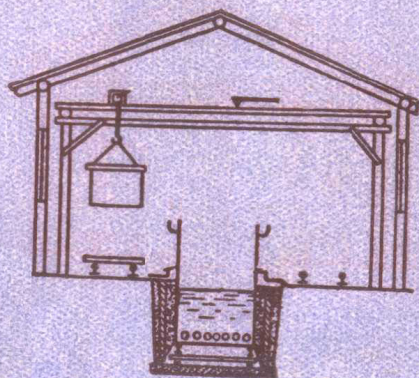


68.831
260



И. В. 索柯洛夫著

木材快速干燥法

中国林业出版社

第一章

木材快速干燥的工艺特点

木材快速干燥工艺以应用高于普通干燥基准的温度为基础。当干燥介质（空气、气体、或液体）的温度高于 100° 时，干燥过程特别迅速。

木材干燥时的主要困难不是材料表面的水分蒸发，而是材料内部水分的蒸发。内部水分向表面移动时困难最大。因此，锯材的干燥延续时间不决定于水分蒸发的强度，而决定于水分从内部向表面移动的速度。

各种工业材种的干燥过程，通常是在木材内外层含水率落差很大而材料表面的含水率低于纤维饱和点的情况下进行的。

材料断面上的吸湿性含水率落差愈大，水分从内层向表面移动的速度也愈大，因而干燥过程也愈强。

材料中水分移动的强度决定于吸湿性含水率落差的大小。而绝对的含水率落差是没有意义的。譬如，材料中心和表面的含水率为 100% 与 20% 以及 70% 与 20% 的两种情况下，其干燥强度应该相同，因为中心部分的吸湿性含水率（纤维饱和点）和表面上的含水率（ 20% ）之间的差异在上述两种情况下是相同的，即约为 $30 - 20 = 10\%$ 。

木材在干燥初期仅表层受到干缩而减小本身的尺寸，含水率高于 30% 的内层尚无变化。因此，在表层上引起了伸张应力，有产生表面裂纹的危险。如果干燥初期在材料内出现很大的残留的塑性变形，那么在干燥后半期将有发

生內裂（蜂窩裂）的危險。

为了加速干燥，固然可以增加被干材料厚度上的含水率落差，但是这种落差不应大于一定的限度，否則就有造成技术缺陷的危險。

这种含水率落差可由干燥基准調节到正常的状态，因为木材干燥时，空气（气体）的温度 t 和相对湿度 φ 与被干木材的平衡含水率 W_p 之間存在着严格的相互关系。这种关系，可用平衡含水率圖表（圖 1）来确定。在同样条件下，木材吸湿时的平衡（稳定的）含水率 W_y 比木材干燥时的平衡含水率小 2.5%。

$$W_y = W_p - 2.5\% \quad (1)$$

为了不使木材表面过于干燥和避免干燥时發生技术缺陷起見，建議用高温高湿的空气对材料进

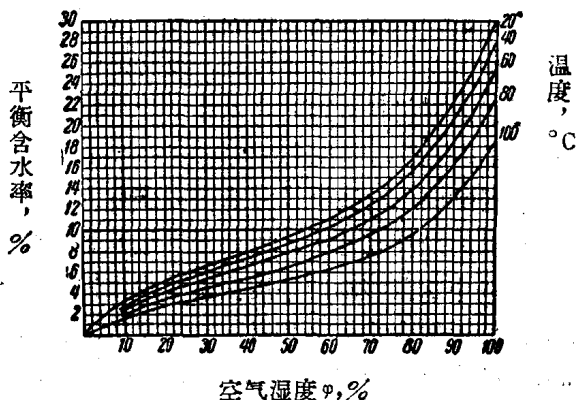


圖1. 木材平衡含水率圖表

行中間加湿处理。这种中間加湿处理可使材料厚度上的含水率落差减小，同时高温可增加材料的塑性，并且由于材料断面上存在有温度差将会促进木材在以后时期內的加速干燥。

在材料断面上含水率落差的影响下，材料內水分移动

的现象称为导水性。而在材料断面上温度差的影响下，材料内水分移动的现象称为热力导水性。在这两种现象中，水分的移动是从含水率高的地方向含水率低的地方和从温度高的层次向温度低的层次进行的。

热力导水性的效果充分被利用在高频率电流（ТВЧ）电场的干燥中及各种规格的薄板单面接触加热干燥中。在环流干燥法中，为了利用热力导水性的效果，某些研究工作者建议采用断续式基准（Осциллирующий Режим）。这种基准的实例已引录在本书第二章第二节中。

大量晒干木材时，为了强化干燥过程可以采用高温和高湿的干燥基准。

横纹导水性系数的平均值

表1

树 种	不同温度时导水性系数的数值 ($\times 10^6$ 平方厘米/秒)			
	0°	60°	80°	100°
山杨	2.4	16	28	45
云杉(边材), 榉木	1.9	14	23	40
松木(边材)	1.6	11	19	33
云杉(熟材)	1.2	9	16	29
松木(心材)	0.9	7	12	22
樟木	0.8	5.8	10	17
山毛榉	0.7	4.8	8.5	14
核桃木	0.55	4.2	6.3	12.5
落叶松、桦木	0.45	3.2	4.9	10.0
橡木	0.35	2.7	4.0	8.0

当温度升高时，水分的粘度即被减低，因而它沿着联结紋孔的細小穿孔及微細毛細管的移动也就比較容易。此外，胶体的毛細管多孔体——木材正是这样的物体——当温度升高时塑性增加，因而材料在干燥时發生开裂的危險就会减少。

为了說明和証实木材导水性随温度升高而增加的情况，在表1中列举出一些最普通的树种横紋导水性系数的平均值（表列数据系根据 П. С. 謝尔戈夫斯基的圖表摘录）。

由表1可見，当升高温度时，例如，由60°升高至100°时，导水性系数約增加两倍。也就是說水分从木材内部向表面的移动比原来快2倍。这正是縮短干燥时间的先决条件。

使用温度高于100°C的木材干燥基准时，水分移动过程的本質在物理性質上發生了根本的变化。在这种情况下，水分發生流动的主要原因不是由于含水率落差的影响，而是由于提高了木材中蒸汽空气混合物的压力。此时，組成整个木材的細胞好像是无数細小的蒸汽鍋爐，其中压力高于大气压。

由于木材內的蒸汽空气混合物有相当大的压力，結果使木材內部的水分（蒸汽及一部分液体）被激烈的挤到表面上来。这种情形就造成了加速干燥的效果。含水率大的木材在高頻率电流電場中干燥时，上述現象将很容易的观察到。此时，通过木材端部有部分液体和蒸汽同时被挤压出来。当木材在高于100°的热液媒中干燥时，也有同样的現象發生。

因此，木材在温度高于100°的爐內干燥时，其干燥时间較之普通基准將縮短若干倍。但是，并非所有树种和任

何規格的成材都可以进行高温干燥而不發生缺陷。厚度40毫米以下的松木和云杉可以在温度低于115—120°的干燥爐中干燥，而不發生裂紋。厚度100毫米以上的松木方材，在高于105—110°的热液媒中干燥时就开始开裂。山毛櫸較能經受高温，在液媒中干燥时，温度可到120°。但是断面不大的樺木毛坯（32×32毫米的方木），在高于110°的温度下进行干燥时，即有內裂發生。至于橡木，它对高温更为敏感。譬如在液媒中干燥时，温度达105°就不能得到令人滿意的結果。任何規格的橡木在高温下干燥时都会發生很多的內裂。只有当其开始含水率在20%以下时才可能把温度提得較高而不發生裂紋。

同一种木材用高温基准干燥时（温度高于100°），其干縮量通常小于在室温条件下（温度15—20°）干燥的干縮量。例如，根据林业技术学院的研究，在110—120°的热液媒中干燥后的松木成材，其干縮量比通常約小1/2。而闊叶树材的差別則沒有这样大。

因此，高温干燥的木材的容重比气干木材的容重略低。根据林业技术学院的研究資料，由同一塊松木或云杉鋸下来的試样，在石蜡油中干燥后的容重比在温度为20°的空气中干燥后的容重平均小7%。

高温干燥的木材，其机械性質指标比气干材略低。

其他条件相同时，不仅温度，而且温度作用于材料的时间也影响材料極限强度的降低。一般認為可以这样肯定：由高温作用所引起的木材强度的降低仅仅發生在开始的2—4天，过此以后，其降低即不显著。

表2中引录了松木和橡木受到長期（大于4天）高温作用后，縱压和动曲極限强度降低的数据。

木材在長期高溫作用下極限強度降低的數值
(根據H.H.丘里茨基的資料)

表2

溫 度 (°C)	極限強度的降低(%)			
	縱 壓		動 曲	
	松 木	橡 木	松 木	橡 木
80	-6	-5	+2	-12
100	-12	-10	0	-28
120	—	—	—	—
140	-24	—	-38	-65

根據C.H.阿布拉門科的数据,在高頻率電流電場中干燥時,在100°的溫度下,經24小時作用後,松木的縱壓極限強度降低5—6%。這與H.H.丘里茨基的結論“經過一天強度降低5—6%,而經過2—4天則降低12%”是完全一致的。

П.Н.胡赫列斯基的研究結果,對於松木與表2中的數據是一致的。而對於橡木的試驗,所得到的強度降低的數值則很小。例如,濕橡木在93°的溫度下干燥七天,其抗壓極限強度僅降低3.3%,動曲極限強度降低4.4%。按丘里茨基的資料,溫度為100°時干燥後抗壓極限強度和動曲極限強度各降低10%和28%。

П.Н.胡赫列斯基同時確定:松木在120°的溫度下處理後,縱壓極限強度降低20%。

列寧格勒林業技術學院的研究還說明了,在液媒中干燥時,木材受高溫(110°—120°)作用後其強度被降低

(見第三章)。在很多生产实践中，强度的这种降低并不重要，因为，木材的实际負荷常較木材的極限强度要小許多倍。但是，在某些情況下（工程建筑、飞机制造等）必須考虑到高温对木材强度的有害影响，因此并建議干燥时采用如下的温度：針叶材不高于 90° ，闊叶材不超过 $70-80^{\circ}$ 。

第 二 章

木材快速爐干法

第一节 快速干燥需要的条件

提高現有的自然循环干燥爐的生产率，可依靠下面两个办法：

第一：改建現有的干燥爐成为橫向快速循环的干燥爐。

第二：应用能保証干燥介質高湿度的高温干燥基准。

与自然循环比較，空气的橫向快速可逆循环，可提高干燥爐的容量近40%（由于材料的堆积不留空隙）。在自然循环干燥爐內，木堆寬度上的充实系数在0.6—0.7范围以內，但是，如为橫向快速循环，此系数可提高到0.95。此外，当其他条件相同时，橫向可逆循环最少可縮短干燥時間20%。

因而，只是在干燥爐內应用快速循环的空气，与自然循环比較，就可能使生产率提高到 $\frac{11}{6}=1.75$ 倍。这已被自然循环干燥爐改建成为强制循环干燥爐的实际例子所証

实。

干燥介质沿堆内材料循环的速度，应不低于1.2米/秒。

根据H.H.格依(乌克兰木材机械加工科学研究所)的数据，当在堆内以 $\omega_{\text{HT}}=2.5$ 米/秒的循环速度干燥厚25毫米的松木锯材时，证明在经济上是有利的。因为它与以0.66米/秒的循环速度进行干燥时相比，所需时间缩短了45%（被干材料及使用的干燥基准相同）。

沿炉宽方向有两个木堆时，必须使干燥介质定期逆向流动。如果沿炉宽方向只有一个不宽的（不大于1.8米）木堆，而且干燥介质的循环速度 $\omega_{\text{HT}} \geq 1.2$ 秒时，干燥介质作定期逆向流动就不必要了。

必须使木堆各部位在干燥终了时得到均匀的干燥，这就是使干燥介质作逆向流动的目的。用来制造优质商品（例如家具）的木材，其终了含水率要求的均匀度，可按照木材加工公差与配合 ГОСТ5387—51、6098—51和6449—53确定。

按照这些国家标准的要求，用于家具毛坯的木材含水率应为8%，允许的变动范围从6%到9%。

根据格依的研究，当木堆总宽度为4米时，炉内材料干燥的不均匀性（用含水率均方偏差 σ 来表示）与介质循环（每八小时倒转一次）速度的相互关系是：当循环速度 ω_{HT} 为1米/秒时， $\sigma = \pm 1.3$ 到1.8%；循环速度 ω_{HT} 为2.5米/秒时， $\sigma = \pm 1\%$ 。

炉内干燥介质的流动，每班倒转一次，也就是说每经八小时倒转一次已足够。因为倒转的次数过多，并无什么好处。这样在周期式干燥炉中，干燥介质沿木堆循环速度等于1.2米/秒以上时，在终了含水率的均匀性方面，即可

保証达到要求的質量。

增加現有干燥爐生产率的另一条件，是在保持爐內干燥介質高湿度的情况下应用高温的干燥基准。

高温干燥基准的应用，意味着已过渡到新的快速的干燥技术。为了保証它的运用，必須为干燥爐的工作創造一定的条件，除了上述的循环速度以外，其中最重要的条件就是：要有需要参数的蒸汽或气体，蒸汽干燥爐的加热器应有足够的加热表面，干燥爐爐壳須密封和很好地絕热，被干材料須細心的堆置，以及对干燥过程应进行遙测等。

需要参数的蒸汽和气体 应当保証不間断的用压力不小于三个大气压的饱和蒸汽供給蒸汽干燥爐。

为了充分确定蒸汽压力对于干燥車間工作起什么影响，我們可以看一看，当蒸汽压力变化时由加热器供給的热量是怎样变化的。

干飽和蒸汽的温度随着蒸汽压力的不同依下列方式变化：

蒸汽压力 (大气压)	1	2	3	4	5
蒸汽温度 (°C)	119.6	132.9	142.9	151.1	158.1

每小时从加热器供給爐內的热量 (Q_{vac})，可按下列公式确定。

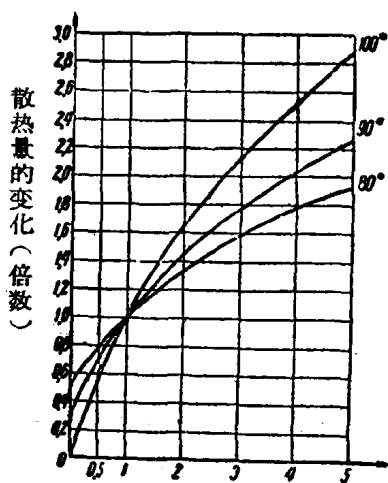
$$Q_{\text{vac}} = F \cdot K (t_n - t_k) \text{ 大卡/时} \quad (2)$$

式中：F——加热器的加热表面 (平方米)；

K——热轉移系数 (大卡/平方米 小时度表示)，主要决定于加热器的构造和通过加热器的空气循环速度。

t_n ——加热器內蒸汽的温度 (度)；

t_k ——干燥爐內空气的温度 (度)。



加热器內的蒸汽压力 (大气压) 1。

圖2. 根据蒸汽压力变化的
加热器散热表

由圖表中可見，爐內的溫度愈高，提高加热器中蒸汽压力的意义愈大。例如，当蒸汽压力由 1 增加到 4 大气压时，加热器内散热量的增加为：当 $t_k = 80^\circ$ 时，为 0.78 倍，而当 $t_k = 100^\circ$ 时，则为 1.55 倍。

如果用低压的蒸汽供給干燥爐，那么干燥爐的生产率亦将相应的降低，由此可明显看出：用于干燥爐的蒸汽，其压力比用于其他方面（例如暖气）的蒸汽应当大大的增高。

木材干燥車間的全部蒸汽冷凝干綫系統，应能在 5 个气压下順利工作，并且应处于总机械師室的特別監督之下，总机械師室需要特別严格的遵守預檢修指示圖表。

在許多企业中感到使蒸汽压力保持在需要程度有困难，他們認為这是由于自己的蒸汽設備能力不足（特别是冬季）所致。但在現場的細心檢查說明：保持蒸汽压力因

干燥爐采用的 F 和 K 值是常数，因此可以說加热器供給爐內的热量，决定于 $t_n - t_k$ 的差度。

圖 2 系根据加热器中的蒸汽压力而变化的加热器散热圖表。

編构圖表时系假定：

当加热器內之蒸汽压力等于 1 大气压，而 t_k 为任意值时，每小时散热量为

難的真實原因，是這些企業沒有採取必要的措施來最大限度的利用蒸汽。

列寧格勒的一個企業，由於整頓了蒸汽管和凝結水管的保溫設備，收回了全部凝結水，使其回到鍋爐房，並在每個干燥爐內裝置了阻汽排水罐，整頓了蒸汽管路上的各種蒸汽閥門，和採用了更熟練的方法來管理干燥爐，結果成功的節約了30%的蒸汽。

阻氣排水罐的正常工具有很重要的意義。不要忘記，它除了可以節約蒸汽以外，還能夠形成迴水，也就增加加熱器內的蒸汽壓力。如無阻氣排水罐，則蒸汽將由加熱器內跑掉。在加熱器始端的蒸汽壓力等於由蒸汽干綫進入的蒸汽壓力，而在加熱器的末端，蒸汽壓力幾乎與大氣壓力差不多。這就意味着如無阻氣排水罐則加熱器的蒸汽壓力，只能平均等於干綫蒸汽壓力的一半。如上所述，這種情況極易降低加熱器的散熱量。

應當記住，木材干燥設備需要的熱能非常大，每干燥一立方米木材需消耗30—50萬大卡的熱能，如果在蒸汽由鍋爐輸入干燥爐時，或在干燥爐平身的工作過程中使熱量損失減少1/100，那麼整個森工系統每年將節約20萬盧布。

進入氣體干燥爐內的氣體溫度，在混合室內易于調整到需要的數值，但當爐內缺乏蒸汽濕潤系統時，在氣體干燥爐的操作上，對濕度進行調整是非常複雜的。

加熱器應有足够的加熱表面 當蒸汽壓力相同時，干燥爐內的溫度愈高，則加熱器的熱效率愈低，同時由於熱損失的增加和干燥過程的加速，干燥爐的熱量消耗將愈大。為了提高加熱器的熱效率，必須首先大大增加加熱器的熱轉移系數，其次是增加加熱器的加熱表面，使其達到

需要的数值。

当干燥爐经过改建并过渡到高温干燥基准时，为了在一般情况下解决关于現有干燥爐加热器的加热表面应增加多少这个问题，特提出以下公式来确定系数 $K_{ybe\lambda}$ 。该系数指現有干燥爐加热器的加热表面必須增加的倍数：

$$K_{ybe\lambda} = \frac{K_1(t_{1.n} - t_{1.k})}{K_2(t_{2.n} - t_{2.k})} \cdot \left[0.8 \frac{M_{2.qac}}{M_{1.qac}} + 0.2 \frac{t_{2.k} - 4}{t_{1.k} - 4} \right]。 \quad (3)$$

式中：

K_1 —爐內空气作自然循环时加热器的热轉移系数，以大卡/平方米、小时、度計；

K_2 —爐內空气作强制循环时加热器的热轉移系数，以大卡/平方米、小时、度計；

$t_{1.n}$ —在現有蒸汽压力下，进入干燥爐加热器中的蒸汽的温度，以度計；

$t_{2.n}$ —改建后的干燥爐中，在預定压力下加热器的蒸汽温度，以度計；

$t_{1.k}$ —現有干燥爐中的空气温度，以度計；

$t_{2.k}$ —改建后的干燥爐中預定的空气温度，以度計；

$M_{1.qac}$ —現有干燥爐中每小时的水分蒸發量；

$M_{2.qac}$ —改建后的干燥爐中每小时的水分蒸發量；

0.8和0.2—常数，表示蒸發水分时的热量消耗和干燥爐的热量損失的相互关系；这里是为了簡化計算手續而采取的近似常数值；

4—当地的年平均温度；由于在此情况下該温度的誤

差不大，可以采取常数。

公式(3)是大概的，但用来迅速和十分可靠的解决关于改建干燥爐的加热器表面应增加多少倍的問題，已足够令人滿意。

当改装加热器(通常是肋形管)时，如果取速度条件为零的空气，通过加热器的空气循环速度 ω_0 将处在2.5到3米/秒的范围内，則 $\frac{K_1}{K_2}$ 之比可采用等于0.5。

在其他条件相等时，每小时的水分蒸發量之比

$\frac{M_2 \cdot q_{ac}}{M_1 \cdot q_{ac}}$ 与干燥爐的容积之比 $\frac{E_2}{E_1}$ 成正比，而与干燥周

期之比 $\frac{Z_1}{Z_2}$ 成反比。

因此：

$$\frac{M_2 \cdot q_{ac}}{M_1 \cdot q_{ac}} = \frac{E_2 \cdot Z_1}{E_1 \cdot Z_2}$$

那么方程式(3)可写成以下更方便和簡單的形式：

$$K_{\text{убел}} = 0.5 \frac{(t_{1.н} - t_{1.к})}{(t_{2.н} - t_{2.к})} \cdot \left[0.8 \frac{E_2 \cdot Z_1}{E_1 \cdot Z_2} + 0.2 \frac{t_{2.к} - 4}{t_{1.к} - 4} \right] \quad (4)$$

圖3系用来迅速測定 $t_n - t_k$ 差度的圖表，此差度决定于給予的蒸汽压力P的值和爐內空气温度 t_k 。

例：現欲将自然循环干燥爐改建成为橫向快速循环干燥爐，如果預定改建后干燥爐的容积增加40%，即 $\frac{E_2}{E_1}$ 等

于1.4; 干燥周期縮短为 $\frac{Z_1}{Z_2}=1.5$; 蒸汽压力不变, 即仍等于3 大气压; 爐内空气的温度从80°提高到105°; 假定加热器的热轉移系数比值 $\frac{K_1}{K_2}$ 采用等于0.5, 則加热器的加热表面应增加多少倍?

解: 根据圖 3, 在P 等于3 大气压和 $t_{1\cdot\kappa}$ 等于80度可以找到:

$$t_{1\cdot n} - t_{1\cdot\kappa} = 63^\circ$$

因为 $t_{2\cdot\kappa}$ 等于105°, 故依圖可确定 $t_{2\cdot n} - t_{2\cdot\kappa}$ 之差等于38°。

进一步按照公式 (4) 可以得出:

$$K_{y\text{вex}} = 0.5 \frac{63}{38} (0.8 \cdot 1.4 \cdot 1.5 + 0.2 \cdot \frac{101}{76}) = 1.62。$$

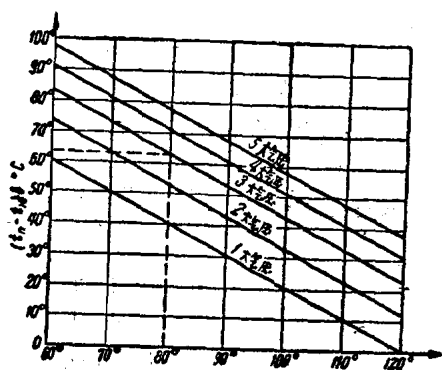
因此, 現有加热器的加热表面必須增加62%。

在上面的典型

例子中, $\frac{E_2}{E_1}$ 和 $\frac{Z_1}{Z_2}$

的数值适合于大多数情况, 因为依靠改建而使干燥爐的生产率增加一倍, 这是十分现实的問題。如果在改建干燥

爐时, 不变更蒸汽压力, 即蒸汽的实际压力較三个大气



干燥爐内空气的温度 (°C)

圖3. 决定于干飽和蒸汽压力的 $t_n - t_\kappa$ 差数变化圖表

压为小时，加热器的加热表面需增加更多的倍数。

例如，当压力 $P_1 = P_2 = 1.5$ 个大气压时， $K_{y_{\text{вex}}}$ 将等于2.14，也就是加热器的加热表面应增加1.14倍。反之，如果在改建干燥爐时相应的增加蒸汽压力，就可以大大减少加热器需要补充的加热表面。例如在前例中，如将压力 P_2 增至5大气压，那么 $K_{y_{\text{вex}}}$ 将等于1.16，即加热器的加热表面仅需增加原来加热表面的16%。

用提高加热器内蒸汽压力达到的效果，也可用在加热管内循环的其他传热介质来达到，例如用加热到 160° 以上的油，此时在管内几乎完全没有剩余压力。民主德国和西德已经有这种设备的使用经验了。

在上述情况下，由于管内没有压力，便有可能大量节约用来制作加热器的金属材料（可用薄壁管），并且在干燥爐的操作上也十分安全。

被干材料应堆积得正确 如果说过去应用普通干燥基准和空气作自然循环时，要求非常仔细的堆积被干材料；那么现在应用高温的干燥基准时，就更需要特别严格的进行正确的堆积。

在高温高湿的介质中进行干燥时，木材的可塑性加大了，容易在上层材料的重量作用下发生变形。

当空气作强制循环时，材料露出的端部，水分蒸发得特别激烈，以致有造成端部开裂的危险。因此，虽然没有必要再重复大家所熟知的锯材堆积规则，但必须强调指出那些基本要求，不执行这些要求，就可能对被干材料的品质发生不良影响。

木堆所有横梁的底面，应当是水平的，横梁的上表面都应在同一个水平面上。

隔条的尺寸和从前的相同（断面 25×40 毫米），但隔条的厚度应严格一致，隔条的上下面都应光。每行隔条上下应严格的堆成一条垂线。隔条之间要求保持的最小距离：25毫米厚的材料为0.6米，厚度在60毫米以上的材料为1.5米。干燥硬阔叶材时，隔条距离应当减少25%。边缘上的隔条应与板端平齐或稍微突出一些。

在堆垛小车上置放毛坯时，端头应密接起来。木堆的上层木板或毛坯，最好用弹簧式松紧装置压紧，以免弯曲。

当空气作横向快速循环时，堆内锯材之间，可以不留空格。

第二节 干燥炉壁体的密封

要使木材干燥过程强化，干燥炉须改建成为强制循环的型式，并应用高温干燥基准工作。

这样就对炉壁的不透空气和蒸汽以及绝热的性能提出了特别严格的要求。如果干燥炉不严密，空气可以无控制的、自由的排出和吸入，难于保持高的空气湿度，那么即使将现有的干燥炉改建成为新的型式，也没有什么意义。干燥炉的密封和绝热良好，是利用快速干燥方法获得成效的基础。

属于炉壁的部分有地板、墙壁、天棚和门。

干燥炉的天棚、墙壁和地板的构造 在工业实践中，对于炉壁构造，提出了一定的要求。

地板用混凝土（厚120毫米）作成。表面为厚20毫米的水泥层，其下两层为60毫米厚的碎石层和200毫米厚的砂砾层。地板作成0.01—0.05的坡度。沿墙有小沟，是为