轮的啮合，就相当于假想的平齿轮或圆柱齿轮的啮合。而圆锥齿轮上的齿数 z，就折合为假想的平齿轮的齿数 z_n，叫做当量齿数●，关系是：$z_n=\frac{z}{\cos\varphi}$。也就是说，齿数为 z，分度圆锥角为 φ 的圆锥齿轮的齿形，与同模数、而齿数为 z_n 的平齿轮的齿形差不多完全一致。

分度圆上弦齿厚 S_x　在分度圆上所计量齿厚的弧所对应的弦长（见图 3 b 右上角附图）。在实用上，应该还要标注齿厚公差。至于一对啮合齿轮的保证侧隙，应该由齿轮的齿厚最小减薄量和齿厚公差来保证。

弦齿顶高 h_x　在外辅圆锥上，并按齿的中线半径方向，齿顶圆到所计量齿厚的弦的垂直距离。

● 通俗地说，圆锥齿轮可想象为一把张开的纸伞，张角的一半为 φ，伞骨数为 z，现将它摊平变为“平伞”时，如保持伞骨节距不变，纸伞势必开裂，伞骨数需增多为 $z_n=\frac{z}{\cos\varphi}$。

三　几个基本公式的证明

计算公式主要是学会应用，而不是学会证明。但是，计算圆锥齿轮有一个特点，那就是计算同样的内容却有许多不同的表达公式。毛主席教导我们：**“一切客观事物本来是互相联系的和具有内部规律的，”“不懂得那件事的情形，它的性质，它和它以外的事情的关联，就不知道那件事的规律，就不知道如何去做，就不能做好那件事。”**我们在学习计算时，还必须懂得这些基本公式的来源，了解它们相互之间的内在联系，以便更合理地运用这些计算公式。

1．证明求分度圆锥角φ的普遍公式

即求证：
$$\mathrm{tg}\varphi_1=\frac{z_1\sin\delta}{z_2+z_1\cos\delta}=\frac{\sin\delta}{\frac{z_2}{z_1}+\cos\delta}$$

$$和\mathrm{tg}\varphi_2=\frac{z_2\sin\delta}{z_1+z_2\cos\delta}=\frac{\sin\delta}{\frac{z_1}{z_2}+\cos\delta}$$

〔**证明**〕　图2是一对啮合的直齿圆锥齿轮，并设轴线夹角δ为任意角。

因传动比　$$i=\frac{z_2}{z_1}\qquad(1)$$

在△AOC里，　$$\sin\varphi_1=\frac{d_{\partial 1}/2}{OA}=\frac{d_{\partial 1}}{2OA}\qquad(2)$$

在△AOB里，　$$\sin\varphi_2=\frac{d_{\partial 2}/2}{OA}=\frac{d_{\partial 2}}{2OA}\qquad(3)$$

以（2）÷（3）得

$$\frac{\sin\varphi_1}{\sin\varphi_2}=\frac{d_{\partial 1}}{d_{\partial 2}}=\frac{mz_1}{mz_2}=\frac{z_1}{z_2}=\frac{1}{i}$$

移项 $$\sin\varphi_1=\frac{\sin\varphi_2}{i}$$

但是，$\varphi_2=\delta-\varphi_1$，以 φ_2 代入上式，并按三角学两角差的正弦公式展开：

$$\sin\varphi_1=\frac{\sin(\delta-\varphi_1)}{i}=\frac{\sin\delta\cos\varphi_1-\cos\delta\sin\varphi_1}{i} \tag{4}$$

以 $\cos\varphi_1$ 除（4）式得

$$\frac{\sin\varphi_1}{\cos\varphi_1}=\frac{\sin\delta\cos\varphi_1-\cos\delta\sin\varphi_1}{i\cos\varphi_1}$$

即 $$\mathrm{tg}\varphi_1=\frac{\sin\delta-\cos\delta\,\mathrm{tg}\varphi_1}{i}=\frac{\sin\delta}{i}-\frac{\cos\delta\,\mathrm{tg}\varphi_1}{i}$$

移项 $$\mathrm{tg}\varphi_1+\frac{\cos\delta\,\mathrm{tg}\varphi_1}{i}=\frac{\sin\delta}{i}$$

即 $$\mathrm{tg}\varphi_1\left(1+\frac{\cos\delta}{i}\right)=\frac{\sin\delta}{i}$$

$$\mathrm{tg}\varphi_1=\frac{\frac{1}{i}\sin\delta}{1+\frac{1}{i}\cos\delta} \tag{5}$$

（5）式分子分母各乘 i 得

$$\mathrm{tg}\varphi_1=\frac{\sin\delta}{\frac{z_2}{z_1}+\cos\delta} \tag{6}$$

（6）式分子分母各乘 z_1 得

$$\mathrm{tg}\varphi_1=\frac{z_1\sin\delta}{z_2+z_1\cos\delta} \tag{7}$$

同理 $$\mathrm{tg}\varphi_2=\frac{z_2\sin\delta}{z_1+z_2\cos\delta} \tag{8}$$

$$=\frac{\sin\delta}{\frac{z_1}{z_2}+\cos\delta} \tag{9}$$

2. 试证明上述普遍式，当 $\delta>90^\circ$ 时的分度圆锥角为：

$$\mathrm{tg}\varphi_1=\frac{z_1\sin(180^\circ-\delta)}{z_2-z_1\cos(180^\circ-\delta)}$$

和 $$\mathrm{tg}\varphi_2=\frac{z_2\sin(180^\circ-\delta)}{z_1-z_2\cos(180^\circ-\delta)}$$

〔**证明**〕 由三角学中知道，当 $\delta>90^\circ$ 时，

$$\sin\delta=\sin(180^\circ-\delta)\text{和}\cos\delta=-\cos(180^\circ-\delta)$$

分别将上值代入公式（7）和（8），就可以得到题给的公式。

3. 证明普遍式的特殊情况，即当 $\delta=90^\circ$ 时，

求证： $$\mathrm{tg}\varphi_1=\frac{z_1}{z_2}\text{和}\,\mathrm{tg}\varphi_2=\frac{z_2}{z_1}$$

〔**证明**〕 由三角学中知道，当 $\delta=90^\circ$ 时，

$$\sin\delta=\sin 90^\circ=1\text{ 和 }\cos\delta=\cos 90^\circ=0$$

将上值分别代入公式（7）和（8），就可以证明：

$$\mathrm{tg}\varphi_1=\frac{z_1}{z_2}\text{和}\,\mathrm{tg}\varphi_2=\frac{z_2}{z_1}$$

〔**结论**〕 不管 δ 小于、等于或大于 90°，只要记着公式（7），即 $\mathrm{tg}\varphi_1=\dfrac{z_1\sin\delta}{z_2+z_1\cos\delta}$ 就行了。

4. 证明求锥距的公式：

$$L=\frac{mz}{2\sin\varphi}$$

〔**证明**〕 在图 4 a 中，将分度圆锥的截面的一半即在 $\triangle GOM$ 中看来，有如下关系：

$$\sin\varphi=\frac{d_\partial/2}{L}=\frac{d_\partial}{2L}$$

移项得： $$L=\frac{d_\partial}{2\sin\varphi}=\frac{mz}{2\sin\varphi}$$

5. 求证：当分度圆锥角 $\varphi=45^\circ$ 时，锥距

$$L=0.707mz$$

〔**证明**〕 当 $\varphi=45^\circ$ 时，$\sin 45^\circ=0.707$，所以

$$L=\frac{mz}{2\sin\varphi}=\frac{mz}{2\times0.707}=\frac{mz}{1.414}=0.707mz$$

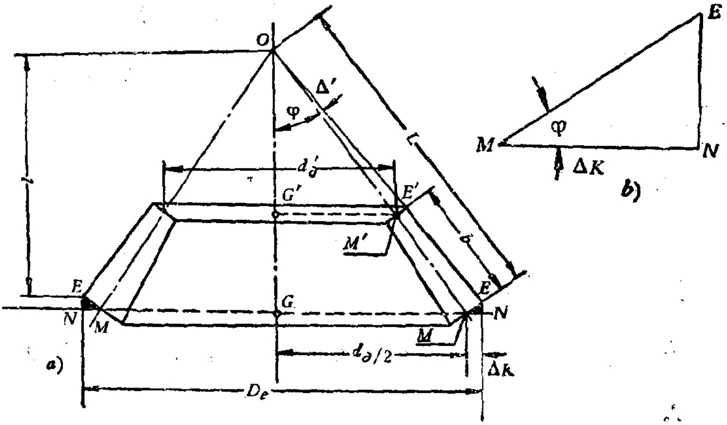


图4　证明公式时用的图

由此也可推出，当 $\delta=90^\circ$ 时，一对齿数相等的圆锥齿轮的锥距，也适用上面的公式。

6．求证：$D_e=mz+2h'\cos\varphi$

〔证明〕 在图4 a 里，作外辅圆锥上的齿顶部分的辅助三角形△EMN，并放大为图4 b，根据外辅圆锥母线与分度圆锥母线互相垂直的性质知道　$\angle OME=90^\circ$

$\therefore$　　$\angle OMG+\angle EMN=90^\circ$

又　　$\angle OMG+\varphi=90^\circ$

$\therefore$　　$\angle EMN=\varphi$

在△EMN中　　$\cos\varphi=\dfrac{MN}{ME}$

即　　$MN=ME\cos\varphi=h'\cos\varphi$

而　　$D_e=d_\partial+2\Delta K=mz+2MN$

$\therefore$　　$D_e=mz+2h'\cos\varphi$

当正常齿 $h'=m$ 时

$$D_e = mz + 2m\cos\varphi = m(z + 2\cos\varphi)$$

7. 求证顶圆锥高 $l = \frac{d_\partial}{2}\operatorname{ctg}\varphi - h'\sin\varphi$ 及正常齿时 $l = m\left(\frac{z}{2}\operatorname{ctg}\varphi - \sin\varphi\right)$

〔证明〕 在图 4a 中，$l = OG - EN$

而 $$OG = MG\operatorname{ctg}\varphi = \frac{d_\partial}{2}\operatorname{ctg}\varphi = \frac{mz}{2}\operatorname{ctg}\varphi$$

又 $EN = ME\sin\varphi = h'\sin\varphi$

$l = \frac{d_\partial}{2}\operatorname{ctg}\varphi - h'\sin\varphi$；当为正常齿时，$EN = m\sin\varphi$

∴ $$l = m\left(\frac{z}{2}\operatorname{ctg}\varphi - \sin\varphi\right)$$

8. 上题是单个圆锥齿轮的顶圆锥高的求法，当 $\delta = 90^\circ$ 的一对圆锥齿轮，设已知其齿数，求证这对齿轮顶圆锥高 $l_1 = m\left(\frac{z_2}{2} - \sin\varphi_1\right)$ 及 $l_2 = m\left(\frac{z_1}{2} - \sin\varphi_2\right)$

〔证明〕 在图 3a 中的 R_2 是与它啮合的小齿轮顶圆锥高 $l_1 + EN$，即 $R_2 = l_1 + EN$（图 4），移项得

$l_1 = R_2 - EN = \frac{mz_2}{2} - m\sin\varphi_1 = m\left(\frac{z_2}{2} - \sin\varphi_1\right)$ 同理，$l_2 = m\left(\frac{z_1}{2} - \sin\varphi_2\right)$

9. 求证小端圆锥上，分度圆直径 $d'_\partial = d_\partial\frac{L-b}{L}$ 和齿顶高 $h'_小 = M'E' = h'\frac{L-b}{L}$

〔证明〕 在图 4a 中，根据直角三角形相似的比例关系，即 $\triangle OG'M' \simeq \triangle OGM$，所以 $G'M' : GM = (L-b) : L$

$\frac{d'_\partial}{2} : \frac{d_\partial}{2} = (L-b) : L$，内项乘内项，外项乘外项得：

$$\frac{d'_\partial L}{2} = \frac{d_\partial(L-b)}{2} \quad 所以\ d'_\partial = d_\partial \frac{L-b}{L}$$

又因$\triangle OM'E' \simeq \triangle OME$，所以 $M'E':ME = (L-b):L$

即 $$M'E'h' = (L-b):L$$

$$M'E' \cdot L = h'(L-b)$$

$\therefore$ $$M'E' = h'\frac{L-b}{L}，即 h'_{小} = h'\frac{L-b}{L}$$

同理可以证明：小端的齿顶圆、齿高、齿厚等尺寸均等于大端尺寸乘上$\frac{L-b}{L}$。

四　直齿圆锥齿轮计算公式

表 2　直齿圆锥齿轮计算公式表

（一）求基本参数

<table>
<tr><th colspan="2">所求项目</th><th>单位</th><th>代号</th><th colspan="2">通用公式(正常齿、短齿通用)</th><th>备　　注</th></tr>
<tr><td colspan="2">模　　数</td><td>毫米</td><td>m</td><td colspan="2">按表 1 选取</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">周　　节</td><td>毫米</td><td>t</td><td colspan="2">$t = \pi m = 3.1416m$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">齿数</td><td>小 齿 轮</td><td></td><td>z_1</td><td colspan="2">按结构需要，但 z_{n1} 不少于第一章第一节的规定，否则要进行修正</td><td rowspan="2">$z_{n1} = \frac{z_1}{\cos\varphi_1} \geqslant \frac{2f}{\sin^2\alpha_\partial}$</td></tr>
<tr><td>大 齿 轮</td><td></td><td>z_2</td><td colspan="2">传动比 $i = \frac{z_2}{z_1}$，$z_2 = iz_1$</td></tr>
<tr><td rowspan="4">分度圆锥角φ（度）</td><td>普遍式，即δ为锐角、直角、或钝角都合用本式</td><td colspan="3">小　　齿　　轮</td><td>大　　齿　　轮</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>或δ<90°（锐角）</td><td colspan="3">$\mathrm{tg}\varphi_1 = \frac{z_1\sin\delta}{z_2 + z_1\cos\delta}$</td><td>$\mathrm{tg}\varphi_2 = \frac{z_2\sin\delta}{z_1 + z_2\cos\delta}$</td></tr>
<tr><td>当δ>90°（钝角）</td><td colspan="3">$\mathrm{tg}\varphi_1 = \frac{z_1\sin(180°-\delta)}{z_2 - z_1\cos(180°-\delta)}$</td><td>$\mathrm{tg}\varphi_2 = \frac{z_2\sin(180°-\delta)}{z_1 - z_2\cos(180°-\delta)}$</td><td></td></tr>
<tr><td>当δ=90°（直角）</td><td colspan="3">$\mathrm{tg}\varphi_1 = \frac{z_1}{z_2}$</td><td>$\mathrm{tg}\varphi_2 = \frac{z_2}{z_1}$</td><td>也可查附表 1 得 φ_1</td></tr>
<tr><td colspan="2">轴线夹角</td><td>度</td><td>δ</td><td colspan="2">$\delta = \varphi_1 + \varphi_2$</td><td></td></tr>
</table>