

冶金生产技术丛书

YEJIN SHENGCHAN JISHU CONGSHU

联合法生产氧化铝

氢氧化铝焙烧

冶金工业出版社

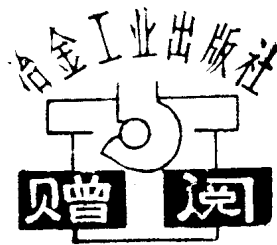
76.012
914

冶金生产技术丛书

联合法生产氧化铝

氢氧化铝焙烧

《联合法生产氧化铝》编写组 编



冶金工业出版社

本书详细阐述了氧化铝生产工艺和操作技术，叙述了生产的基础理论。编写中注意了理论与实践的结合，由浅入深地叙述工艺原理，侧重介绍了生产操作，并结合生产讲解了一些简易计算方法等。本书共分为八个分册：基础知识；原料制备；高压溶出；熟料烧结；熟料溶出与脱硅；分解与蒸发；氢氧化铝焙烧和氧化铝生产分析。

这是其中“氢氧化铝焙烧”分册。参加编写的人员有：宋文元（审阅），陈文康（执笔），全华国、王森生、阎德保等。中南矿冶学院轻冶教研室对全书进行了校阅。

冶金生产技术丛书
联合法生产氧化铝
氢氧化铝焙烧
《联合法生产氧化铝》编写组 编

冶金工业出版社出版
新华书店北京发行所发行
冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 2 3/8 字数 57 千字

1976年7月第一版 1976年7月第一次印刷

印数00,001~5,000册

统一书号：15062·3229 定价（科二）0.22元

毛主席语录

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

人民，只有人民，才是创造世界历史的动力。

一个粮食、一个钢铁，有了这两个东西就什么都好办了。

入门既不难，深造也是办得到的，只要有心，只要善于学习罢了。

出 版 说 明

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，冶金工业战线上的广大职工，贯彻执行**鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义**的总路线，高举“**鞍钢宪法**”的光辉旗帜，坚持独立自主，自力更生，艰苦奋斗，勤俭建国的方针，抓革命，促生产，不断地取得革命与生产的新胜利。

为了适应冶金工业发展的需要，我们组织编写了一套《冶金生产技术丛书》，介绍冶金工业采矿、选矿、有色金属冶炼和加工、炼铁、炼钢、轧钢、金属材料等有关生产技术和基本知识，将分册陆续出版，供冶金工人阅读，并给从事于冶金工业的干部和技术人员参考。

《联合法生产氧化铝》是这套丛书之一。

目 录

第一章 氢氧化铝焙烧原理	1
第一节 概述	1
第二节 氢氧化铝焙烧时的物理化学变化	3
第二章 焙烧窑	7
第一节 焙烧窑工作原理	7
第二节 焙烧窑内的传热与温度分带	8
第三节 焙烧窑的结构	10
第四节 焙烧窑的内衬	14
第三章 焙烧窑的操作	18
第一节 焙烧窑的一般操作	18
第二节 故障及其处理	23
第三节 焙烧窑的调整与维护	26
第四章 焙烧窑的辅助系统	33
第一节 氧化铝的冷却及输送系统	33
第二节 收尘系统	36
第三节 燃料供给系统	41
第四节 氢氧化铝输送系统	44
第五章 燃料与燃烧	47
第一节 燃料燃烧的一般知识	47
第二节 液体燃料燃烧的特点	49
第三节 燃烧装置	52
第四节 焙烧窑热平衡计算	54
第六章 焙烧窑的强化途径和焙烧新工艺	61
第一节 焙烧窑的强化途径	61
第二节 焙烧新工艺	64

第一章 氢氧化铝焙烧原理

第一节 概 述

在氧化铝生产中，将氢氧化铝转变为氧化铝的工艺过程称为焙烧工序。焙烧的任务就是在高温下将氢氧化铝的附着水、结晶水除去，并使其晶型转变，获得适合电解炼铝所要求的氧化铝。

在工业生产中得到的氢氧化铝一般带有10%左右的附着水，所以焙烧过程中每生产一吨氧化铝约蒸发掉0.1吨附着水和脱离0.53吨结晶水，即总共除掉0.63吨左右的水。

氢氧化铝的焙烧是一个强烈的吸热过程，要保证焙烧过程的持续进行，必须源源不断地供给燃料。为避免杂质污染氧化铝，须使用灰分很低的优质燃料。工业生产中多使用液体燃料，其次是气体燃料或二者混合使用。

当采用回转窑焙烧时，焙烧工序是由氢氧化铝输送、氧化铝冷却及输送、窑后排风收尘、燃料供给等系统所组成。

氢氧化铝焙烧的工艺流程如图1所示。

分解与蒸发工序产出的氢氧化铝用固体输送设备送至焙烧工序。一般是先用构造简单的凹型皮带输送机1将氢氧化铝送到窑尾的氢氧化铝贮仓2中，贮仓下设有带调速电机的轻型板式饲料机3，贮仓中的氢氧化铝用板式机饲入窑尾螺旋4，再由螺旋送入窑尾，入窑的氢氧化铝在焙烧窑5内随窑体的转动由窑尾被送至窑前。

氢氧化铝在窑内经过烘干、脱水、晶型转变和再结晶等物理化学变化过程而变成氧化铝产品。

焙烧好的氧化铝经窑头下料口落入冷却机6内冷却，冷却后的氧化铝进入双缸吹灰机7，双缸吹灰机是以压缩空气作动力进

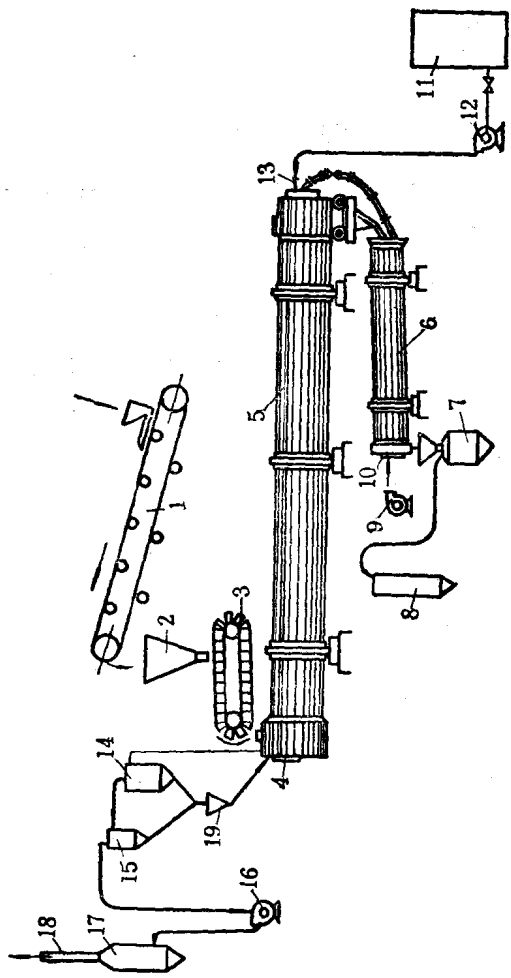


图1 氢氧化铝焙烧工艺流程

1—皮带输送机；2—氧化铝贮仓；3—板式饲料机；4—窑尾螺旋；5—焙烧窑；6—冷却机；7—吹灰机；8—氧化铝贮仓；9—鼓风机；10—管式空气预热器；11—贮油罐；12—油泵；13—油枪；14—一次旋风收尘器；15—二次旋风收尘器；16—排风机；17—电收尘器；18—烟囱；19—集灰斗

行风力输送的一种设备，机内的氧化铝用压缩空气吹送至氧化铝贮仓 8 内。外销的氧化铝可用槽车散装，亦可包装成袋。如果距电解厂房很近，则可直接用吹灰机吹至电解厂房附近的氧化铝贮仓。

贮油罐 11 内的燃料经预热后用泵 12 送至窑头油枪 13 内，采用机械喷油或蒸汽雾化喷油喷入窑内燃烧。

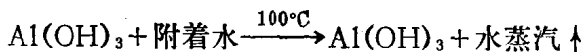
燃烧所需要的氧气来自空气，用鼓风机 9 将冷空气送入冷却机内的管式空气预热器 10 中，预热后的热风送窑头助燃。

为使燃烧过程连续进行，燃烧生成的废气必须及时排出。但废气中带有部分粉尘（俗称窑灰），为了减少氧化铝的损失，提高其回收率，须将废气送入收尘设备以回收这部分氢氧化铝尘粒。窑气先经过两级串联的旋风收尘器组 14 和 15，然后用排风机 16 送电收尘器 17，进一步除尘，净化后的气体从烟囱 18 中排入大气中。收回的窑灰集于灰斗 19 中再返回窑内。

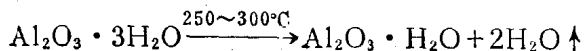
第二节 氢氧化铝焙烧时的物理化学变化

在碱法生产氧化铝过程中获得的氢氧化铝是三水铝石 $[\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 或 $\text{Al}(\text{OH})_3$]。三水铝石的脱水及晶型转变过程均比较复杂，从三水铝石脱水变为 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ，中间经过一系列的变化，即存在一系列的中间相。在这方面研究所得的结论也很不一致。在焙烧时的化学变化一般可以分成以下几个阶段：

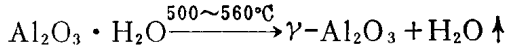
1. 附着水的除去 湿氢氧化铝中所含的附着水在 $100\sim 110^\circ\text{C}$ 可蒸发完毕：



2. 结晶水的脱去 湿氢氧化铝中的附着水除去后，即成为干的氢氧化铝。当温度升到 $250\sim 300^\circ\text{C}$ ，便失去两个结晶水，变成一水软铝石 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)：



温度再升高至 500~560°C 时，一水软铝石又失去其结晶水，变成 γ 型氧化铝：



此时所得出的 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 属于等轴晶系的化合物，就其原子排列看来，稳定性小，吸湿性强。因此它很容易吸收空气中的水分又转变成 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。

吸水的氧化铝用于电解炼铝时，一方面由于这种水分易与氟化盐起反应而增加氟化盐的消耗量，另一方面这种吸水氧化铝在电解的高温下会引起电解质发生炸溅。因此，仅仅得出无水的 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 还不能满足电解炼铝的要求，而且必须提高焙烧温度，使 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 完全变为吸湿性小的氧化铝。

3. 晶型的转变 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 在 950°C 开始晶型的转变，逐渐由 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 转变为 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 。 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 在焙烧过程中随着温度的升高，结构逐渐紧密，颗粒变得圆滑，颗粒间的聚结能力变小，流动性变好。但当焙烧温度升高到 1200°C 以上时，氧化铝颗粒的形态发生急剧的变化，由于再结晶的结果，在氧化铝的颗粒表面出现了小的尖凹不平的突出部分，于是晶粒又变得粗糙，晶粒间的聚结能力又有所增大，而流动性和活性表面则有所减小。在 1200°C 经过足够长的时间， $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 就完全变为 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 。

$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 属于六方晶系，原子排列紧密，原子间距小，密度大，异常稳定，完全不吸水，自然界产出的刚玉即属于此类。

衡量氧化铝产品质量的指标是氧化铝的纯度、灼减、粒度、活性、安息角等。这些指标中有的主要取决于原始氢氧化铝（如纯度），有的取决于焙烧（如灼减和活性），有的则与分解及焙烧均有关系。焙烧后的氧化铝粒度要适中，活性要大。这是因为粒度过粗的氧化铝在电解质中溶解慢，有可能在槽底生成沉淀。而粒度过细则在运输和加入电解槽时飞扬损失大，造成氧化铝的浪费。活性要

大就是在电解质中要易于溶解。灼减就是氧化铝中的化合水，灼减愈小，化合水愈少，吸湿能力亦愈小，因此要求灼减小。氧化铝的安息角要大，安息角大者流动性差，因此在电解槽上能更好的盖住阳极，以减少热损失，并保护阳极免于氧化。在联合法生产氧化铝中安息角一般在 $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 。

氢氧化铝焙烧质量主要是通过分析氧化铝的灼减来判断，即从灼减小大来判断焙烧程度。焙烧温度、焙烧时间和添加矿化剂等都能影响焙烧程度。

据研究，不加矿化剂在 500°C 时焙烧氢氧化铝所得氧化铝中还含有 $5\sim 10\%$ 的 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ ，而在 $600\sim 800^{\circ}\text{C}$ 范围内都变成 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 。在 900°C 焙烧3小时才出现 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的初晶。在 1200°C 下得出的 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 结晶较在 1000°C 以下所得到的更加致密、透明。在 1200°C 经 $2\sim 3$ 小时的焙烧 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 就完全转变为 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ，而在 $1000\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 时焙烧 $2\sim 3$ 小时 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的含量仅为 $10\sim 50\%$ 。 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的形成主要决定于温度，而时间的影响则较小。

添加矿化剂能够降低焙烧温度和缩短焙烧时间。以 AlF_3 、 MgF_2 及 CaF_2 作矿化剂，如添加量为氢氧化铝重量的 5% 时，当添加 AlF_3 时在 700°C 经2小时焙烧后就有 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 出现，这一转变在 1000°C 经2小时就可完成，比不加 AlF_3 时焙烧温度约可降低 200°C 左右。当添加 MgF_2 和 CaF_2 时转变温度各为 800°C 和 900°C 。添加 CaF_2 时在 1100°C 就出现结块现象。添加矿化剂焙烧所得之氧化铝较无矿化剂时其安息角要大，而晶粒也要粗大一些，但却比较松脆，此种氧化铝在电解质中较易溶解。

添加矿化剂所起的作用可能是由于体积较小的 F^- 离子较 O^{2-} 活泼，当它在 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 晶体中移动时，使 Al^{3+} 与 O^{2-} 离子靠近起来，于是促进氧化铝向 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 转变。由于 F^- 离子的作用，原来 30μ 左右的氢氧化铝晶粒经过焙烧后氧化铝晶粒达到 $80\sim 90\mu$ 。

应当指出，焙烧温度对氧化铝的吸湿性影响很大。某些研究结果如图 2 所示。

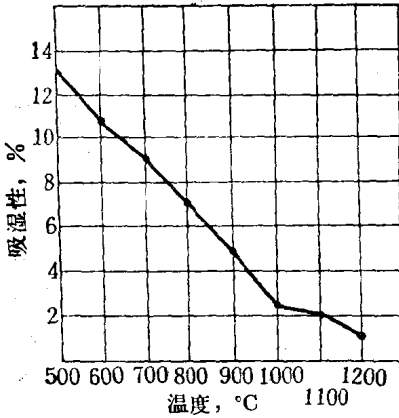


图 2 温度与吸湿性关系

焙烧温度愈低则所得氧化铝的吸湿性愈大。在 500~600°C 焙烧后的氧化铝吸湿性最大，在有水空间放置 3 昼夜后吸湿率为 13~14%，在无水空间则为 10~13%。在 1000~1100°C 焙烧的氧化铝吸湿性相近。在 1000°C 时所得氧化铝吸湿率在有水空间为 3.42~1.69%；无水空间则为 2.32~2.61%，在而在 1100°C 得出的则分别为 2.59~0.91% 和 2.06

~0.45%。在 1200°C 时焙烧的氧化铝则几乎不吸湿。通过上面的比较还可看出，空气湿度对氧化铝的吸湿性亦有影响，因此在氧化铝的贮存和运输过程中要注意防水防潮，并且贮存时间愈长，吸湿率愈高。

第二章 焙 烧 窑

第一节 焙烧窑工作原理

焙烧窑按逆流原理工作，窑体具有2~4%的倾斜度，燃料及助燃空气由较低的窑头端入窑，而物料则从较高的尾端加入，物料在窑内与热气流朝相反的方向运动。当窑体转动时，物料被带到一定高度在自身的重力作用下又沿料面下滑。因此物料在窑内随窑体的转动而不断的升起和落下。由于窑体是倾斜的，所以物料升起再落下后就向窑头方向前进了一定距离。物料就这样从窑尾被送到窑前，并完成焙烧过程的全部物理化学变化。因此，我们也可以把焙烧窑看作是一个筒形斜回转的传送带。物料进行的速度与窑的直径、斜度、转速之间有一定的关系，但与窑的长度无关。

物料在没有挡料台的窑内所停留时间，可用下列经验公式计算：

$$t = \frac{0.308L(\theta + 24)}{D \cdot i \cdot n}$$

式中 t ——物料在窑内停留的时间，分；

θ ——窑内物料自然堆角；

D ——窑内的有效内径，米；

i ——窑的斜度，%；

n ——窑转速，转/分；

L ——窑长，米。

通常，大型焙烧窑都装有挡料台，在装有挡料台的窑内，物料的停留时间按下式计算：

$$t = \frac{0.308(\theta + 24)}{i \cdot n} \left[\frac{Li - 100h}{D} + \frac{50h}{D - h - 0.5H} \times \frac{(Hh)^{1/2} + h}{H} \right]$$

式中 t ——物料在窑内停留的时间，分；
 θ ——窑内物料自然堆角，一般 θ 为 $32^\circ \sim 40^\circ$ ；
 n ——窑的转速，转/分；
 i ——窑的斜度，%；
 D ——窑的有效内径，米；
 L ——窑的长度，米；
 h ——挡料台高度，米；
 H ——窑内圆柱体部分料层高度，米。

第二节 焙烧窑内的传热与温度分带

氢氧化铝转变成氧化铝的过程也是一个热量传递的过程。下面介绍焙烧窑内的传热过程和窑内温度的分布情况。

一、传热方式

两物体由于温度不同所引起的热量传递过程叫做传热。通常，把传热划分为三种基本方式：传导，对流和辐射。

1. 传导传热 这是一种通过物体内部的传热方式。热量直接由物体本身较热部分的分子具有较大动能，它由于振动而与相邻的分子碰撞，并将其能量传给相邻的分子，就这样达到热量的传递。这种传热方式的特点是物体的分子没有位移，固体内部的传热就属于这种方式。

2. 对流传热 对流传热发生在流体流动的时候。这种传热方式可在液体或气体中实现。由于流体与流体之间发生相对运动（受热部分因发生重度的改变自然产生位移或受外力推动而产生位移），或者由于流体的运动而与固体表面相接触而进行热量交换，这些都属于对流传热。

3. 辐射传热 辐射传热是一种借电磁波来传播热量的过程。物体受热后向各个方向放射辐射能，当辐射能投射到另一物体时便部分地被吸收，然后又转变为热能而将其加热。这种传热方式不仅进行能量转移，而且还伴随着能量形式的转化。不同的

传热现象虽然由不同的传热方式所组成，但是传热也有它们的共同性，任何传热过程的热交换量 Q 都与温度差 (t_1-t_2) 、传热面积 F 、传热时间 τ 成正比。一般可用下述传热通式计算：

$$Q = K(t_1 - t_2)F\tau \quad \text{千卡}$$

式中 K 称为传热系数，它代表温度差等于 1°C ，传热面积为 1米^2 时在 1 小时内的传热量。根据传热条件的不同，传热系数 K 可以包括多种传热方式，也可以只代表某一种传热方式。影响系数 K 的因素比较复杂，这里不作详细介绍。

二、焙烧过程的传热

三种传热方式在实际中是很少单独存在的，多数情况下是两种或三种方式同时并存。

当温度在 1000°C 以上时，辐射传热的作用最大。当温度在 $650\sim 1000^\circ\text{C}$ 时，除辐射传热外对流传热亦不可忽视。当温度低于 650°C 时，对流传热作用很大。

在焙烧窑内，高温气流、窑壁和物料三者之间存在着复杂的热交换过程：

1. 高温气流向物料和窑壁辐射热量；
2. 受热后的高温窑壁向物料和气体辐射热量；
3. 高温气体在窑内流动时以对流方式传热给物料表面和窑壁；
4. 与物料接触的窑壁通过传导方式把热量传给物料。

焙烧是一个强烈的吸热过程，需要外部源源不断地供给大量热能。

从焙烧窑内各带的传热能力来讲，高温带辐射传热能力最强。干燥带与脱水带由于气体温度低，热的传递主要以对流和传导方式为主，因而需要有较大的传热面积。从物料所需要的热量来看，窑的脱水带需要的热量最大，所以干燥脱水带是焙烧窑的薄弱环节。在焙烧窑窑尾安装热交换器后，焙烧窑的产能大大提高，就证实了这一客观规律。干燥脱水带的热交换强化以后，又

使烧成带能力得到进一步的发挥。在长75米窑上实测数据列于表1。

75米窑内物料温度的变化

表1

离窑尾距离, 米	2.2	13.2	20	24	27.8	34	48	57
物料温度, °C	100	290	340	—	—	470~510	920~1000	1000

三、焙烧窑内温度的分带

根据物料在窑内的主要变化情况, 通常将焙烧窑划分为四个带。在各带内物料的主要变化、气流温度和物料温度大体如下:

1. 干燥带 这是窑尾端的低温部分, 此带气流温度为300~600°C, 物料温度为40~200°C。氢氧化铝所带的附着水在此区域内蒸发。

2. 脱水带 在这一区域内气流温度为600~1050°C, 物料温度为200~950°C。氢氧化铝的结晶水在此带脱除, 并转变为 γ - Al_2O_3 。

3. 烧成带 这是气流温度和物料温度最高的区域。气流温度为1050~1400°C, 物料温度为950~1250°C。物料在这一带完成焙烧过程。这一带温度的高低及物料在此带停留时间的长短对产品质量影响很大, 控制好烧成带温度是焙烧过程的关键。

4. 冷却带 焙烧好的氧化铝在这一带冷至950°C左右, 然后经下料口落入冷却机内继续冷却。

焙烧窑各带的长度不是一个固定不变的数值, 而是随窑体规格的不同及操作条件的变化而变化的。

第三节 焙烧窑的结构

焙烧窑是焙烧工序的主体设备。

氢氧化铝焙烧窑的结构跟熟料烧结窑和水泥工业中用的回转

窑的结构基本相同。焙烧窑通常由下列部分组成：窑头罩，窑体，窑尾罩，传动系统，托轮，挡轮，窑衬，窑内热交换器等。

一、窑体

焙烧窑窑体是用厚度为20~25毫米的钢板，先经过卷板后焊成一节一节的圆筒，吊装时再采用焊接或铆接的方法将若干节圆筒连成一个长圆筒。

窑体有直筒形的，也有一端直径扩大或者两端直径同时扩大的。

在窑体的外部装有滚圈（亦称领圈），窑体借滚圈的支撑而回转于托轮之上。由于窑体很长而且重量很大，因此一般安装2~5个滚圈。在安装滚圈及大牙轮的部位还增加加固板。

安装滚圈的地方窑体承受的切应力较大，所以窑体各节的接头处不应置于滚圈和大牙轮的下面，同时也不应将滚圈置于高温带。

滚圈一般用硬质铸钢制造，其断面有矩形的与箱形的两种形式，矩形断面的滚圈制造较为简单，所以采用得较多。矩形断面的滚圈与窑体的联接如图3所示。

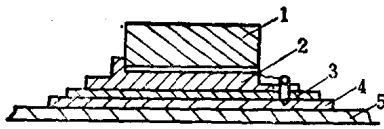


图3 滚圈与窑体的联接

1—滚圈；2—铆在窑体上的一端带有凸出挡头的衬板；3—垫板；

4—加固板；5—窑体

从图3可看出，这样安装的滚圈可在衬板之间滑动。应该注意，每个滚圈下面的垫板及衬板的厚度必须完全一致。

为了加速物料在窑内的移动，因此窑体的安装具有一定倾斜度，其斜度一般为窑长的2~4%。