

冷冲压零件 的展开计算法

葛敬唐、郑明德編著

一 展开計算的重要性

随着祖国社会主义建設蓬勃的發展，各地都涌現出了大批新的工厂。适合于大量生产的冲压工艺，在各厂中获得了广泛的应用。冲压工作中，除了一部分平直板料的下料和冲孔工作外，很多的工艺过程是把板料作成弯曲零件和拉伸零件。这种工作，我們首先遇到的是这些成形件的展开算料問題。

在有的工厂中，零件毛料的尺寸和形狀，通常是由有經驗的工人用試驗方法求出来的，而对于形狀比較复杂的冷 冲压 零件，为了得出正确的結果，往往还要經過很多次反复的試驗。在試驗过程中，將要浪費很多的材料与時間。

展开計算是冲压工作中計算材料尺寸的一种科学方法。为了能达到經濟合理的使用原材料和縮短毛料形狀試驗的时间，我們必須掌握零件展开計算的方法；这本小册子所介紹的各种算料方法，是根据苏联書籍上的一些先进的展开計算公式和数据編写的。

二 弯曲件的展开計算法

1. 弯曲件的种类 用板料制成的弯曲件，根据弯曲部分的不同，一般可以分成两种：第一种叫做圓角弯曲件（圖1），它的弯曲部分成圓角（有一定的半徑）；另一种叫做銳角弯曲件（圖2），它的弯曲部分成銳角（半徑等于零）或很小的圓角（圓角半徑 $r < 0.3t$ ， t = 板料厚度）。有时在同一件弯曲件上有两个以上的弯曲部分，并且同时帶有圓角和銳角，这种弯曲件就形成所

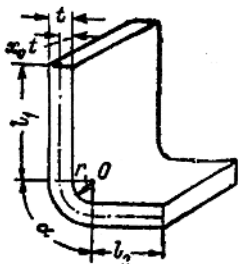


圖1 圓角彎曲件。

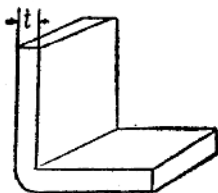


圖2 銳角彎曲件。

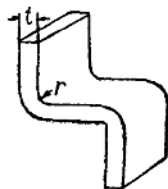


圖3 混合彎曲件。

謂混合彎曲件（圖3）。

2. 展开計算的原理 当板料压弯的时候，靠里面的板料因受压力而縮短，靠外面的板料因受拉力而伸長。这种情况，只要用手来弯曲一塊橡皮，就看得很清楚。在同一塊板料上，既然有伸長和縮短，所以在伸長和縮短中間，一定有一層它的長度跟原来的一样，这一層，我們称它为中性層。假使我們能把中性層的位置找出来，那么，就可以用数学的方法把弯曲件毛料的長度精确地計算出来。

3. 圓角彎曲件的展开計算 假定圓角彎曲件的中性層跟內層的距离是 $x_0 t$ ，弯曲角是 α （圖1），这个弯曲件就可以分解成兩段直綫和一段圓弧。因此，毛料的長度等于这三段的長度的总和：

$$L = l_1 + l_2 + \frac{\pi \alpha}{180} (r + x_0 t), \quad (1)$$

或簡化成

$$L = l_1 + l_2 + 0.01745 \alpha (r + x_0 t). \quad (2)$$

式中 L ——毛料的長度，

l_1, l_2 ——直綫段的長度，

r ——圓角半徑，

t ——板料厚度,

x_0 ——中性層移动系数。

中性層移动系数的数值跟板料的厚度和圓角的半径有关。它的具体数值可由表 1 查得。

表1 中性層移动系数 x_0 的数值

$\frac{r}{t}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1	1.2	1.5	2	3	4	5	5 以上
x_0	0.23	0.29	0.32	0.35	0.37	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.5

从上面的表中可以看出, 板料愈厚, 中性層离中心綫愈近。

假使弯曲角 $\alpha = 90^\circ$, 上面的公式就变成:

$$L = l_1 + l_2 + \frac{\pi}{2} (r + x_0 t) \quad (3)$$

或
$$L = l_1 + l_2 + 1.57 (r + x_0 t) \quad (4)$$

同时中性層的圓弧長度也可由表 2 查得。

例題 1 有一个弯曲件(圖 4)的 $t = 1$ 公厘, $l_1 = 10$ 公厘, $l_2 = 15$ 公厘, $l_3 = 10$ 公厘, $r_1 = 2$ 公厘, $r_2 = 4$ 公厘和两个弯曲角都是 90° , 試求它的展开長度。

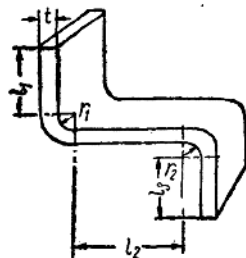


圖 4 混合弯曲件。

解 先求出弯曲件圓角半径和板料厚度的比: $\frac{r_1}{t} = \frac{2}{1} = 2$;
 $\frac{r_2}{t} = \frac{4}{1} = 4$ 。

根据上面所求出的数值, 由表 1 查得: 当 $\frac{r_1}{t} = 2$ 时, $x_1 = 0.45$;
当 $\frac{r_2}{t} = 4$ 时, $x_2 = 0.47$ 。

由于弯曲件的弯曲增加, 公式 (4) 可以写成

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + 1.57 [(r_1 + x_1 t) + (r_2 + x_2 t)]。$$

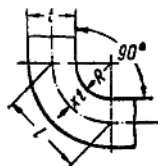


表2 彎曲角是90°

$r \backslash l$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
0.5	1.10	1.95	2.70	3.50	4.30	5.10	5.90	6.65	7.45	8.25
1.0	1.35	2.20	3.05	3.85	4.65	5.45	6.25	7.00	7.80	8.60
1.5	1.60	2.50	3.30	4.15	5.00	5.80	6.60	7.35	8.15	8.95
2.0	1.75	2.75	3.60	4.45	5.30	6.10	6.90	7.70	8.50	9.30
2.5	—	2.95	3.85	4.70	5.55	6.35	7.25	8.00	8.85	9.60
3.0	—	3.15	4.10	4.95	5.80	6.65	7.45	8.25	9.15	9.95
3.5	—	3.20	4.30	5.25	6.10	6.90	7.75	8.55	9.35	10.25
4.0	—	3.50	4.50	5.45	6.30	7.15	8.00	8.85	9.65	10.50
4.5	—	—	4.75	5.70	6.60	7.45	8.30	9.20	9.95	10.80
5.0	—	—	4.85	5.90	6.85	7.70	8.55	9.40	10.30	11.10
6.0	—	—	5.30	6.35	7.20	8.20	9.10	9.95	10.85	11.60
7.0	—	—	—	6.65	7.65	8.55	9.55	10.45	11.25	12.15
8.0	—	—	—	7.05	7.95	9.10	10.00	10.95	11.85	12.65
9.0	—	—	—	—	8.45	9.50	10.45	11.40	12.30	13.20
10.0	—	—	—	—	8.80	9.75	10.85	11.80	12.70	13.65
11.0	—	—	—	—	—	10.25	11.05	12.15	13.30	14.10
12.0	—	—	—	—	—	10.55	11.50	12.70	13.65	14.45
13.0	—	—	—	—	—	—	12.05	12.80	14.00	15.00
14.0	—	—	—	—	—	—	12.30	13.30	14.10	15.35
15.0	—	—	—	—	—	—	—	13.60	14.60	15.85

把已知的各数值代入上式，求出弯曲件的展开长度：

$$L = 10 + 15 + 10 + 1.57[(2 + 0.45 \times 1) + (4 + 0.47 \times 1)]$$

$$= 35 + 1.57[2.45 + 4.47] = 35 + 1.57 \times 6.92 = 45.86 \text{ 公厘}$$

这个例题利用表2查得圆弧的长度，再加上直线的长度，也

时圆弧中性层的長度

6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
9.80	11.40	12.95	14.50	16.10	17.65	19.25	20.80	22.40	23.95
10.20	11.75	13.30	14.90	16.45	18.05	19.60	21.20	22.75	24.30
10.55	12.15	13.70	15.30	16.85	18.45	20.00	21.60	23.15	24.70
10.85	12.45	14.05	15.65	17.20	18.80	20.40	21.95	23.55	25.10
11.20	12.80	14.35	16.00	17.55	19.10	20.75	22.30	23.90	25.50
11.55	13.10	14.75	16.30	17.90	19.50	21.05	22.60	24.55	25.80
11.90	13.45	15.05	16.65	18.25	19.80	21.35	23.00	24.75	26.15
12.20	13.80	15.40	16.95	18.60	20.19	21.75	23.30	24.95	26.50
12.45	14.10	15.75	17.30	18.90	20.45	23.65	24.05	26.80	28.40
12.70	14.45	16.10	17.65	19.25	20.80	22.35	24.25	25.60	27.20
13.30	14.85	16.60	18.30	19.95	21.50	23.10	24.65	26.20	27.90
13.80	15.50	17.10	18.85	20.55	22.10	23.80	25.35	26.95	28.50
14.30	16.00	17.70	19.30	21.00	22.70	24.40	26.10	27.65	29.20
14.95	16.65	18.35	19.90	21.50	23.20	24.90	26.50	28.20	29.80
15.40	17.10	18.85	20.60	22.15	23.70	25.45	27.20	29.25	30.45
16.00	17.75	19.50	21.05	22.80	24.35	25.90	27.50	29.75	30.80
16.40	18.15	19.90	21.70	23.25	24.80	26.60	28.15	29.90	31.45
16.80	18.55	20.35	22.10	23.90	25.45	27.25	28.82	30.40	31.90
17.10	19.15	20.90	22.50	24.30	26.10	27.65	29.20	31.05	32.60
17.65	19.50	21.25	23.10	24.90	26.45	28.25	29.85	31.40	33.20

可以得到同样結果。

由表 2 可查得 $r_1=2$ 的圆弧長度是 3.85; $r_2=4$ 的圆弧長度是 7, 所以展开長度 $L=10+15+10+3.85+7=45.85$ 公厘。

因为上面的公式有許多因素沒有考慮在內, 所以在大量的制

造形狀比較複雜並且長度需要精確的彎曲件時，它的毛料長度經過計算後，還要用試驗方法●加以修正，才能正式應用。

4. 銳角彎曲件的展開計算 這種彎曲件，假使用前面的公式計算得到的展開長度，一定是不正確的。因為在銳角周圍的材料，在壓制後有變薄現象。一般在計算時，採用下列公式：

$$L = l_1 + l_2 + x' l, \quad (5)$$

式中 x' 的數值跟材料的硬度及厚度都有關係，一般是在 $0.4 \sim 0.6$ 的中間，材料愈軟， x' 愈小；材料愈硬， x' 愈大。 x' 的平均值可以採用 0.5 ，所以

$$L = l_1 + l_2 + 0.5 l, \quad (6)$$

在同一个彎曲件上有好多地方彎曲（圖 6），同時每個彎曲部位都是分開壓的時候，那麼，仍然可以用公式 6 來計算。每壓一次加上 $0.5 l$ ，所以圖 6 的展開長度，可以用下列公式求出：

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + l_7 + 6 \times 0.5 l, \quad (7)$$

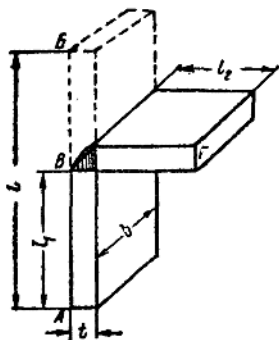


圖 5 銳角彎曲件。

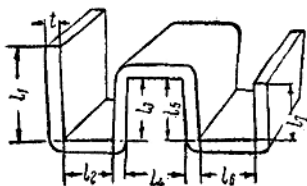


圖 6 求毛料長度的圖形。

- 試驗的方法很簡單，只要根據計算得到的毛料尺寸做一塊樣板，放在彎曲模內壓彎。然後根據圖紙測量彎曲件的尺寸。假使尺寸比圖紙上小，那就是說，毛料的尺寸小了一些，應根據計算的再放大一些。假使比圖紙上大，毛料就太大了，應把它再縮小一些。這樣重複幾次，就可以得到毛料的精確尺寸。不過這種方法是費時間的。

因为圖中有 6 个弯，所以是 $6 \times 0.5t$ ，要是 8 个弯，除了直綫部分增加外，銳角部分也变成 $8 \times 0.5t$ 。

假使圖 6 这种复杂的弯曲件是一次压成的，由于摩擦力的关系，材料就被拉長了，要是再利用公式 7 計算时，得到的長度將会比实际的長一些，因此应该把 x' 的数值修改一下，一般 x' 采用 0.25。假如是塑性很大的材料如鋁等，那末， x' 可以采用 0.125。

例題 2 如圖 6 的弯曲件， $l_1=10$ ， $l_2=15$ ， $l_3=20$ ， $l_4=22$ ， $l_5=25$ ， $l_6=30$ ， $l_7=35$ ， $t=2$ ，当弯曲件分 6 次压成时，試求它的展开長度。

$$\begin{aligned}\text{解 } L &= l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + l_7 + 6 \times 0.5t \\ &= 10 + 15 + 20 + 22 + 30 + 35 + 6 \times 0.5 \times 2 = 163.\end{aligned}$$

当弯曲件一次压成时，它的展开長度

$$\begin{aligned}L &= l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + l_7 + 6 \times 0.25t \\ &= 10 + 15 + 20 + 22 + 30 + 35 + 6 \times 0.25 \times 2 = 160.\end{aligned}$$

从上面的例子中可以知道，兩種材料由于塑性的不同，或压制方法的不同，同一零件的毛料尺寸都是不同的。

三 拉伸件的展开計算法

1. 拉伸件是怎样做出来的 在我們日常生活所用的物品中，有許多是利用冷冲压中的拉伸方法制造出来的，如白鉄灯罩，鋁鍋、搪瓷臉盆以及水碗等等。这些零件都是平板料（毛料）經過拉伸模（压延模）拉制成空心筒形零件的。

圖 7 就是拉伸件形成的簡圖，圖中 1 是冲头（陽模），2 是陰模，3 是待拉伸的毛料；拉伸冲头和陰模分別裝在压床的滑塊和工作台上。当滑塊向下运动的时候，拉伸冲头就把毛料压入陰模

中，滑塊再向下移動的時候，零件就掉落下來，成為空心的圓筒形零件。

2. 拉伸件展開計算原理 假定我們拉伸毛料的直徑是 D ，拉伸後圓筒的直徑是 d ，高是 h ，如圖7所示，根據拉伸件形成的過程只需要把毛料制成平面形狀，也就是說，只要在一塊板料上畫一個直徑是 d 的圓，而後把圓分成許多小等分，再從每個等分上作一長方形，使它的長邊等於 h ，把畫好的毛料剪下來，並把長方形立起來，就成為我們所需要的圓筒形零件。

但是這樣做成的圓筒形零件的邊壁，由於它是由長方形拼湊起來的，因此每個長方形之間不能很好地連接起來，可是用這種方法制成的毛料大小却很合適。

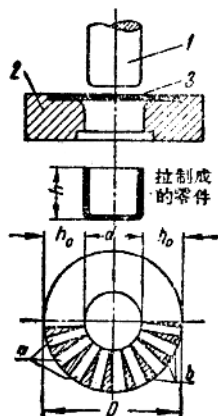


圖7 拉伸件展開圖。

為了消除制成零件邊壁不能很好連接的缺點，我們需要把毛料制成圓形而後用拉伸方法拉制成圓筒形零件。從圖7中可以看出，如果要把毛料制成圓形，那末在每兩個長方形之間多出一個三角形毛料。為了使圓形毛料的大小正合要求，必須把毛料直徑 D 變小。

我們知道，金屬的體積在零件拉伸過程中是不變的，所以在拉伸工作中決定毛料大小的基本原則就是毛料的體積跟制成零件的體積相等。

在拉伸工作中，我們常遇到下面的兩種情況：拉伸後制成零件的厚度跟原材料的厚度相同或不相同。在這兩種情況下，當進行展開計算的時候，我們必須考慮到：在材料厚度不改變的拉伸中，材料的厚度可以不考慮。毛料的大小可以利用毛料的表面積

跟制成零件的表面积相等的方法計算。在材料厚度改变的拉伸中，毛料的大小可以利用毛料体积跟制成零件的体积相等的方法計算。

3. 拉伸件展开計算的方法 在实际工作中，我們常遇到下面几种不同外形的拉伸件，要求用不同的方法計算毛料尺寸：

甲、簡單外形的圓形拉伸件。

乙、复杂外形的圓形拉伸件。

丙、矩形的拉伸件。

丁、不对称和外形复杂的拉伸件。

戊、材料变薄的拉伸件。

現在把上面几种不同外形的拉伸件展开計算方法介紹在下面：

甲、簡單外形的圓形拉伸件 在前面一节中，我們曾提到在材料厚度不变薄的拉伸中，毛料的大小是利用毛料的表面积跟制成零件的表面积相等的方法来計算的。因此，这种簡單外形圓形拉伸件的毛料直徑可用下面公式求得：

假設制成零件的表面积等于 F ，毛料的直徑是 D ，那么毛料的面积为 $\frac{\pi}{4} \times D^2$ 。按照面积相等的原理得出：

$$F = \frac{\pi}{4} \times D^2,$$
$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times F}.$$
(8)

公式 8 可以用在任何簡單外形的拉伸件。如果制成零件是圓柱形时，可用下面的公式計算：

設圓柱形直徑是 d ，高是 h (圖 8)，那末，圓柱形底的表面积是 $\frac{\pi}{4} \times d^2$ 。

圓柱形边壁的表面积是 $\pi \times d \times h$ 。

整个圆柱形拉伸件的表面积等于底部面积加边壁的面积，也就是

$$F = \frac{\pi}{4} \times d^2 + \pi \times d \times h$$

$$= \frac{\pi}{4} (d^2 + 4dh)。$$

如果展开后毛料直径是 D ，把 F 值代入公式 8 得出：

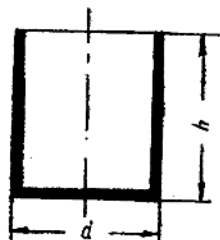


圖 8 圓柱形拉伸件。

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times F} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times \frac{\pi}{4} (d^2 + 4dh)} = \sqrt{d^2 + 4dh}。$$

从上面这个例子可以看出，無論所制成的零件是那一种形狀的，都可以把它分成几个簡單的几何形狀，分別算出每个部分的

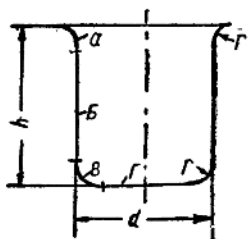


圖 9 圓筒拉伸件。

面积，然后把它們加起来得到整个的表面积，再代入公式 8 中求出毛料的直径。一般簡單几何形狀的拉伸件計算表面积的公式見表 3。

例題 3 如圖 9 的圓筒拉伸件，求它的展开后毛料的直径。圖中 $d = 20$ 公厘； $h = 25$ 公厘； $r = 4$ 公厘。

解 先把圖中的拉伸件分成 a ， b ， $в$ ， r 四个簡單几何形狀，

然后按照表 3 中求面积的公式分別計算出各部分的表面积：

甲、四分之一-球形环（凹面）的表面积

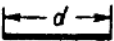
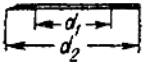
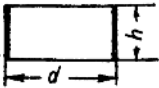
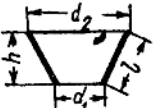
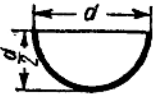
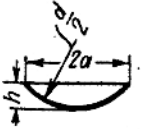
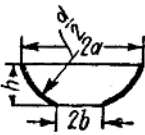
$$F_1 = \frac{\pi}{2} (\pi d r + 2.28 r^2) = \frac{\pi}{2} (\pi \times 20 \times 4 + 2.28 \times 4^2)$$

$$= 452.5 \text{ 平方公厘。}$$

乙、圓柱形的表面积

$$F_2 = \pi d h = \pi \times 20 \times 17 = 1069 \text{ 平方公厘。}$$

表3 簡單幾何形狀表面積計算公式

序 號	表面形狀	簡 圖	表 面 積、 F
1	圓 形		$\frac{\pi d^2}{4}$
2	環 形		$\frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2)$
3	圓 柱 形		$\pi d h$
4	圓 錐 形		$\frac{\pi d l}{2}$
5	截圓錐形		$\frac{\pi l}{2} (d_2 + d_1)$
6	半 球 形		$\frac{\pi d^2}{2}$
7	部分球形		$\pi r h$
8	球形圓弧		$\pi r h$

(續)

序号	表面形狀	簡圖	表面積, F
9	四分之一球形環(凸面)		$\frac{\pi}{4}(2\pi d'r + 8r^2)$
10	四分之一球形環(凹面)		$\frac{\pi}{2}(\pi d'r + 2.28r^2)$ 或 $\frac{\pi}{4}(2\pi d_1r - 8r^2)$
11	凸面球形環的一部分		$\pi(dL + 2rh)$ 式中 $L = \frac{\pi r \alpha}{180} = 0.017 r \alpha$
12	凹面球形環的一部分		$\pi(dL - 2rh)$ 式中 $L = \frac{\pi r \alpha}{180} = 0.017 r \alpha$

丙、四分之一球形環(凸面)的表面積

$$F_3 = \frac{\pi}{4}(2\pi d'r + 8r^2) = \frac{\pi}{4}(2\pi \times 12 \times 4 + 8 \times 4^2)$$

$$= 338 \text{ 平方公厘。}$$

丁、圓形的表面積

$$F_4 = \frac{\pi}{4} \times d'^2 = \frac{\pi}{4} \times 12^2 = 113.1 \text{ 平方公厘。}$$

拉伸件的總表面積等於

$$F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 452.5 + 1069 + 338 + 113.1$$

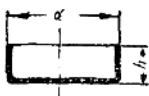
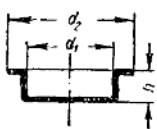
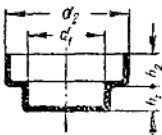
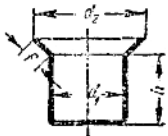
$$= 1972.6 \text{ 平方公厘。}$$

把上面求出的总表面积数值 1972.6 代入公式 (8), 得出毛料的直径为:

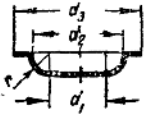
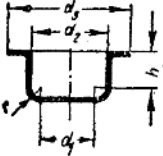
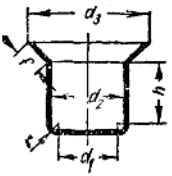
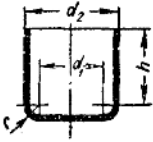
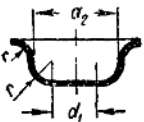
$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times F} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times 1972.6} = 50 \text{ 公厘。}$$

从上面这个举例中可以看出, 用这种分割表面积计算毛料的方法是相当复杂与费事的, 因此在确定毛料的直径的时候, 通常直接应用求毛料直径的公式, 不需要计算零件的表面积。最常用的一些公式列于表 4 中。

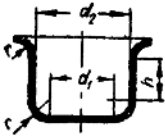
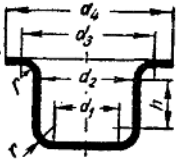
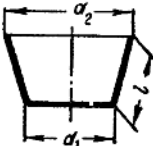
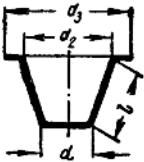
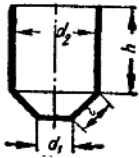
表4 计算毛料直径的公式

序号	零件形状	毛料直径 D
1		$\sqrt{d^2 + 4dh}$
2		$\sqrt{d_2^2 + 4d_1h}$
3		$\sqrt{d_2^2 + 4(d_1h_1 + d_1h_2)}$
4		$\sqrt{d_1^2 + 4d_1h + 2f(d_1 + d_2)}$

(續)

序 号	零 件 形 狀	毛 料 直 徑 D
5		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi r d_1 + 8r^2}$
6		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi r d_1 + 8r^2 + d_3^2 - d_2^2}$
7		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi r d_1 + 8r^2 + 4d_2 h + d_3^2 - d_2^2}$
8		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi r d_1 + 8r^2 + 4d_2 h + 2f(d_2 + d_3)}$
9		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi r d_1 + 8r^2 + 4d_2 h}$
19		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi r (d_1 + d_2) + 4\pi r^2}$

(續)

序 号	零 件 形 狀	毛 料 直 徑 D
11		$\sqrt{d_1^2 + 4d_2h + 2\pi r(d_1 + d_2) + 4\pi r^2}$
12		$\sqrt{d_1^2 + 4d_2h + 2\pi r(d_1 + d_2) + 4\pi r^2 + d_3^2 - d_4^2}$
13		$\sqrt{d_1^2 + 2l(d_1 + d_2)}$
14		$\sqrt{d_1^2 + 2l(d_1 + d_2) + d_3^2 - d_2^2}$
15		$\sqrt{d_1^2 + 2l(d_1 + d_2) + 4d_2h}$