

高等学校教学用书

化工过程及设备课程設計参考資料

第五分册

轉筒式干燥設備的設計

大連工学院化工机械系
化工过程及设备教研室編

人民教育出版社

本书系由大连工学院化工机械系化工过程及设备教研室编写而成。书中共包括五个单元的課程設計資料：蒸发设备的設計，填料吸收塔的設計，泡蓋式精餾塔的設計，壓縮式冷冻机的設計与轉筒式干燥设备的設計。

本书作为化工各专业及化工机械专业学生在进行化工过程及设备之課程設計时的教学参考资料。

本书除以整册形式出版外，同时以分册形式出版五个单元的单行本：第一分册，蒸发设备的設計；第二分册，填料吸收塔的設計；第三分册，泡蓋式精餾塔的設計；第四分册，壓縮式冷冻机的設計；第五分册，轉筒式干燥设备的設計。

化工过程及设备課程設計參考資料

第五分册

轉筒式干燥设备的設計

大连工学院化工机械系

化工过程及设备教研室編

人民教育出版社出版 高等学校教学用书編輯部
北京宣武門內承恩寺7号

(北京市书刊出版业营业許可証出字第2号)

京华印书局印裝 新华书店发行

統一書号 15010·290 开本 850×1168¹/₃₂ 印張 1¹/₁₆ 插頁 2

字數 23,000 印數 0001—3,000 定价(7) 0.22

1960年7月第1版 1960年7月第1次印刷

第五分册目录

第五章 轉筒式干燥設備的設計	217
§ 1. 所需消耗的空氣量和熱量	217
§ 2. 抄板形式和流程的選擇	222
§ 3. 主要尺寸的計算	225
§ 4. 轉筒的結構	229
§ 5. 轉筒干燥器附屬設備的選擇	237
1. 加料與卸料裝置	237
2. 干燥介質的加熱設備	238
3. 旋風分離器的選擇	243
4. 鼓風機的選擇	247
5. 傳動馬達的選擇	248
參考書刊	249

表 5-1. 某些物料的干燥条件及干燥器的干燥强度 A 值表

物料	$w_1\%$	$w_2\%$	$t_1[^\circ\text{C}]$	$t_2[^\circ\text{C}]$	物料块的尺寸 [毫米]	干燥强度 A [公斤/米 ² ·小时]	附注
烟煤	9.0	0.6	800—1000	60	—	32—40	升举式叶片 分配式
洗煤后的煤泥 (65%煤 35%灰)	50		750	120	0—2	120	
瓷质泥煤	50	20	450	100	0—10	45—65	升举式叶片
片岩	38	12	500—600	—	—	70	
粘土	22	5	500—700	80—100	—	50—60	
耐火粘土	9	0.7	800—1000	70—80	—	60	升举和分隔式
沙	4.3—7.7	0.05	840	100	—	80—88	
沙	6.1	0.3	1000	90	—	100	升举和分隔式
沙	15.0	8.0	700	—	—	80	
石灰石	10	1.5	1000	80	0—15	45—65	逆流, 升举式叶片
石灰石	8—10	0.5	800	120	0—20	30—40	
纤维磷石灰	6.0	0.5	600	100	—	45—65	

亚硫酸浓缩物	12	3	500—600	100	200	60—70	} 升举式叶片
氧化浓缩物	30	4	800	100	200	90—100	
硅藻土	40	15	550	120	—	50—60	} 分配式
甜菜渣	84	12	750	100—125	—	185	
甜菜渣	84	12	400	100	—	100	
小麦渣	20	14	150—200	50—80	—	20—30	
玉米渣	68	12	300	100	—	40—50	
锯屑	40	15	350	—	—	30—40	} 升举式叶片, 并流
硫酸铵	3—5	0.4	82	—	—	4.5	
硫酸铵	3—5	0.4	110—120	—	—	8—10	
氯化钙	5—6	1.2	109	—	—	1.0—2.0	
食盐	4—6	0.2	150—200	—	—	7.2	
食盐	5—10	0.1	400—500	—	—	15	} 逆流, 分配式
硝酸铵	3—5	0.2—0.5	100—120	60	—	4—6	
砂糖	3.0	0	100	40	—	8—9	
配矿石	14.0	2.0	120	60	2—5	12	} 升举式叶片

物)的温度范围: 在筒头为 600—800[°C], 在筒尾出口处为 80—100[°C], 轉筒出口的物料温度不超过 70—80[°C]。又如干燥砂糖时, 干燥介质的进口温度应不高于 110[°C], 否则, 砂糖会变成褐色, 一般在 90—110[°C]之間, 干燥介质的出口温度为 60[°C]左右, 轉筒出口的物料温度为 35—42[°C]。在干燥硫酸铵时, 空气的进口温度可高达 110—120[°C], 此时干燥强度的数值可达 8—10[公斤/米³·小时]。

在沒有实验数据时, 可根据[1]推荐的公式, 以計算干燥介质的出口温度 t_2 。

$$N_t = \ln \frac{t_1 - \theta}{t_2 - \theta} \quad (5-1)$$

式中 t_1 ——空气在干燥时的温度(干燥第一阶段), [°C];

θ ——空气的湿球温度, [°C]。

$$N_t = 1.5 - 2。$$

物料的出口温度, 一般介于所接触空气的干湿球温度之間。

在设备中的热损失量, 一般可以按加热蒸汽消耗量的 2—10% 估計, 也可用試算法按傳热公式計算。

对于某些需要高温干燥的物料, 常常需要采用烟道气来干燥, 烟道气的湿含量 $x_{烟}$, 当固体燃料完全燃燒时, 可由下式算出:

$$x_{烟} = \frac{\frac{9H_{燃} + W_{燃}}{100} + \alpha L_0 x_0}{1 + \alpha L_0 - \frac{A_{燃} + 9H_{燃} + W_{燃}}{100}} \quad \text{[公斤/公斤干空气]} \quad (5-2)$$

式中 $H_{燃}, W_{燃}, A_{燃}$ ——固体燃料中氫气、水分及揮发分所含的重量百分数;

L_0 ——每[公斤]燃料理論上所必需的空气量[公斤/公斤]。由下式求得

$$L_0 = \frac{2.67C_{燃} + 8H_{燃} - O_{燃} + S_{燃}}{23} \quad \text{[公斤/公斤干空气]} \quad (5-3)$$

$C_{\text{燃}}, O_{\text{燃}}, S_{\text{燃}}$ ——燃料中所含碳、氧及硫的重量百分数;

x_0 ——空气的湿含量, [公斤/公斤干空气];

α ——空气的过剩系数。

当气体燃料完全燃烧时, 可由下式计算出烟道气的湿含量

$x_{\text{烟}}$:

$$x_{\text{烟}} = \frac{\alpha L_0 x_0 + \sum \frac{0.09y}{12x+y} C_x H_y + W_{\text{燃}}}{1 + \alpha L_0 - \sum \frac{0.09y}{12x+y} C_x H_y} \quad \text{[公斤/公斤干空气]} \quad (5-4)$$

式中 x ——碳氢化合物分子中碳的原子数;

y ——碳氢化合物分子中氢的原子数;

$C_x H_y$ ——气体中碳氢化合物的重量百分数。如果是发生炉煤气, 可按甲烷和乙炔的含量来计算; 对甲烷 CH_4 来讲, $x=1, y=4$; 对乙炔 C_2H_2 来讲, $x=2, y=2$ 。

烟道气的温度可按下列式计算:

$$t_{\text{烟}} = \eta t_{\text{理}} [^{\circ}\text{C}] \quad (5-5)$$

式中 η ——燃烧系数(参考[2]第二章);

$t_{\text{理}}$ ——理论燃烧温度, [$^{\circ}\text{C}$]。

干燥用的烟道气常常要用空气来将它冲淡, 混合气体的参变数可用图 5-1 求出: 根据烟道气的

温度 $t_{\text{烟}}$ 及其湿含量 $x_{\text{烟}}$, 在图上找出 B' 点, 再将 B' 点与空气的参变数 A 点相联接, AB' 线是空气与烟道气以不同比例的混合气体的几何轨迹。若规定混合气体的温度 t_1 , 就很容易找出 B 点, 此点代表所求的混合气体, 且

$$\frac{\text{烟道气量}}{\text{空气量}} = \frac{AB}{BB'}$$

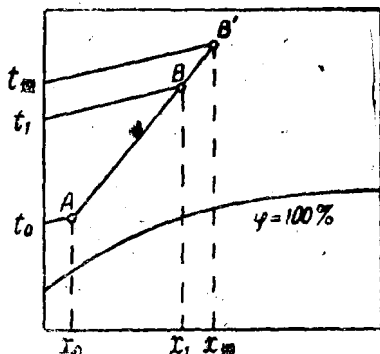


图 5-1. 烟道气与空气混合的过程。

烟道气的 I—x 图见图 5-2, 此图中横坐标为 d [克/公斤干气体], d 的数值等于湿含量 x 的 1000 倍, 即

$$\frac{d}{1000} = x$$

§ 2. 抄板形式和流程的选择

轉筒干燥器用于干燥煤、砂粒、粘土、石灰石和其他物料。这种干燥器的主要部分是有固定傾斜角(最常見)或不定傾斜角的圓筒或圓錐形的轉筒。被干燥的散粒状物料在轉筒內一面移动, 一面混合, 根据被干燥物料性质的不同, 在筒內安裝有各种抄板, 以改善物料的干燥, 轉筒內部結構, 如图 5-3 所示。

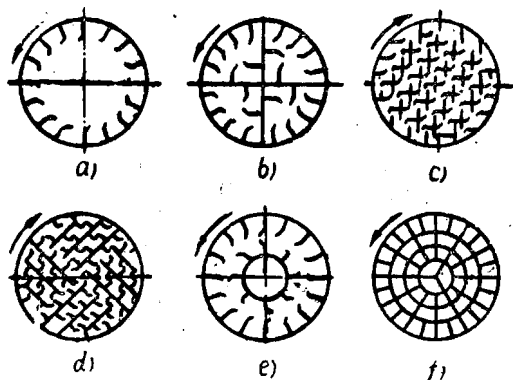


图 5-3. 轉筒干燥器的內部抄板示意图:

a—升舉叶片式; b—扇形式; c 和 d—分配式;

e—联合式; f—格子式。

对于那些易粘結在內壁的大块物料, 可裝設升舉叶片式抄板; 当轉筒旋轉时, 抄板将物料抓住揚升, 然后物料落下, 气体在落下的物料間通过, 此时, 物料与空气的接触面增加。对于重量大的大块物料, 可采用扇形抄板。对于很松散的小块物料, 可采用图 5-3 c 和 d 所示的单独分配式抄板, 这样可以保證物料分散良好, 并沿轉

筒的整个截面均匀分布。对于那些颗粒很细能产生很多灰尘的物料，则采用分隔为若干封闭小格的格子式抄板(图 5-3 f)，在整个操作时间内物料处于堆积状态，而当转筒旋转时由于物料的滚动，形成新的气化表面。

对于一些膏状物料，转筒内部可采用联合装置，即在转筒的第一部分安装升降式抄板或扇形抄板，而在第二部分则采用分配式抄板或格子式抄板。

在大多数情况下，是用炉气进行干燥的，但当物料不允许被炉气弄脏时，则采用以蒸气加热的预热器热到 $100-150[^\circ\text{C}]$ 的空气或完全燃烧后的煤气作为干燥介质。根据工艺要求和干燥过程等条件，以决定干燥介质同被干燥物料逆流抑并流。

转筒不应在正压下运转，以免含有粉尘的空气从不紧密的地方漏入车间，恶化操作条件。但负压太大，也不适宜，因为冷空气将漏入，而影响干燥的进行。一般转筒内应保持不大的负压，如 $0-20$ [毫米水柱]，故在选择流程，决定鼓风机的位置时，应该考虑到这一点。

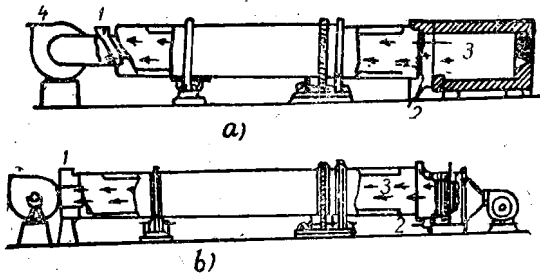


图 5-4. 转筒干燥器简图:

a—逆流操作的直接加热转筒干燥器；b—在外面的蒸汽预热器内加热空气的转筒干燥器：

1—湿物料进口； 2—干物料出口；

3—干燥介质进口； 4—废混合气出口。

图 5-4 a 是把鼓风机放在筒后，以维持筒内负压。图 5-4 b 则

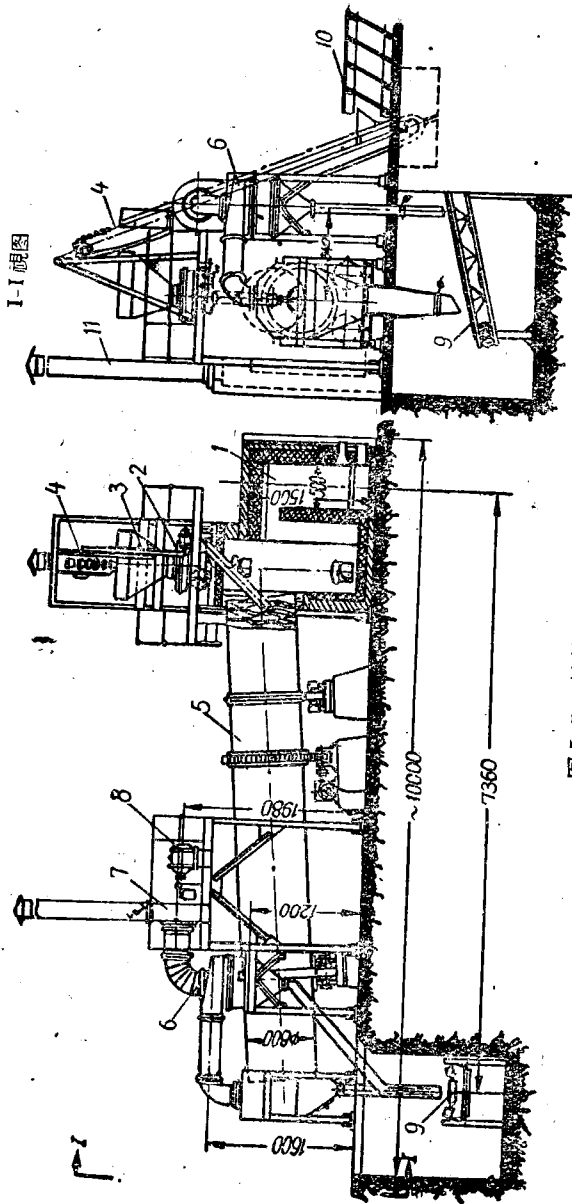


图 5-5. 转筒干燥装置的总图:

- 1—燃烧室; 2—圆盘加料器; 3—料斗; 4—升降机; 5—转筒干燥器;
- 6—旋风分离器; 7—旋风分离器; 8—排风扇; 9—电动机; 10—传动加料器; 11—生火烟筒。

用两个鼓风机,以維持筒內零压。图 5-5 是轉筒干燥裝置的总图,物料由圓盘加料器加入,与炉气并流流入轉筒,干燥好的物料在轉筒另一端連續卸出。干燥后的廢气尚含有大量物料的細顆粒,經過旋风除尘器,回收帶出之尘粒,然后經鼓风机自烟筒中排出。轉筒支持于帶有滾动軸承的托輪上,有时也用滑动軸承代替滾动軸承。轉筒是利用齒輪傳動的,为了防止轉筒向下滑动,常在后面一对托輪附近,装上擋輪。在轉筒的两端,裝有密封裝置,使空气不易吸入或漏出,但又不妨碍轉筒的傳動及傾斜角度的調整。

§ 3. 主要尺寸的計算

設計轉筒时,必須首先計算干燥所需時間,及物料在筒內停留的时间,后者应大于或至少等于前者,方能保證达到所要求的干燥程度。伏罗希洛夫根据干燥强度 A , 认为物料干燥所需时间为

$$\tau = \frac{120\beta\gamma_{平均}(w_1 - w_2)}{A[200 - (w_1 + w_2)]} [\text{分}] \quad (5-6)$$

式中 A ——物料的干燥强度,等于每小时单位体积干燥器內蒸发的水分量, [公斤/米³·时];

$\gamma_{平均}$ ——筒內物料的平均視重量, [公斤/米³]。对于顆粒状及块状的物料,視重量約为真重量之 88%;

w_1 和 w_2 ——物料干燥前及干燥后的湿含量, %;

β ——轉筒內物料的充填系数。如采用图 5-4 a 及 c 型抄板, β 不大于 0.1—0.2。如采用其余型式抄板, β 可提高到 0.15—0.2。

物料在轉筒內停留的时间,对于无抄板的轉筒为

$$\tau = \frac{0.308L(\theta + 24)}{nDi} [\text{分}] \quad (5-7)$$

式中 θ ——物料的自然傾角(約为 35°—45°);

i ——轉筒对水平的傾斜度,以 % 表示;

表 5-2. 某些物料的实际重度及视重度

编号	物料名称	实重度 [吨/米 ³]	视重度 [吨/米 ³]
1	结晶石膏	2.17—2.31	
2	干粘土	1.25—1.52	
3	干皮革	0.86	
4	食盐	2.15—2.17	
5	煤	1.25—1.30	0.72—0.76
6	砂	2.2—2.5	
7	硫酸铵	1.75	
8	水泥	0.82—1.95	1.3—1.9
9	石灰	2.46—2.84	1.6—2.0
10	砂糖	1.61	0.75
11	结晶苏打	1.45	

此公式是在 $\beta = 0.1—0.15$, 转筒倾角 $= 1^{\circ}—6^{\circ}$ 的情况下得出。

对于有抄板的转筒为:

$$\tau = mK \frac{L}{Dn \operatorname{tg} \alpha} \text{ [分]} \quad (5-8)$$

式中 m 和 K 是决定于抄板的型式与物料和气流相互流动方向的系数, 当填充系数 $\beta = 0.1—0.15$ 时, 其数值见表 5-3。

表 5-3. 系数 m 和 K 的值

转筒内抄板型式	m	并流	逆流	附 注
		K	K	
按图 5-3a	0.5	由 0.2	由 0.5	对于重物料, 并流时 $K = 0.7$ 逆流时 $K = 0.5$
按图 5-3b	1.0	到 0.7	到 2.0	
按图 5-3e	0.75	—	—	对于轻物料, 并流时 $K = 0.2$ 逆流时 $K = 2.0$

D —— 转筒直径, [米];

n —— 转筒转速, [转/分];

L —— 转筒长度, [米];

α ——轉筒的傾斜角, [度]。

对于分配式抄板的轉筒, 当抄板为連續的螺旋形, 其高度大于物料层的厚度, 其节距为 t 时, 則停留時間可按公式: $\tau = \frac{L}{tn}$ [分] 計算。

如果抄板作成断續的, 并以节距为 t 的螺旋綫分布, 則抄板之間的間隔愈大, 物料的停留時間也愈长。設 ψ ——抄板具有的角度;

ρ ——抄板間間隔的角度, 令 $\Phi = \frac{\psi}{\psi + \rho}$, 得到

$$\tau = \frac{L}{\Phi tn} \text{ [分]} \quad (5-9)$$

关于轉筒之主要尺寸和参数的決定, 一般可从下列順序来进行:

从物料衡算, 确定每小时需要蒸发的水分量 W/τ ;

由表 5-1 查得干燥强度 $A = \frac{W}{\tau V}$, 因而可求出轉筒所必需的体积 V ;

轉筒的直徑, 主要取决于可允許的气流速度, 气流速度应根据物料顆粒的大小和重度来决定。气流速度愈大, 則顆粒物料攪动也愈剧, 干燥进行得愈好, 但风速之增长, 以物料不被气流带走为限, 对于大小从十分之几到 1 [毫米] 的形状不規則的顆粒, 它在气流中的飞翔速度为

$$w_{\tau} = 4\sqrt{d\gamma} \text{ [米/秒]} \quad (5-10)$$

式中 d ——顆粒的直徑, [毫米];

γ ——物料的重度, [公斤/米³]。

故在設計时所选用的气流速度 w_{τ} , 必須小于顆粒的飞翔速度。实际上由于被处理的物料, 总是由大小不同的顆粒混合, 因此总有一部分細小顆粒被帶出。上式的 d 一般是拿不允許被帶走顆粒的直徑來計算。按生产經驗, 为了避免大量細小顆粒被气流带走, 在轉筒出口处的气速不应当超过 2—3 [米/秒], 对于干燥非常

細的物料，如煤的粉末，出口氣流速度不大於 0.5—1 [米/秒]。

由前面干燥靜力學計算中得知了單位時間內必須消耗的干燥空氣量 $V_{\text{干}}$ ，轉筒的直徑可按下式求得：

$$D = \frac{0.188}{\sqrt{100 - \beta}} \sqrt{\frac{V_{\text{干}}}{w_{\text{干}}}} \quad (5-11)$$

式中 β —— 填充係數；

$V_{\text{干}}$ —— 干燥空氣消耗量，[米³/小時]；

$w_{\text{干}}$ —— 氣體的速度的，[米/秒]。

運算時要注意的是，我們都以轉筒出口處的溫度下空氣的體積和氣速來進行，因為空氣體積及速度隨轉筒的長度是不同的，而物料是否被帶出，只有在出口處考慮才有意義。

轉筒的直徑 D ，按照蘇聯規格有 1200，1400，1600，1800，2000，2400 和 2800 [毫米] 數種，最大到 3200 [毫米]，在特殊情況下可達 4 [米]。

轉筒的長度可以根據直徑 D 和已知的轉筒必需之體積 V 求出：

$$L = V / \frac{\pi}{4} D^2 \quad (5-12)$$

對於安在二個支座上的轉筒長度，可以達到 32—35 [米]，考慮到運轉的可靠和結構上的勻稱性，筒的長度和直徑之比，通常為 4—8，大多數情況下 $L/D \approx 5$ 。

對於已定的抄板型式和氣流方向，我們可以从 (5-7)、(5-8)、(5-9) 三式來確定轉筒的參數 n (轉數) 和 α (傾斜角)。只要保證物料在轉筒內停留時間大於由式 (5-6) 算出的干燥必需時間。可以先行選定一個參數 α 或 n ，則另一個參數就可得出。轉筒的轉速通常為 0.5—8 [轉/分]，或者轉速按下式粗略地估計

$$n = \frac{4}{\sqrt{D}} - \frac{8}{\sqrt{D}} \text{ [轉/分]} \quad (5-13)$$

式中 D —— 轉筒直徑，[米]。

对于直径较大的转筒，取较小的系数。通常转筒的圆周速度限制在1.0[米/秒]内。转筒对水平的倾斜角和长度有关，一般可以到 6° ，对于不易干的物料，可以小到 $\frac{1}{30} - \frac{1}{40}$ 。

上列的一些数据，仅作为设计时的参考，并非一定要在这些范围内。设计时倘若由于物料在筒内的停留时间不可能正确的算出，那末应考虑到停留时间有调节的可能，以符合工艺要求，一般最方便的是改变转数来达到。

§ 4. 转筒的结构

作为化工过程及设备的课程设计，这部分不作详细的强度计算，主要是按化工机械标准选用。

筒身的机械结构型式很多，筒身可以用铆接或焊接把各段联成整体，转筒的材料可采用2号、3号碳素钢或10号、15号优质钢，筒壁厚度不应小于10[毫米]，一般采用12—14[毫米]。如果是干燥有腐蚀性的物料，可以在筒身内衬以3[毫米]合金材料（如铅、青铜、不锈钢等）。

抄板在筒身内的分布，可以是均布在整个身段，也可以在空气出口端留出1—2[米]不放抄板，以免空气带走许多物料颗粒，通常也有在转筒的进料端1—1.5[米]内装上螺旋抄板，以便加入筒内的物料能按筒的横截面作更均匀的分布。

对于升举式的抄板，在筒身断面上布置的数目，往往以4的倍数均匀地分布在筒身上，抄板的高度采用 $0.07 - 0.15D$ 。抄板的固定方法，通常是用螺钉与筒身联结，或点焊在筒身上。

若是干燥很容易粘在筒壁上的物料，可以在干燥转筒外面，安装一些锤子，以一定的旋转角分布，这样当筒迴转时，锤子就轮流打在筒壁上，使粘着的物料震落。

总之，筒身的机械结构要视处理的物料之性质，选用的材料，设备之尺寸等等具体情况来决定。

轉輪放置在两对托輪上，犹如一双支承的受均布载荷的梁，滾筒和托輪，組成“梁”的支点，由材料力学得知，当支点間距，在

$$l = 0.586L \quad (5-14)$$

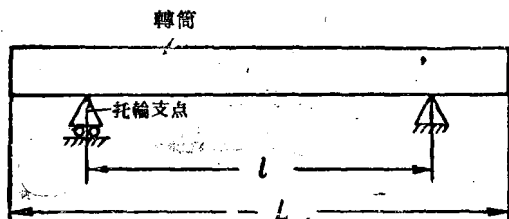


图 5-6. 轉筒支承位置图。

时，筒身上的弯矩最小。

式中 l ——两托輪之間的距离，[米]；

L ——轉筒的长度，[米]。

如果筒身太长，可以采用三对或更多的支座来支承。

轉筒的重量是通过滾圈傳給托輪的，它是个圓环，其断面有矩形的，正方形的和空心箱形的，有时也用鉄軌弯成。

滾圈在筒身上的固定方法，常用的是活套联接，这是考虑到热膨胀的間隙問題。如图 5-7，滾圈搁置在很多个沿筒周分布的鞍座上，鞍座一端有突起部分，相邻二鞍座相对地放置，这样可防止滾圈的軸向串动。

用这种方法安装滾圈，对于很重的轉筒是不适合的，因为經长期轉，轉滾被滾輾而使得滾圈与筒身之間的空隙不断增大，这样轉筒的重量都要由滾筒的下部来支承，以使轉筒的工作条件恶化。

图 5-8 所示结构，即为了改善此种不利的现象。滾圈的固定应如下：鋼圈虽仍是具有热膨胀間隙的活套联接，但却只能与轉筒以同样的角速度同时迴轉。为此，在滾圈的凸边之間嵌入平板，它們是固定在筒身上的。这些板既消除了滾圈与轉筒間的相对轉

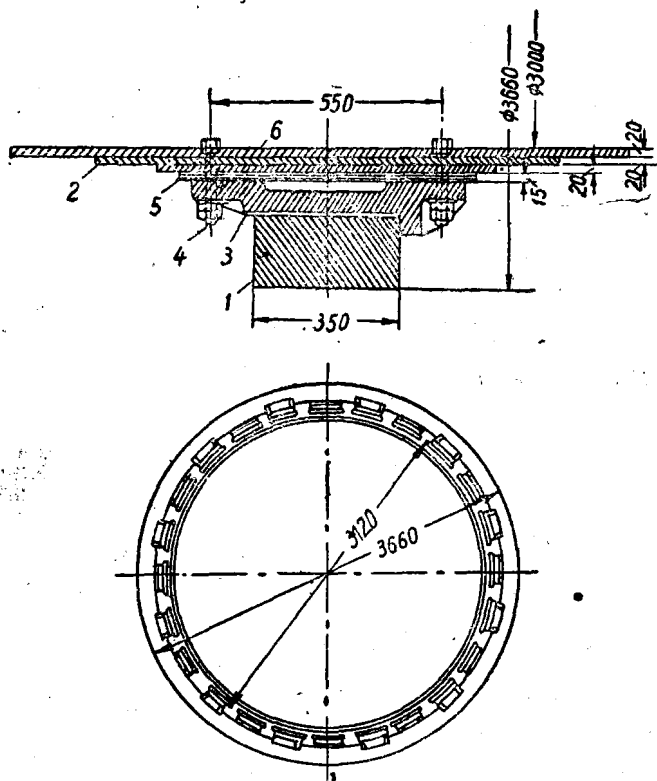


图 5-7. 用鞍座活套联结的滚圈安装图:

1—滚圈; 2—垫板; 3—座板; 4—有螺帽之螺栓; 5—垫板; 6—筒体。

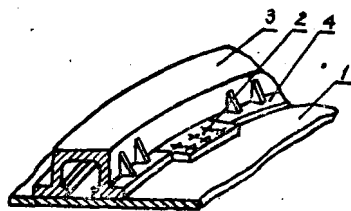


图 5-8. 防止与转筒相对转动的滚圈装置:

1—筒体; 2—薄板; 3—滚圈; 4—滚圈的凸边。

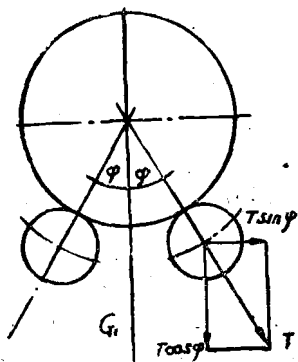


图 5-9. 托轮的布置。