

漆包线生产

漆包线简介

用以制造电工产品中的线圈或绕组的绝缘电线。又称绕组线。电磁线必须满足多种使用和制造工艺上的要求。前者包括其形状、规格、能短时和长期在高温下工作，以及承受某些场合中的强烈振动和高速下的离心力，高电压下的耐受电晕和击穿，特殊气氛下的耐化学腐蚀等；后者包括绕制和嵌线时经受拉伸、弯曲和磨损的要求，以及浸渍和烘干过程中的溶胀、侵蚀作用等。

电磁线可以按其基本组成、导电线心和电绝缘层分类。通常根据电绝缘层所用的绝缘材料和制造方式分为漆包线、绕包线、漆包绕包线和无机绝缘线。

漆包线 在导体外涂以相应的漆溶液，再经溶剂挥发和漆膜固化、冷却而制成。漆包线按其所用的绝缘漆可以分成聚酯漆包线、聚酯亚胺漆包线、聚酰胺亚胺漆包线、聚酰亚胺漆包线，以及油性漆、缩醛漆、聚氨酯漆包线等。有时也按其用途的特殊性分类，如自粘性漆包线、耐冷冻剂漆包线等。

最早的漆包线是油性漆包线，由桐油等制成。其漆膜耐磨性差，不能直接用于制造电机线圈和绕组，使用时需加棉纱包绕层。后来聚乙烯醇缩甲醛漆包线问世，其机械性能大为提高，可以直接用于电机绕组，而称为高强度漆包线。

随着弱电技术的发展又出现了具有自粘性漆包线，可以不用浸渍、烘焙而获得整体性较好的线圈。但其机械强度较差，仅能有微特电机、小电机中使用。此外，为了避免焊接时先行去除漆膜的麻烦，发展了直焊性漆包线，其涂膜能在高温搪锡槽中自行脱落而使铜线容易焊接。

由于漆包线的应用日益广泛，要求日趋严格，还发展了复合型漆包线。其内、外层漆膜由不同的高分子材料组成，例如聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺漆包线。

绕包线 绕组线中的一个重要品种。早期用棉纱和丝，称为纱包线和丝包线，曾用于电机、电器中。由于绝缘厚度大，耐热性低，多数已被漆包线所代替。目前仅用作高频绕组线。在大、中型规格的绕组线中，当耐热等级较高而机械强度较大时，也采用玻璃丝包线，而在制造时配以适当的胶粘漆。

在绕包线中纸包线仍占有相当地位，主要用于油浸变压器中。这时形成的油纸绝缘具有优异的介电性能，且价格低廉，寿命长。

近年来发展比较迅速的是薄膜绕包线，主要有聚酯薄膜和聚酰亚胺薄膜绕包线。

无机绝缘线 当耐热等级要求超出有机材料的限度时，通常采用无机绝缘漆涂敷。现有的无机绝缘线可进一步分为玻璃膜线、氧化膜线和陶瓷线等。

漆包工艺

漆包工艺流程：放线→退火→涂漆→烘焙→冷却→收线

一、放线

在一台正常运行的漆包机上，操作人员的精力和体力大部分消耗在放线部分，调换放线盘使操作者付出很大的劳动力，换线时接头易产生质量问题及发生运行故障。有效的方法是大容量放线。

放线的关键是控制张力，张力大时不仅拉细导体，使导线表面失去光亮，还影响漆包线的多项性能。从外表上看，被拉细的导线，涂制出的漆包线光泽较差；从性能来看，漆包线伸长率、回弹性、柔韧性、热冲击都受到影响。放线张力太小，线容易跳动造成并线、线碰炉口。放线时最怕半圈张力大，半圈张力小，这样不仅使导线松散、扎断，一段一段被拉细，而且还会引起烘炉内线的大跳动，造成并线、碰线故障。放线张力要均匀，适当。

在退火炉前安装助力轮对张力的控制有很大帮助。软铜线在室温下其最大不延伸张力约为 15kg/mm^2 ，在 400°C 下最大不延伸张力约为 7kg/mm^2 ；在 460°C 下最大不延伸张力为 4kg/mm^2 ；在 500°C 下最大不延伸张力为 2kg/mm^2 。在正常的漆包线涂制过程中，漆包线的张力要明显小于不延伸张力，要求控制在 50% 左右，放线张力控制在不延伸张力的 20% 左右。

大规格大容量线轴一般采用径向旋转式放线器；中等规格导线一般采用越端式或毛刷式放线器；微细规格导线一般采用毛刷式或双锥套式放线器。

不论采用哪种放线方式，都对裸铜线线轴的结构和质量有严格要求

----表面应光洁以保证线材不被擦伤；

----轴芯两侧及侧板内外有 2—4mm 半径的 r 角以保证放线过程中能均衡放出；

----线轴加工完后，必须作动、静平衡试验；

----毛刷放线器要求轴芯直径：侧板直径小于 1: 1.7；越端放线要求小于 1: 1.9，否则放线至轴芯时会出现断线现象。

二、退火

退火的目的是使导体由于模具拉伸过程中因晶格变化而变硬的导线经过一定的温度加热，使分子晶格重排后恢复工艺要求的柔软度，同时除去拉伸过程中导体表面残留的润滑剂、油污等，使导线易于涂漆，保证漆包线的质量。最重要的是保证漆包线在作为绕组的使用过程中有适宜的柔软度和伸长率，同时有助于提高导电率。

导体变形程度越大，伸长率越低，抗拉强度越高。

铜线的退火，目前常用的有三种方式：成盘退火；拉丝机上连续退火；漆包机上连续退火。前二种方式都不能满足漆包工艺的要求。成盘退火只能使铜线软化，而去油不彻底，由于退火后导线软了，放线时增加了弯曲。在拉丝机上连续退火，虽然能够达到铜线的软化和去除表面油脂，但退火后柔软的铜线绕到线盘上形成了很多弯曲。在漆包机上涂漆前进行连续退火不但能够达到软化去油的目的，而且经过退火的导线很直，直接进入涂漆装置，能够涂上均匀的漆膜。

退火炉的温度要根据退火炉的长度、铜线规格、行线速度来决定。在同样的温度和速度下，退火炉越长，导体晶格的恢复越充分。在退火温度较低时，炉温越高，伸长率越好，但退火温度很高时会出现相反的现象，温度越高，伸长率越小，并且导线表面失去光泽，甚至容易脆断。

退火炉温太高，不仅影响炉的使用寿命，而且停车整理、断线穿线时易烧断线。要求退火炉的最高温度控制在 500°C 左右。对炉子采用二段控温形式，在静态和动态温度近似的位置选择控温点是有效的。

铜在高温下容易氧化，氧化铜是很酥松的，漆膜不能牢固的附着在铜导线上，氧化铜对漆膜的老化有催化作用，对漆包线柔韧性、热冲击、热老化都有不良影响。要铜导线不氧化，就要使在高温下的铜导线不和空气中的氧接触，因此要有保护气体。大部分的退火炉一头水封，另一头开着。退火炉水槽中的水有三个作用：封闭炉口，冷却导线，发生蒸汽做保护气体。在刚开车时由于退火管内的水蒸汽很少，不能及时排除空气，可以往退火管内灌少量的酒精水溶液(1: 1)。(切注意不可灌纯酒精及控制使用量)

退火水槽中的水质非常重要。水中的杂质会使导线不清洁影响涂漆，无法形成光滑的漆膜。使用中水的含氯量需小于 5mg/l ，电导率小于 $50\mu\Omega/\text{cm}$ 。氯离子附在铜导线的表面经过一段时间后会腐蚀铜线和漆膜，在漆包线漆膜内的导线表面产生黑点。为保证质量必须定期清洗水槽。

水槽中的水温也有要求。水温高有利于发生水蒸汽对退火中的铜线进行保护，离开水箱的导线不易带水，但对导线的冷却不利。水温低虽然起到冷却作用，但导线上带有大量的水，对涂漆不利。通常，粗线水温低一些，细线水温高一些。当铜线在离开水面时有使水汽化飞溅的声音时，说明水温太高。一般粗线控制在 $50\sim 60^\circ\text{C}$ ，中线控制在 $60\sim 70^\circ\text{C}$ ，细线控制在 $70\sim 80^\circ\text{C}$ 。细线因速度快，带水问题严重，宜采用热风烘干。

三、涂漆

涂漆是将漆包线漆涂复在金属导体上形成有一定厚度的均匀漆层的过程。这关系到液体的几个物理现象和涂漆方法。

1. 物理现象

1) 粘度 当液体发生流动时，分子之间相互碰撞使一层分子带着另一层分子运动，由于相互的作用力又使后一层分子阻碍前一层分子的运动，由此表现出活动的沾滞性，这就叫做粘度。不同的涂漆方法，不同的导线规格对漆的粘度要求不同。粘度的大小主要关系到树脂分子量的大小，树脂分子量大，漆的粘度大，用于涂制粗线，因为分子量大得到的漆膜的机械性能较好。小粘度的用于涂制细线，树脂分子量小容易涂均匀，漆膜较光滑。

2) 表面张力 液体内部的分子周围都存在着分子，这些分子之间的引力能达到暂时平衡，而处在液体表面的一层

分子，一方面受到液体分子的引力，其作用力指向液体的深处，另一方面受到气体分子的引力，但气体分子比液体分子少，距离又远，因此液体表面层的分子受液体内部的引力大，使液体的表面尽可能的收缩，形成圆珠形。在相同体积的几何形状中球形的表面积最小，如果液体不受其它力的作用，在表面张力作用下总是球形。

根据漆液表面的表面张力作用，不均匀的表面其各处的曲率不同，各点的正压力不平衡，在进入漆包炉之前，厚处的漆液受表面张力作用向薄处流动，使漆液趋于均匀，这个过程就叫做流平过程，漆膜的均匀程度除受流平作用影响外，还受重力作用的影响，是两者合力的结果。

带漆导线出毛毡后，有一个拉圆的过程。因为导线涂上漆经毛毡后，漆液形状呈橄榄形，这时漆液在表面张力作用下，克服漆液自身的粘度，在一瞬间转变为圆形。漆液的拉圆过程如图所示：

1—涂漆导线在毛毡中 2—出毛毡的瞬间 3—漆液因表面张力而被拉圆

若线的规格较小时，漆的粘度较小，所需拉圆的时间也较少；若线的规格增大，漆的粘度也增大，所需拉圆的时间也较大。在高粘度的漆中，有时表面张力不能克服漆液的内摩擦力作用，则造成漆层不均匀。

当带漆导线出毛毡后，在漆层的拉圆过程中还有一个重力作用的问题。若拉圆作用时间很短，则橄榄形的尖角很快消失，重力作用对其影响时间很短，导线上漆液层比较均匀。若拉圆时间较长，则两端尖角存在时间较长，重力作用时间也较长，这时尖角处的漆液层有向下淌流的趋势，使局部地区漆层增厚，表面张力又促使漆液拉成球状，而成为粒子。由于重力作用在漆层厚时非常突出，所以每道涂漆时，不能涂得太厚，这就是漆包线涂制时采用“薄漆多涂”的理由之一。

涂制细线时如涂得厚，在表面张力作用下收缩，形成波浪状或竹节形的毛线。

导线上若有极细的毛刺，在表面张力的作用下毛刺既不容易上漆，又容易流失变薄，造成漆包线的针孔。

若圆导线本身成椭圆形，涂漆时在附加压强的作用下，漆液层在椭圆长轴的二端偏薄，在短轴的二端偏厚，形成显著的不均匀现象，所以漆包线用圆铜线的不圆度应符合要求。

漆中产生气泡时，气泡是在搅动和加料过程中裹进漆液中的空气，由于空气比重小，靠浮力使其上升到外部表面，但由于漆液的表面张力作用又使空气不能突破表层而留在漆液中，这种带有空气泡的漆液涂在导线表面上进入漆包炉，经过加热，空气急剧膨胀，在漆液表面张力因受热而减少时就冲出表面造成漆包线表面不光滑。

3) 湿润现象 水银滴在玻璃板上缩成椭圆形，水滴在玻璃板上展开形成中心稍凸的薄层，前者为湿润现象，后者为不湿润现象。湿润现象是分子作用力的一种表现，如果液体分子间的引力小于液体与固体之间的引力，液体就湿润固体，这时液体就能很均匀的涂复在固体的表面上；如果液体分子间的引力大于液体与固体分间的引力，液体就不能湿润固体，液体涂在固体表面上就会缩成一团一团的。所有的液体各自能湿润某些固体而不能湿润其它一些固体。液面的切线与固体表面的切线间的夹角叫接触角，接触角小于 90° 液体湿润固体，大于等于 90° 液体不湿润固体。

铜导线表面光亮清洁，就可涂上一层漆，如果表面沾有油污，影响了导线与漆液两个界面间的接触角，漆液对导线由湿润变为不湿润。如果铜线硬，表面分子晶格排列不规整对漆的引力就小，不利于漆液对铜线的湿润。

4) 毛细现象 湿润管壁的液体在管中升高，不湿润管壁的液体在管中下降的现象叫毛细现象。这是由于湿润现象和表面张力的作用形成的。毛毡涂漆就是利用毛细现象。在液体湿润管壁的情况下，液体沿管壁上升形成凹形面，使液体的表面积增大，而表面张力要使液体的表面收缩到最小，在这个作用力下使液面趋向水平，管中液体随着上升，直至湿润和表面张力向上拉引的作用和管内升高液柱的重量达到平衡时，管中的液体才停止上升。毛细管越细，液体的比重越小，湿润的接触角越小，表面张力越大，毛细管内的液面上升得越高，毛细现象越显著。

2. 毛毡涂漆法

毛毡涂漆法结构简单，操作方便，只要用毛毡夹板将毛毡平整的夹在导线的二侧，利用毛毡松、软、有弹性、多毛孔的特点，使其形成模孔，刮去导线上多余的漆，通过毛细现象吸收、储存、输送、弥补漆液，将导线的表面涂上均匀的漆液。

毛毡涂漆法不适用于溶剂挥发过快或粘度过大的漆包线漆，挥发过快和粘度过大均会使毛毡的毛孔堵塞很快失去其良好的弹性和毛细管虹吸能力。

使用毛毡涂漆法必须注意：

1) 毛毡夹具与烘炉进口的距离。考虑涂漆后的流平性和重力两者间的合力作用，线行进时悬垂度和漆液重力的因素，(卧式机)毛毡与漆缸的距离 50—80mm，毛毡与炉口的距离 200—250mm 为宜。

2) 毛毡的规格。涂制粗规格时要求毛毡阔、厚、松软、弹性大、毛细孔多，毛毡在涂漆中易形成比较大的模孔，储漆量多，输漆快。涂细线时要求窄、薄、细密、毛细孔细小，可使用棉毛布或汗衫布包住毛毡，形成细密柔软的表面，使涂漆量少而均匀。

涂漆毛毡尺寸、密度要求

规格 mm 阔×厚 密度 g/cm³ 规格 mm 阔×厚 密度 g/cm³

0.8~2.5 50×16 0.14~0.16 0.1~0.2 30×6 0.25~0.30

0.4~0.8 40×12 0.16~0.20 0.05~0.10 25×4 0.30~0.35

0.2~0.4 40×8 0.20~0.25 0.05 以下 20×3 0.35~0.40

3) 毛毡的质量。涂漆要求使用纤维细、长的优质羊毛毡(国外已开始采用耐热性和耐磨性均优良的全合成纤维代替羊毛毡)。含脂量小于 0.5%，酸碱度 PH=7，平整，厚度均匀。

4) 毛毡夹板的要求。夹板必须精刨加工，不生锈，保持与毛毡有平整的接触面，不能有弯曲、变形。随线径的不同，制备不同重量的夹板，尽量靠夹板的自重力来控制毛毡的松紧度，避免用松紧螺丝或弹簧等部件压紧。自重力压紧的方法能使各根线的涂漆层相当一致。

5) 毛毡与供漆要有很好的配合。在漆料不变的情况下，通过调节输漆辊筒的转数，可以控制供漆量。毛毡及夹板与导线位置的安排应使形成模孔与导线成水平，以保持毛毡对导线周围的压力均匀。卧式漆包机导轮的水平位置需低于漆辊顶部，漆辊顶部和毛毡夹层中心高度位置必须在同一水平线上。为保证漆包线的漆膜厚度和光洁度，宜采用小循环供漆，漆液抽入大漆箱，循环漆从大漆箱抽入小漆槽，随着漆的耗用，大漆箱内漆不断补充小漆槽，使小漆槽内的漆保持均匀的粘度和固体含量。

6) 涂漆毛毡经过一段时间的使用后毛细孔会被铜丝上的铜粉或漆中其它杂质堵塞，生产中的断线，粘线或接头也会使毛毡松软均匀的表面受到划伤破坏，导线长期通过与毛毡摩擦使其表面受到损伤，炉口处温度辐射使毛毡变硬，所以需定期更换。

7) 毛毡法涂漆有其不可避免的缺点。经常更换工时利用率低，废品增加，毛毡损耗量大；线与线之间的漆膜厚度不易达到一致；容易造成漆膜偏心；车速受到限制。因为线速过快时导线与毛毡间相对运动所造成的磨擦会产生热量改变漆的粘度，甚至发烫把毛毡烧焦；操作不当把毛毡带入炉内造成着火事故；使漆包线的漆膜中有毛毡丝，特别会对耐高温的漆包线有不良影响；不能使用高粘度的漆，成本增加。

3. 涂漆道次

涂漆道次的多少受漆液的固体含量，粘度，表面张力，接触角，干燥速度，涂漆方法，漆层厚度等的影响。一般的漆包线漆都要经过多次涂复多次烘烤才能使溶剂蒸发充分，漆基树脂反应完全，形成良好漆膜。

涂漆速度 漆固含量 表面张力 漆层 漆粘度 涂漆方法

快 慢 高 低 大 小 厚 薄 高 低 毛毡 模具

涂漆道次 多 少 少 多 少 多 多 少 少 多 多 少

第一道漆层比较关键，如果过薄会使漆膜产生一定的透气性使铜导体氧化，最后造成漆包线表面发花。过厚则可能使交联反应不能充分而出现漆膜附着力下降，拉断后出现尖端缩漆。

最后一道漆膜薄一些有利于漆包线的耐刮性能。

生产细规格线，涂漆道次的多少直接影响外观和针孔等性能。

四、烘焙

导线经过涂漆后进入烘炉，首先将漆液中的溶剂蒸发，然后固化，形成一层漆膜，再涂漆，烘焙，如此重复数次便完成了漆包的烘焙全过程。

1. 烘炉温度的分布

烘炉温度的分布对漆包线的烘焙关系非常大。烘炉温度的分布有二个要求：纵向温度和横向温度。纵向温度要求是曲线形的，即由低到高，再由高到低。横向温度要求直线形。横向温度的均匀性依靠设备的加热、保温、热气对流等因素来满足。

漆包工艺要求漆包炉需达到

a) 温度控制准确，±5℃；

b) 炉温曲线可以调节，固化区最高温度达 550℃；

c) 横向温差不超过 5℃。

烘炉中一般有三种温度：热源温度、空气温度、导线温度。习惯上说的炉温是利用放在空气中的热电偶所测定的，温度一般接近炉膛内气体的温度。T 源>T 气>T 漆>T 线(T 漆为漆料在烘炉内产生物理化学变化的温度) 通常 T 漆比 T 气低 100℃左右。

烘炉的纵向分为蒸发区和固化区。蒸发区以蒸发溶剂为主，固化区以固化漆膜为主。

2. 蒸发

绝缘漆涂到导线上以后，在烘焙中首先将溶剂和稀释剂蒸发。液体变成气体有二种形式：蒸发和沸腾。液体表面的分子进入空气叫蒸发，它在任何温度下都能进行，受温度和密度的影响，高温低密度都能使蒸发加快。当密度

达到一定的数量时，液体就不再蒸发而成为饱和状态。液体内部的分子变成气体形成气泡上升到液体的表面，汽泡破裂放出蒸气，这种液体内部和表面的分子同时气化的现象叫沸腾。

漆包线的漆膜要求光滑，溶剂的气化必须以蒸发的形式进行，绝对不允许沸腾，否则漆包线的表面就会产生汽泡和毛粒。随着漆液中溶剂的蒸发，绝缘漆越来越浓，漆液内部的溶剂迁移到表面时间变长，尤其是粗规格漆包线，由于涂的漆液厚，蒸发时间需加长才能避免内部溶剂的气化现象，得到光滑的漆膜。

烘炉蒸发区的温度，取决于溶液的沸点，沸点低蒸发区温度就低一些。但导线表面上的漆液温度是由炉温传递而来，再加上溶液蒸发的吸热，导线的吸热，因此导线表面上的漆液温度要比炉温低得多。

细规格漆包的烘焙，虽然也有蒸发的阶段，但由于涂在导线上的漆液薄，在很短的时间内溶剂就蒸发了，因而蒸发区的温度可以高一些，如果漆膜在固化时需要低一些的温度，如聚氨酯漆包线，相比之下蒸发区的温度还要高于固化区的温度。如果蒸发区温度低，漆包线的表面形成缩漆毛，毛的形状有时像波浪状或竹节状，有时成凹形。这是因为导线涂漆后在导线上形成一层均匀的漆液，如果不迅速烘焙成膜，由于漆液的表面张力和湿润角作用造成缩漆，当蒸发区温度低时漆液的温度也低，溶剂蒸发时间长，漆液在溶剂蒸发时的运动性小，流平性差，当蒸发区温度高时，漆液的温度也高，溶剂的蒸发时间短，漆液在溶剂蒸发时的运动性大，流平性好，漆包线的表面就光滑。

如果蒸发区温度过高，则涂好漆层的导线一进入烘炉其外层的溶剂就急速蒸发使漆基树脂很快形成“胶冻”从而阻碍内层溶剂继续向外迁移，结果内层大量的溶剂随着线的行进进入高温区后受到强制性蒸发或沸腾，破坏了表层漆膜的连续性，造成漆膜的针孔、汽泡等质量问题。

3. 固化

导线经蒸发区后进入固化区，在固化区主要发生的是漆的化学反应，即漆基的交联固化。例如聚酯漆是将线型结构的树脂经过交联结成网状结构的漆膜。固化反应非常重要，它直接关系到漆包线的多项性能。如固化不够影响漆包线的柔韧性、耐溶剂、耐刮、软化击穿。有时虽然当时各项性能都好，但漆膜稳定性差，存放一段时间后，性能数据下降，甚至不合格。如果固化过度，漆膜变脆，柔韧性、热冲击下降。多数漆包线可以通过漆膜的颜色来判断固化程度，但因为漆包线是经过多次烘焙而成，仅从外观判断是不全面的。当内部固化不够，外部固化却很充分时，漆包线颜色很好，但剥离性很差，进行热老化试验，可能漆膜套管或大脱皮。反之，内部固化很好但外部固化不足时，漆包线的颜色也很好，但耐刮性很差。

固化反应中，溶剂气体的密度大或气体内的湿度大都影响结膜反应，使漆包线的漆膜强度下降，影响耐刮性能。漆膜的适当固化，主要取决于烘焙温度和烘焙时间。在同样的条件下，烘焙温度高，固化程度大；同样的烘焙温度下，烘焙时间长固化程度大。烘焙时间也就是行线速度。

在炉温过高的情况下，已交联的高聚物链节特别是枝状侧链会断裂发生裂解产生分子量较低的低分子聚合物，冷凝后形成烟油(老胶)。如果低分子物质在逸出的过程中，通风不好，有可能在炉口、烟囱中形成老胶及在在线产生老胶粒子，影响产品质量。老胶的数量在一定程度上反映了高分子物的裂解程度。如果大多数漆基树脂发生了裂解，这时漆膜的机械性能，电气性能和热性能都会明显下降。

漆包线的品种不同对漆膜的固化程序要求也不同，多数漆包线都是每涂一次漆就要充分的烘焙使漆膜很好的固化。但聚先亚胺漆包线就完全不同，如果每涂一次漆在烘焙时充分的，固化，各次涂漆的漆膜之间会分层，不能结成一个牢固的整体，漆膜的强度很差，耐刮性能不合格。这是由于聚先亚胺漆膜经烘焙后充分的固化成为不熔物质，再加上其附着性差的特点，造成漆膜分层现象，在做耐刮试验时，漆膜会被一层一层刮破。因此聚先亚胺烘焙时使漆膜基本固化但不充分，在漆膜的部分分子中尚有少量的基端没有进行反应，当各次涂漆烘焙完全结束，最后再进行高温烘焙，使漆膜充分固化，结成一个比较牢固的整体。

4. 排废

在漆包线的烘焙过程中产生的溶剂蒸气和裂解的低分子物必须及时排出炉膛。溶剂蒸气的密度和气体中的湿度都会影响烘焙过程中的蒸发和固化，低分子物对漆膜的光洁和光亮都有影响。另外溶剂蒸气的浓度关系到安全，所以排废对产品质量、安全生产、热能消耗都是很重要的。

单从产品质量和安全生产考虑排废量要大一些，但在排废的同时要带走大量的热量，因此排废要适当。催化燃烧热风循环炉通常排废量是热风量的 20~30%。排废量的多少取决于溶剂的使用量，空气的湿度，烘炉的热量。每使用 1kg 溶剂，约需排废 40~50M³(换算成室温)。从炉温的加热情况，漆包线的耐刮性能，漆包线的光泽程度也可以判断排废量的多少。若炉温加热长时间处于关闭状态，但温度指示值还是很高，说明催化燃烧所产生的热量已等于或大于烘炉消耗的热量，烘炉将出现高温失控状态，应适当增加排废量。若炉温加热长时间处于加热状态，但温度指示并不高，说明热量消耗太多，很可能是排废量多，经检查证实后，应适当减少排废量。当漆包线的耐刮性能较差时，有可能是炉膛内气体湿度太高，尤其是夏季的潮湿天气，空气中的湿度很高，再加上溶剂蒸气催化燃烧后生成的水分，使炉膛内的气体湿度更高，这时要增加排废量。炉膛内气体的露点不大于 25℃。如果漆包

线的光泽差，不光亮，也有可能是排废量小，这是因为裂解的低分子物没有排出而附在漆膜表面上使漆膜失去光泽。

冒烟是卧式漆包炉上常见的一种不良现象。根据通风理论，气体总是由压力高的点流向压力低的点。炉膛内气体受热后，体积急剧膨胀，压力升高，当炉膛内出现正压力后，炉口就冒烟，可增大抽风量或减小送风量，恢复负压区。如果只有一端炉口冒烟，则是由于该端送风量过大，局部风压高于大气压力，致使补充空气无法从炉口进入炉膛，减小送风量，使局部正压消失。

五、冷却

从烘炉中出来的漆包线，温度很高，漆膜很软，强度很小，如果不及时的冷却，经过导轮漆膜受到损伤，影响了漆包线质量。行线速度比较慢时，只要有一定长度的冷却段，漆包线可自然冷却，行线速度快时自然冷却达不到要求，必须强制冷却，否则无法提高线速度。

强制风冷是目前广泛采用的方法。用鼓风机通过风管和冷却器对线进行逆流冷却。注意风源必须经净化后使用，以免把杂质和灰尘吹到漆包线表面，沾在漆膜上，产生表面问题。

水冷效果虽然很好，但会影响漆包线的质量，使漆膜含水份，降低漆膜的耐刮、耐溶剂等性能，不宜采用。

六、收线

收、排线的目的是将漆包线连续、紧密、均匀地缠绕到线轴上。要求收线机构传动平稳，噪音小，张力适当和排线规整。在漆包线的质量问题中，由于收、排线不好造成退货的比例是很大的，主要表现在收线张力大，线径被拉细或线盘爆裂；收线张力小，线盘上的线松造成乱线，排线不平造成乱线。虽然这些问题大部分是操作不当造成的，但在工艺上也需采取必要措施给操作人员带来方便。

收线张力非常重要，这主要依靠操作人员的手感控制。根据经验提供部分数据如下：1.0mm 左右的粗线约为不延伸张力的 10%，中线约为不延伸张力的 15%，细线约为不延伸张力的 20%，微细线约为不延伸张力的 25%。

漆包线的润滑对收线的紧密程度也有非常大的关系。漆包线使用的润滑剂要求能够使漆包线的表面滑，对线无危害，不影响收线盘的强度及不影响用户的使用为原则。理想的涂油量要达到手感漆包线滑，但手上看不到明显的油。从定量上来说，1M2 的漆包线表面上涂 1 克的润滑油即可。

合理确定排线速度和收线速比是非常重要的。排线线距小容易造成线盘上的线高低不平，线距太小时，收线时的后面几圈线压在前面几圈在线，达到一定高度又突然坍塌，使后面的一圈线压在前面一圈线下，用户使用时将轧断线，影响使用。线距太大，第一批线与第二批线排线成交叉形状，线盘上的漆包线空隙多，线盘容线量减少，漆包线外观乱。通常盘芯较小的线盘，排线的线间中心距以线径的三倍为宜；盘径较大的线盘，线间中心距以线径的三至五倍为宜。线速比参考值 1：1.7~2。

经验公式 $T = \pi(R+r) \times L / 2V \times D \times 1000$

T—排线单向行程时间(min) R—线轴侧板直径(mm)

r—线轴筒体直径(mm) L—线轴开档距离(mm)

V—线速度(m/min) D—漆包线外径(mm)

七、操作方法

漆包线质量的优劣，虽然在很大程度上取决于漆、导线等原材料的质量和机器设备的客观情况，但是如果在操作上没有认真对待烘焙、退火、车速等一系列问题及认识其相互关系，没有掌握操作技术，不认真做好巡回工作和停车整理工作，不搞好工艺卫生，即使客观条件再好，也生产不出优质的漆包线来。因此做好漆包线的决定因素是人，是人对工作的责任感。

1. 催化燃烧热风循环漆包机在开车前，应先开风机，使炉内空气以慢速循环。将炉膛和催化区用电热进行预热，使催化区的温度达到规定的催化剂的起燃温度。

2. 生产操作中“三勤”、“三查”。

1)勤量漆膜 每小时测量一次，测量前千分卡校正零位。量线时千分卡与线保持同速，大线要在两个互相垂直的方向上进行测量。

2)勤校排线 经常观察来回排线和张力松紧，并及时校正。检查润滑油是否适当。

3)勤看表面 经常观察漆包线在涂制过程中有无粒状，脱漆等不良现象，查清原因，马上校正。对车上的不良产品，及时下轴。

4)查运转 检查各运转部件是否正常，注意放线轴的松紧，防止轧头、断线和线径拉细。

5)查三度 根据工艺要求，检查温度、速度、粘度。

6)查原材料 生产过程中继续注意原材料是否符合技术要求。

3. 在漆包线生产操作中，还应注意爆炸和火烧问题。火烧的情况有下面几种：

一是整个炉膛全面火烧，往往是由于炉膛横截面全部蒸气密度过大或炉温过高引起；二是由于穿线时，几根线的涂漆量过多，而引起几根线起火。防止火烧首先要严格控制工艺炉温，第二要使炉膛通风顺畅。

4. 停车后的整理

停车后的整理工作主要是指清理炉口的老胶，清洗漆缸和导轮并做好漆包机和周围的环境卫生工作。为了保持漆槽内的清洁，如不随即开车，应把漆槽用纸盖好，以免不洁物的引入。