

板金工展开计算

沈志瑩 編著

冶金工业出版社

72-88 71.2 223 22

板 金 工 展 开 計 算

沈 志 瑩 編 著

冶 金 工 业 出 版 社

內 容 提 要

本書是一本專門計算金屬板制件展開的書籍。主要供工業建設部門的設計人員在設計階段繪制施工詳圖時計算之用，及施工現場下料的技工應用。若供技工學校作為學習參考資料，亦很相宜。

本書編制以切合實用為主，使讀者在工程上能解決展開計算上的問題。全書分為兩章，舉例 57 則，插圖 102 幅。第一章介紹總的方面，包括計算方法、步驟、驗證等；第二章全部為計算式及實例計算。所有舉例均為常遇的制件，對未列入的其他各種异形制件則可參照與本書所列外形相似或部份相似的制件不難引式推算。

書中每個制件所列計算式，一般均附有計算實例，使讀者在實際應用時易于理解，不致對計算式發生誤解而造成計算上的錯誤。

板金工展開計算

沈志瑩 編著

編輯：葉建林

設計：周 廣

校對：馬泰安

1958 年 12 月第一版

1959 年 2 月北京第二次印刷 22,000 冊

(累計 33,000 冊)

787×1092·1/16·175,000 字

·印張 $7\frac{12}{16}$ ·

定價 0.85 元

北京五三五工廠印

新華書店發行

書號 1194

冶金工業出版社出版(地址：北京市燈市口甲 45 號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第 093 號

序 言

在任何工业部門的建設中，經常要制造各种金屬板制品的組合件，这些制件在設計部門施工設計阶段，是設計人員所必經的工序。如設計部門省略了这一施工圖工作，則施工部門必然会增加了很大負担。因施工現場目前大部份技工对这种計算方法都还未掌握。一般皆凭經驗或参考展开圖法書籍应用投射綫方法来下料制造。但这样做不但工艺上复杂，而且大型制件做起来非常困难，有时該圖形誤差很大，影响制件質量。

过去由于我国工业落后，技术水平低，有关这种金屬板展开計算方面書籍，国内还没有成冊出版过；解放后国家进行着大規模工业建設，設計部門及施工現場的技术人員，对这方面資料的需要甚为迫切。直到現在，实际应用的只有苏联MBH标准。这标准是已經定出制件主要尺寸的常用几种管件，由于其定型的限制，以致应用虽广而范围不大，稍有不同或异型的制件，仍須通过計算来解决。目前担任这方面工作的工程技术人員，有的搜集了俄文、日文等外文計算資料来应用，但这些外文資料，皆零星不全，具体計算时，还是相当費时費力。編者亦曾在施工現場工作过一段时期，見到現場技工下料方法的确有些不合現代化要求。倘能掌握計算方法，則必会使工作进一步的达到多、快、好、省的要求。

編者有鑒于此，于工作之余，整理了有关外文計算資料并根据平时工作中积累起来的經驗和心得，編写本書出版，以滿足讀者需要。

本書为求得适合于一般水平的广大技工应用，因此，在計算中不应用高等数学。如橢圓等計算均采用三角計算，力求極其近似，以不影响准确为原則。

由于編者学識有限，且由于時間倉促，貽誤之处，在所难免。衷心的希望讀者予以批評和指正。

本書在編著过程中，蒙章祝賢、邵振阶、茅彭年等三位同志大力协助，并提許多宝贵改进意見，編者謹向該三位同志表示深切感謝。

編者 1958年8月于北京

目 录

序言

第一章 总 論

一 展开圖与展开計算	1
二 展开計算的方法和步驟	1
三 展开計算的驗證	2
四 展开計算中应注意的事項	3

第二章 計 算

1 圓錐体的展开計算	5
2 斜切后的圓錐台展开計算	5
3 大小头展开計算 (一)	7
4 大小头展开計算 (二)	8
5 大小头展开計算 (三)	10
6 移心大小头展开計算 (一)	12
7 移心大小头展开計算 (二)	14
8 偏心大小头展开計算	17
9 橢圓的作法及其計算	19
10 橢圓的大小头展开計算	22
11 橢圓管与圓管相接的連接管展开計算	24
12 橢圓管与圓管一側垂直相接的連接管展开計算	25
13 橢圓的 90° 两节弯头展开計算 (一)	28
14 橢圓的 90° 两节弯头展开計算 (二)	29
15 長方形管縮节展开計算	31
16 長圓管縮节展开計算	32
17 長方形圓管縮节展开計算	34
18 球表面体展开計算 (一)	35
19 球表面体展开計算 (二)	38
20 异徑异心的連接管展开計算	39
21 异徑的 90° 連接管展开計算	42
22 90° 对接弯头展开計算	45
23 90° 三节弯头展开計算	46
24 90° 四节弯头展开計算	48
25 蛇形弯管展开計算	50

26	弯头的組合計算	52
27	弯头展开后的計算驗證	53
28	双向轉角的弯头展开計算	54
29	90° 异徑四节弯头展开計算	56
30	任意角两节漸縮弯头展开計算	59
31	90° 四节漸縮弯头展开計算	61
32	垂直相交等徑三通展开計算	65
33	任意角斜交等徑三通展开計算	67
34	垂直相交不等徑三通展开計算	70
35	任意角斜交不等徑三通展开計算	73
36	一側垂直相接的不等徑三通展开計算	76
37	矩形管与圓管垂直相交展开計算	79
38	矩形管与圓管任意角斜交展开計算	81
39	扩徑三通展开計算	84
40	Y 形等徑三通展开計算	86
41	十字形等徑四通展开計算	87
42	放射形漸縮四通展开計算	89
43	Y 形漸縮三通展开計算	92
44	圓管与矩形管相接的連接管展开計算 (一)	95
45	圓管与矩形管相接的連接管展开計算 (二)	96
46	圓管与矩形管相接的連接管展开計算 (三)	98
47	圓管与矩形管相接的連接管展开計算 (四)	99
48	圓管与矩形管相接的連接管展开計算 (五)	100
49	圓管与矩形管相接的連接管展开計算 (六)	102
50	圓管与矩形管相接的連接管展开計算 (七)	103
51	圓管与矩形管相接的連接管展开計算 (八)	103
52	弯管組合計算 (一)	104
53	弯管組合計算 (二)	105
54	弯管組合計算 (三)	106
55	弯管組合計算 (四)	106
56	弯管組合計算 (五)	107
57	弯管組合計算 (六)	108

附 录

表 1	焊接鋼管規範表	109
表 2	弧弦計算表	110
表 3	等分圓周之弦長系数表	113
表 4	三角函数表	114

第一章 总 論

一 展开图与展开計算

在工程上經常会遇到各种形状金屬板制品的組合件，在这种制件里，展开圖的应用極為重要，尤以管道等方面最为显著。一塊鋼板捲合焊接而成圓筒，即是管子。設其管徑为 D ，則我們知道，管子展开后的鋼板長度 $L = \pi \times D$ 。也就是說：取長为 L 的一塊鋼板，捲合后可得直徑为 D 的管子。但金屬板制品千形万状，常見的如三通、弯头、大小头、方圓节等等。这些制品須經過展开計算，才能得出准确的展开的外形尺寸。然后再按尺寸在金屬板上下料，加工制成組合件。

根据展开圖法中的投影和投射綫方法，若不通过計算，亦可得出展开圖。但投射綫等法过程繁杂，且制件过大时，現場实际用投射法展开亦有困难，得出展开圖准确度較低。而应用展开計算方法得出展开圖准确性很高。按圖加工不但准确省料，而且节省時間。我們不难想像，欲在一整塊金屬板上下料，若按有尺寸的圖形去切割，可尽量按最經濟的面积利用。因此展开計算的目的就是将立体制品的表面，通过計算得出有准确尺寸的展开后平面圖形。

二 展开計算的方法和步驟

不論应用展开圖法或用展开計算，其原理都是依靠几何和三角兩門数学上的关系相結合而成的。其次，对制件尚須具有一定的立体概念，这样才能順利的进行展开計算。同样的一个制件，可以应用各种不同計算方法。一般來說，虽是計算方法不同，但所得計算值是不会有很大誤差的。因此在計算方法上关系不大，只是計算的速度快慢而已。

进行展开計算可按下列步驟进行：

- 1) 繪制已定主要尺寸制件的立面圖、側視圖（或用平面圖），必要时尚需加輔視圖。
- 2) 將圓周等分为若干等分。一般为 16 等分或 24 等分。小的制件等分可少一些，如 8 等分或 12 等分；大的制件等分可多一些，如 36 等分或更多。等分点愈多所得圖形亦愈准确，但相应的計算亦愈繁瑣。在施工現場应用展开圖法下料时，大型制件皆用 36 等分。但在計算上可采用 16 等分就可够要求了。
- 3) 將等分点根据展开圖法的原理，引成各投射綫。有两个視圖的制件得出其視圖間的关系及制件本身的接合綫。
- 4) 將圓周上等分点折算成角度，即可循序进行計算。

本書所列的各种制件，都是平常应用最廣泛的几种。因金屬板制件千形万状，范围極為广大，不可能一一列出，如遇有本書未列的制件，則可按上述的計算方法、步驟，再參照与刊出的外形相似或部份类似的制件，选其計算公式，加以研究引用，自不难推

算了。

对于复杂的制件，在計算上有困难时，可制作制件的立体輪廓綫模型，即可很容易的解决。这种模型可用鉛絲或細竹条等材料扎制。扎制方法極簡易，如圖 1 所示为垂直相交的等徑三通模型。

从扎制的模型中，可显明的看出接合关系。則計算上自可極容易的按照其接合关系进行計算。对称的制件，扎制一半或 1/4 就可以了。

扎制輪廓綫模型是最行之有效的一种方法。尤其是对于初学者，如不明了接合关系及缺乏立体感等困难，皆可迎刃而解。

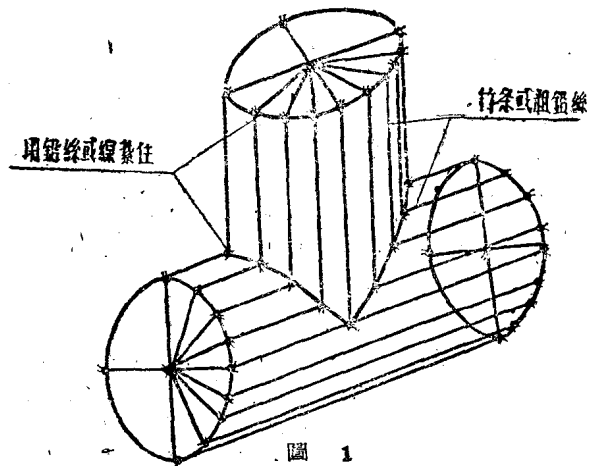


圖 1

三 展开計算的驗證

当展开計算完畢，按計算值繪出展开圖后，最好进行一次校驗。以免实际下料时發生誤差而影响質量，严重的导致返工浪費。

校驗展开計算及其展开圖是否准确，可应用下列几种方法：

1) 进行复算，即从头至尾再驗算一遍。校驗两次計算所得之值，是否相同。

2) 前面已經說过，展开圖法和展开計算是按几何和三角的原理得出的。因此不論在制件視圖的接合綫，或展开圖的曲綫里，都是具有一定几何形状的。例如，垂直相交的等徑三通，在立面圖里的接合綫为直綫；而展开后的曲綫，呈两条圓滑的圓弧。大小头在立面圖为梯形；展开圖呈扇形等。总之一切展开后的各种曲綫，都是有其一定規律的。当計算完畢，繪制展开圖时，如發現展开后的曲綫有不圓滑、异形等情况，这就說明展开計算中求得的数值發生錯誤了。这时，应重新进行計算。

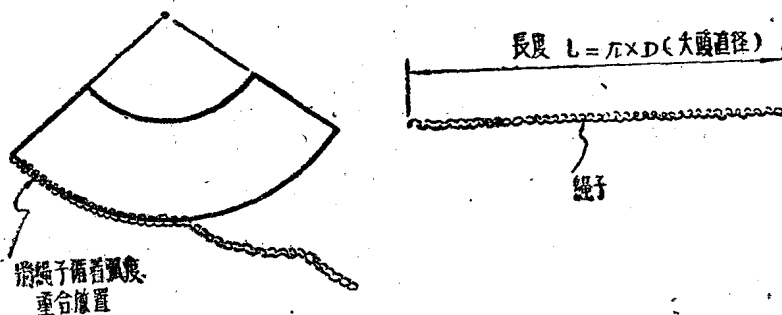


圖 2

3) 在繪制制件的立面圖及側面圖等主要視圖时，应按比例繪制。这样将所求得展开后的谷綫長度，可在視圖中校驗。即所求得的長度，是否与視圖中的長度相符合。

4) 个别制件如弯头等, 可用计算方法来求证展开计算是否准确。这在以后例题中“弯头展开后的计算验证”一节有详细示出, 这里不再作具体说明。

5) 最可靠的一种方法, 就是将计算求得之值, 按比例画在硬纸或薄金属板上(马粪纸、铁皮等)。比例最理想是 1:1, 大的制件可适当缩小。画出展开图后, 裁剪下来, 去掉不必要部份, 卷合搭接, 制成模型。立刻就可观察到制件的准确性。但这种做法, 比较麻烦。只有特殊的复杂制件, 才用这种做模型方法来验证。

6) 许多制件可用局部验证的方法。如圆周展开后的弧长为 $\pi \times D$, 则可用细绳或铅丝截取一条 $\pi \times D$ 的直线长度, 将此线放直在曲线上重合, 验证其两者长度是否相等。图 2 所示为大小头展开后弧长的验证方法。

四 展开计算中应注意的事项

在进行展开计算时, 须注意下列的事项:

1) 当制件已定外形主要尺寸时, 应取其真实尺寸来计算。因钢板等金属制件, 经常会带有法兰盘(如泵类、各种机体的进出口的连接管等), 在这种制件上, 应考虑法兰与焊接件所留的尺寸。如图 3 所示的大小头为例:

设其总长为 H , 法兰盘与大小头所留焊接部份尺寸为 K , 则大小头计算时, 采用的真实长度应为 h 。

$$h = H - 2K$$

其余各种制件, 如装有法兰时, 均可按上式计算。一头带有法兰的制件, 则用下式计算:

$$h = H - K$$

2) 在计算大小头展开时, 要按照不同情况, 来选择计算方法。一般在计算时, 大头直径可略微取得大一些; 小头直径可略微取得小一些。这是因为大小头在安装过程, 如发生接口不大准确等情况时, 则可在两头加工。即小头直径可以切割扩大; 大头直径可以切割缩小。而切割之后, 不影响质量, 仍可保证安装。这主要是弥补施工时所造成的误差。在以后叙述的大小头展开计算例题中, 推荐了三种计算方法。采用时, 可按照制件情况, 选择计算式。如带有法兰盘的, 可按第一种方法计算。一般的可按第二种方法计算。第三种计算方法较为繁杂, 可引作其他制件计算时的参考。

3) 在计算圆形制件展开后的长度时, 若以理论上来说, 以 $\pi \times$ 中心径计算为最准确。

$$D_0(\text{中心径}) = \frac{D_H(\text{外径}) + D_Y(\text{内径})}{2}$$

式: $D_0 = D_H - S$ (管壁厚度)

设长为 L 的钢条一根, 如图 4 所示, 未弯曲前 $AB = CD = EF$ 。若以 R 作半径加以

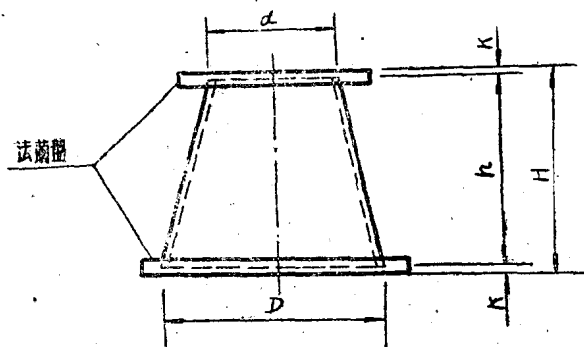


图 3

弯曲，則 AB 受張力而延長；EF 受壓力而縮短。但其中心綫 CD 仍未變動。以上說明：

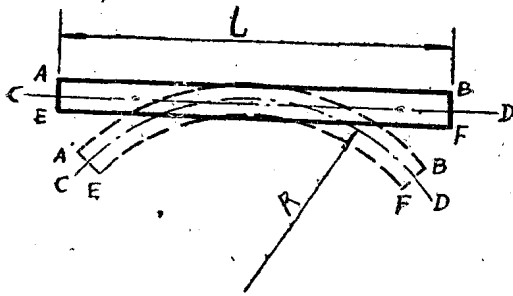


圖 4

焊接長度。但应当指出：某些制件在展开后，为求得在鋼板上經濟的有效利用，不得不在最長長度处作为接合縫时，則还应以后者为准。

5) 在經常作計算，或有較多的制件进行計算时，可将常用的計算值列成表格。这样，不但避免了重复的計算，而且减少計算上差錯。

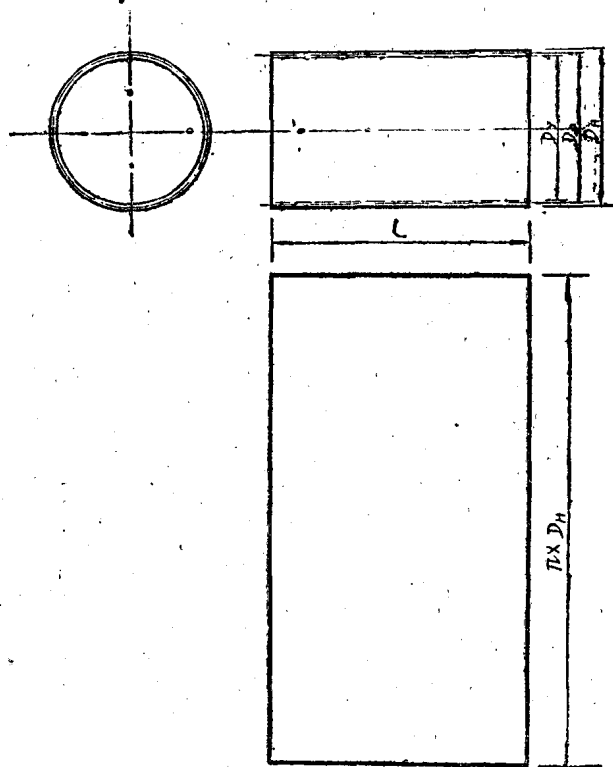
書末附有“弧弦計算表”和“等分圓周之弦長系数表”。計算时可尽量利用这两种計算表。因用該两种表計算不但应用簡易，而且提高計算速度。

本書以后很多例題計算中，有許多可用上述两表計算但却未应用而仍列式計算，这是因为：目的使讀者領会計算方式和过程，以便將計算式引用到其他制件的計算上去。实际計算时，凡能用該两表計算之处，則可尽量利用。

6) 本書所有的例題計算和列表，一律为公制，并以公厘为單位。以后計算中均不再加以說明。

确以中心徑来計算展开后長度为最适宜。但管道等由于未卷合前，在鋼板上切割下来，然后再加工焊接，經上述过程后不免有些誤差。苏联制定了鋼管展开后長度以 $\pi \times D_H$ (外徑) 計算为标准。現在我国亦按这标准在应用。故本書以后所列所有制件，均以 $\pi \times D_H$ 来計算展开后長度。圖 5 所示为圓管的各徑标注及其展开圖。

4) 在選擇制件展开的切綫时，应取最短的距离，作为接合縫，这样可縮短了



展开圖

圖 5

第二章 計 算

1 圓錐体的展开計算

圖 6 所示为正圓錐体。表面展开后呈扇形。

計算式:

$$R = \sqrt{H^2 + r^2}$$

$$\alpha = 360^\circ \frac{r}{R}$$

$$L = 2R \sin \frac{\alpha}{2} \quad (\text{当 } \alpha > 180^\circ \text{ 时, } L = 2R)$$

$$h = R \quad (\text{当 } \alpha > 180^\circ \text{ 时, } h = R + R \sin \frac{\alpha - 180^\circ}{2})$$

例題計算:

設: 已知錐高 $H = 500$, 錐底直徑 $D = 300$,

$$r = \frac{D}{2} = 150.$$

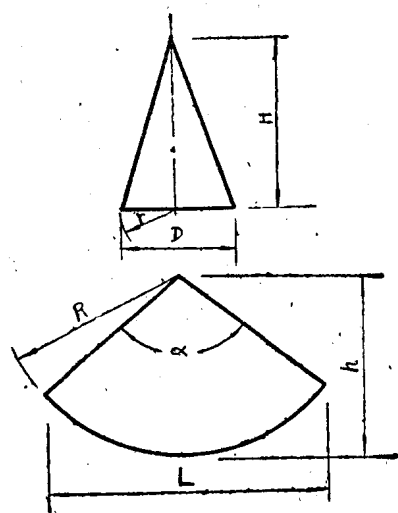
解:

$$R = \sqrt{500^2 + 150^2} = 522$$

$$\alpha = 360^\circ \times \frac{150}{522} = 103.5^\circ$$

$$L = 2 \times 522 \sin \frac{103.5^\circ}{2} = 1044 \times 0.7850 = 820$$

$$h = R = 522.$$



展开圖

圖 6

2 斜切后的圓錐台展开計算

圖 7 所示为正圓錐体被 α 角所切, 成为一个截头的斜台。因此, 除計算每段不同長度 l_n 以外, 其余与例 1 正圓錐体展开計算基本相同。

計算式:

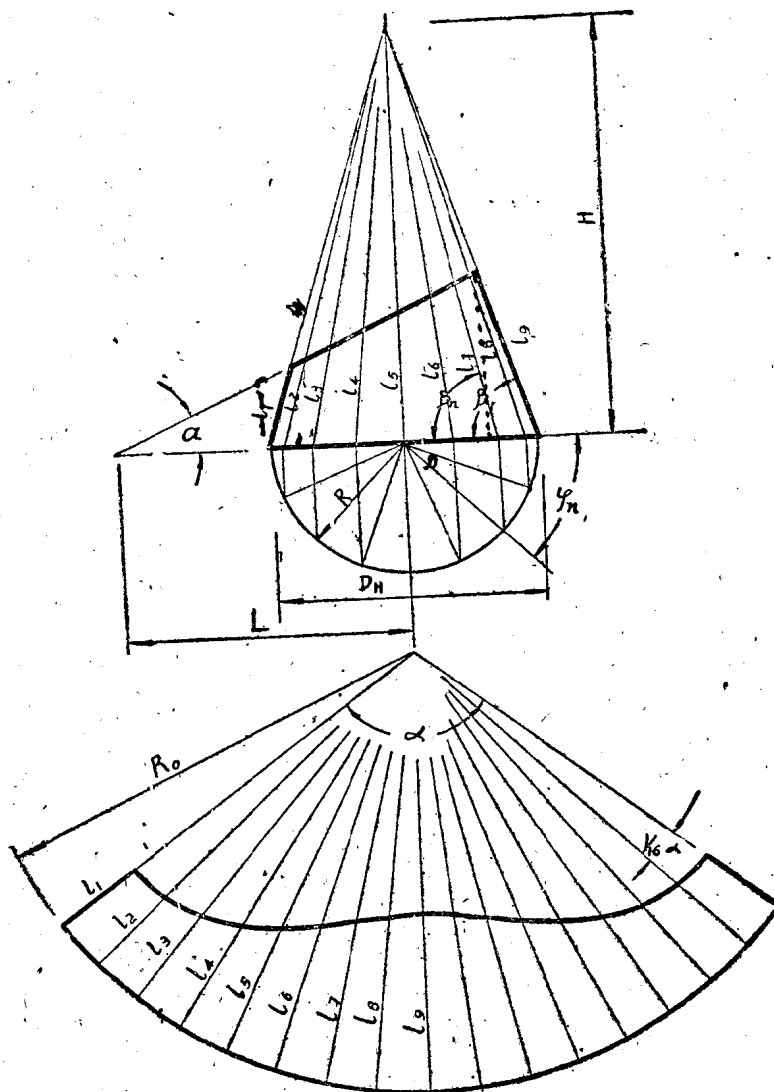
$$\operatorname{tg} \beta_n = \frac{H}{R \cos \varphi_n}$$

$$l_{1 \sim 5} = \frac{\sin^2 \beta_n \sin \alpha (L - R \cos \varphi_n)}{\sin \beta_1 \sin (\beta_n - \alpha)}$$

$$l_{6 \sim 9} = \frac{\sin \beta_n \sin \alpha (L + R \cos \varphi_n)}{\sin \beta_1 \sin (180^\circ - \alpha - \beta_n)}$$

$$R_o = \sqrt{H^2 + R^2}$$

$$\alpha = \frac{360^\circ R}{R_o}$$



展开圖

圖 7

例題計算:

設: 已知錐體高 $H=500$ 。錐底直徑 $D_H=300$, $R=\frac{D_H}{2}=150$ 。斜切角 $\alpha=30^\circ$ 。

錐中心與切角的起點處距離 $l=350$ 。圓周等分數 $n=16$, $\frac{360^\circ}{16}=22^\circ 30'$, 即 $\angle\varphi$ 以此值遞加。

解:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{500}{150 \cos 0^\circ} = 3.333$$

$$\therefore \beta_1 = 73.3^\circ$$

$$\beta_2 = \frac{500}{150 \cos 22^\circ 30'} = 3.608 \quad \therefore \beta_2 = 74.5^\circ$$

$$\beta_3 = \frac{500}{150 \cos 45^\circ} = 4.717 \quad \therefore \beta_3 = 78.0^\circ$$

$$\beta_4 = \frac{500}{150 \cos 67^\circ 30'} = 8.711 \quad \therefore \beta_4 = 83.5^\circ$$

$$\beta_5 = \frac{500}{150 \cos 90^\circ} = \infty \quad \therefore \beta_5 = 90^\circ$$

$$l_1 = \frac{\sin \beta_1 \sin 30^\circ (350 - 150 \cos 0^\circ)}{\sin 73.3^\circ \sin (\beta_1 - 30^\circ)} = 146$$

$$l_2 = \frac{\sin \beta_2 \sin 30^\circ (350 - 150 \cos 22^\circ 30')}{\sin 73.3^\circ \sin (\beta_2 - 30^\circ)} = 152$$

$$l_3 = \frac{\sin \beta_3 \sin 30^\circ (350 - 150 \cos 45^\circ)}{\sin 73.3^\circ \sin (\beta_3 - 30^\circ)} = 167$$

$$l_4 = \frac{\sin \beta_4 \sin 30^\circ (350 - 150 \cos 67^\circ 30')}{\sin 73.3^\circ \sin (\beta_4 - 30^\circ)} = 190$$

$$l_5 = \frac{\sin \beta_5 \sin 30^\circ (350 + 150 \cos 90^\circ)}{\sin 73.3^\circ \sin (\beta_5 - 30^\circ)} = 211$$

$$l_6 = \frac{\sin \beta_4 \sin 30^\circ (350 + 150 \cos 67^\circ 30')}{\sin 73.3^\circ \sin (180^\circ - 30^\circ - \beta_4)} = 230$$

$$l_7 = \frac{\sin \beta_3 \sin 30^\circ (350 + 150 \cos 45^\circ)}{\sin 73.3^\circ \sin (180^\circ - 30^\circ - \beta_3)} = 246$$

$$l_8 = \frac{\sin \beta_2 \sin 30^\circ (350 + 150 \cos 22^\circ 30')}{\sin 73.3^\circ \sin (180^\circ - 30^\circ - \beta_2)} = 255$$

$$l_9 = \frac{\sin \beta_1 \sin 30^\circ (350 + 150 \cos 0^\circ)}{\sin 73.3^\circ \sin (180^\circ - 30^\circ - \beta_1)} = 257$$

$$R_0 = \sqrt{500^2 + 150^2} = 522$$

$$\alpha = \frac{360^\circ \times 152}{522} = 103.5^\circ$$

3 大小头展开计算 (一)

圖 8 所示的大小头 (一般亦称变径节), 可視作是正圓錐被平截。

这种制件是工程上所广泛应用的。下列的计算式, 最适合于装有法兰盘的大小头采用。

計算式:

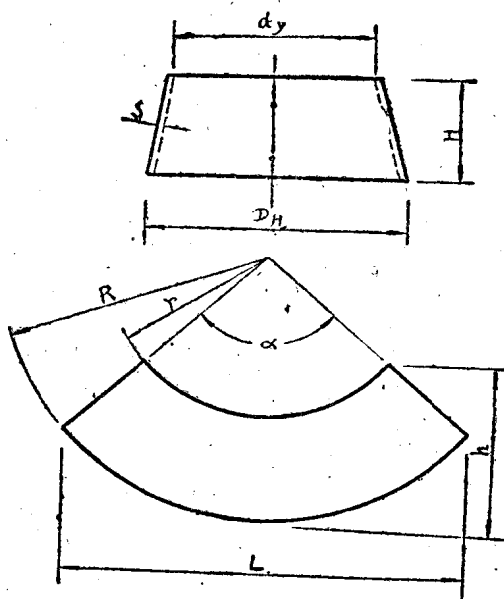
$$R = \sqrt{\left(\frac{D_H}{2}\right)^2 + \frac{D_H^2 H^2}{(D_H - d_y)^2}}$$

$$r = \frac{R d_y}{D_H}$$

$$\alpha = \frac{180^\circ d_y}{H}$$

$$l = 2R \sin \frac{\alpha}{2} \quad (\text{当 } \alpha > 180^\circ \text{ 时, } l = 2R)$$

$$h = R - r \cos \frac{\alpha}{2} \quad (\text{当 } \alpha > 180^\circ \text{ 时, } h = R + R \sin \frac{\alpha - 180^\circ}{2})$$



展开圖

圖 8

例題計算。

設：已知大头直徑 $D_H = 529$ 。壁厚 $S = 7$ 。小头內徑 $d_y = 412$ (外徑 $426 - 2S$)，高度 $H = 200$ 。

解：

$$R = \sqrt{\left(\frac{529}{2}\right)^2 + \frac{529^2 \times 200^2}{(529 - 412)^2}} = 942$$

$$r = \frac{942 \times 412}{529} = 734$$

$$\alpha = \frac{180^\circ \times 412}{734} = 101^\circ$$

$$l = 2 \times 942 \sin \frac{101^\circ}{2} = 1454$$

$$h = 942 - 734 \cos \frac{101^\circ}{2} = 475$$

4 大小头展开計算 (二)

圖 9 所示的大小头，与前例“大小头展开計算 (一)”所不同的仅是計算式上有些变更。

下列是理論上的計算式，可适合于一般制件計算。

計算式：

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2H}{D_H - d_H}$$

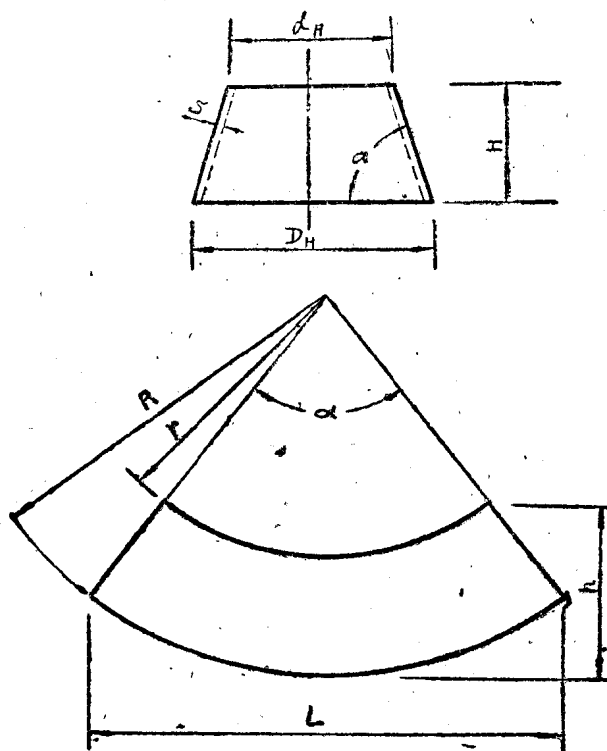
$$R = \frac{D_H}{2 \cos \alpha}$$

$$r = \frac{d_H}{2 \cos \alpha}$$

$$\alpha = 360^\circ \cos \alpha$$

$$l = 2R \sin \frac{\alpha}{2} \text{ (当 } \alpha > 180^\circ \text{ 时, } l = 2R)$$

$$h = R - r \cos \frac{\alpha}{2} \text{ (当 } \alpha > 180^\circ \text{ 时, } h = R + R \sin \frac{\alpha - 180^\circ}{2})$$



展开圖

圖 9

例題計算:

設: 已知大头直径 $D_H = 820$, 小头直径 $d_H = 720$. 高度 $H = 300$.

解:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2 \times 300}{820 - 720} = 6.000$$

$$\therefore \alpha = 80^\circ 30'$$

$$R = \frac{820}{2 \cos \alpha} = 2485$$

$$r = \frac{720}{2 \cos \alpha} = 2182$$

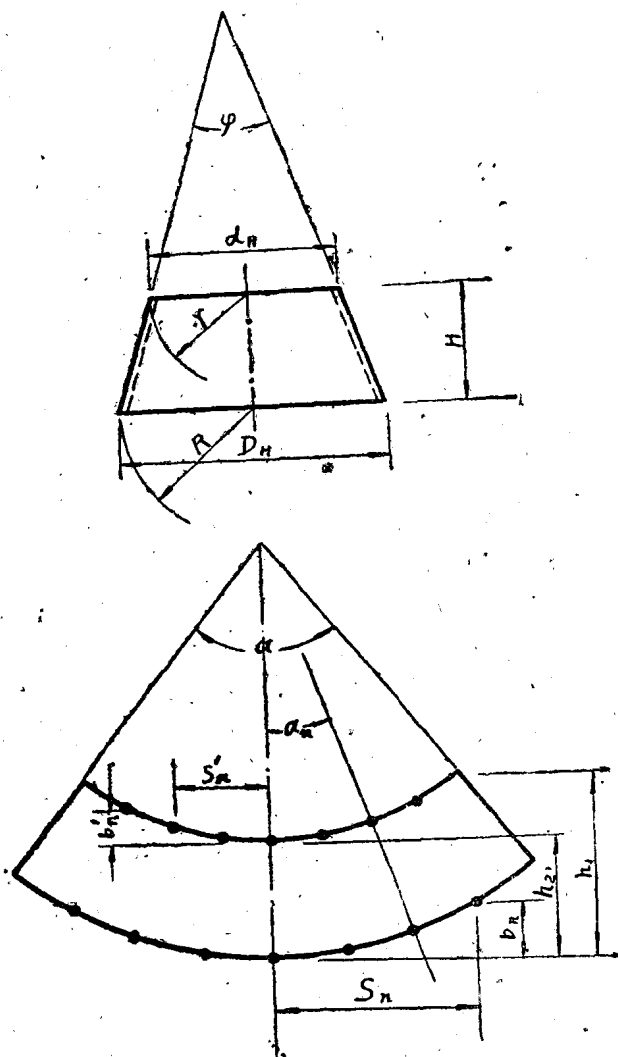
$$\alpha = 360^\circ \times 0.1650 = 59.4^\circ$$

$$l = 2 \times 2485 \times 0.4955 = 2463$$

$$h = 2485 - 0.8686 \times 2182 = 590$$

5 大小头展开计算 (三)

本例的计算方法与前“大小头展开计算 (一)(二)”完全不同。这里采用分級計算。大小头如图 10 所示。



展开图

图 10

計算式:

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{m}{\sqrt{H^2 + m^2}}$$

$$m = \frac{D_H - d_H}{2}$$

$$\alpha = 360^\circ \sin \frac{\varphi}{2}$$

$$b_n = R \frac{1 - \cos \alpha_n}{\sin \frac{\varphi}{2}} \quad \text{及} \quad b'_n = r \frac{1 - \cos \alpha_n}{\sin \frac{\varphi}{2}}$$

$$S_n = R \frac{\sin \alpha_n}{\sin \frac{\varphi}{2}} \quad \text{及} \quad S'_n = r \frac{\sin \alpha_n}{\sin \frac{\varphi}{2}}$$

$$h_2 = \frac{m}{\sin \frac{\varphi}{2}}$$

$$h_1 = h_2 + b'_1$$

例題計算:

設: 已知大头直徑 $D_H = 920$, 小头直徑 $d_H = 720$. 高度 $H = 400$.

$R = \frac{D_H}{2} = 460$, $r = \frac{d_H}{2} = 360$. 采用等分数 $n = 8$.

解:

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{100}{\sqrt{400^2 + 100^2}} = 0.2425$$

$$\alpha = 360^\circ \times 0.2425 = 87.3^\circ$$

則: $a_1 = \frac{\alpha}{8} = 10^\circ 55'$ $\sin a_1 = 0.1894$ $\cos a_1 = 0.9819$

$a_2 = 2a_1 = 21^\circ 50'$ $\sin a_2 = 0.3719$ $\cos a_2 = 0.9283$

$a_3 = 3a_1 = 32^\circ 45'$ $\sin a_3 = 0.5409$ $\cos a_3 = 0.8410$

$a_4 = 4a_1 = 43^\circ 40'$ $\sin a_4 = 0.6905$ $\cos a_4 = 0.7234$

$$b_1 = 460 \frac{1 - \cos a_1}{0.2425} = 34 \quad b'_1 = 360 \frac{1 - \cos a_1}{0.2425} = 27$$

$$b_2 = 460 \frac{1 - \cos a_2}{0.2425} = 136 \quad b'_2 = 360 \frac{1 - \cos a_2}{0.2425} = 106$$

$$b_3 = 460 \frac{1 - \cos a_3}{0.2425} = 301 \quad b'_3 = 360 \frac{1 - \cos a_3}{0.2425} = 236$$

$$b_4 = 460 \frac{1 - \cos a_4}{0.2425} = 525 \quad b'_4 = 360 \frac{1 - \cos a_4}{0.2425} = 411$$

$$S_1 = 460 \frac{\sin a_1}{0.2425} = 359 \quad S'_1 = 360 \frac{\sin a_1}{0.2425} = 281$$

$$S_2 = 460 \frac{\sin a_2}{0.2425} = 705 \quad S'_2 = 360 \frac{\sin a_2}{0.2425} = 552$$

$$S_3 = 460 \frac{\sin a_3}{0.2425} = 1026 \quad S'_3 = 360 \frac{\sin a_3}{0.2425} = 803$$