

第一章 概论

凡是用于动力机械传动或制动的材料称为摩擦材料。

石棉摩擦材料是以石棉纤维或其纺、织制品为基材，经过浸渍树脂（如酚醛树脂或其改性物）、橡胶等粘合剂，并混入无机、有机粉状填料等摩擦性能调节剂及其它配合剂，经过模塑加工而制成的。这种材料的特点是它的摩擦性能好，并有良好的耐热性和一定的机械强度，广泛地应用于汽车、火车、拖拉机、飞机、舰艇和各种工程机械、动力设备，以传递动力和减速——保证车辆行驶安全不可缺少的一种材料。

第一节 石棉摩擦材料发展简史

自从动力机械发明和应用以来，在制动和传动的机构上就使用摩擦材料。摩擦材料用的基材先后从棉花、棉布、木材、皮革、铸铁发展到石棉。以石棉和酚醛树脂为主要原料制成的石棉摩擦材料是二十世纪二十年代以后发展起来的。它是性能较好广泛使用的摩擦材料。

棉花纤维浸渍粘合剂经过加工成型的产品是应用最早的摩擦材料之一，二十世纪初，开始用棉布做刹车带，以后用植物纤维和橡胶的混合物制成模塑刹车片。由于使用过程中摩擦热超过 120°C ，棉花、棉布即被燃烧，于是不久即被其它摩擦材料所代替。

石棉具有较高的耐热性和强度、较好的纤维性和柔韧性，它能够梳纺成纱线和编织成织物，用来作为模塑材料中的基材，也可直接用石棉纤维作为模塑材料中的基材，所以逐渐地取代了棉花、棉布等材料，成为摩擦材料中一种不可缺少的组分。1905年初次出现石棉刹车带，提高了刹车带耐热性和强度，同时也提高了它的摩擦性能和耐久性。以后又用铜丝捻入石棉线中做补强材料。以后用铜丝石棉线织成布，涂敷橡胶，折成刹车带。而后又出现编织刹车带。1918年开始用石棉短纤维与干性油、沥青、金属线段等混合模塑制成刹车片。20年代初用酚醛树脂与石棉混合制成摩擦材料。随着酚醛树脂的出现，它就逐渐取代了天然粘合剂，成为摩擦制品中的主要材料。而天然粘合剂仅少量用做酚醛树脂的改性剂。

为了适应高速度重载荷及特殊环境（如水中）使用的要求，近年来发展了粉末冶金制品。但是石棉摩擦制品仍然是生产量最大、应用最广的摩擦材料。

旧中国根本没有什么石棉摩擦材料的生产。解放后，在毛主席和党中央领导下，在毛主席革命路线指引下，我国工人阶级发扬“独立自主、自力更生”的革命精神，创建并发展了我国的石棉摩擦材料工业。目前，石棉摩擦材料的产量、规格、品种和质量都有很大的增长与提高，基本上满足了国民经济各部门的需要。

近年来，各厂普遍建立了以工人为主体的、有领导干部和技术人员参加的三结合科研小组，在党委的正确领导下，开展群众性的科学研究活动，取得了可喜的成果，如干法生产工艺，连续压模，刹车片模塑成型自动化，离合器片双面磨床，刹车片自动磨床等新的生产设备。这些成果使我国石棉摩擦材料的生产技术提高到一个新的水平。

毛主席教导我们：“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。”在毛主席革命路线指引下，我国社会主义革命与社会主义建设正在迅速发展，石棉摩擦材料也必将获得更大的发展。

第二节 石棉摩擦材料在国民经济中的作用

石棉摩擦材料的特点就是它的摩擦性能好，通常制成传动的离合器摩擦片和制动用的刹车片。

人们知道，汽车启动时，必需使用离合器操纵杆，合上离合器，才能行驶。如果没有离合器摩擦片，汽车的发动机只能空转，而不能把动力传到轮子上使汽车行驶。如果没有离合器摩擦片，所有机动车辆便根本不能行动。

汽车、火车、飞机等在运行时，制动装置中如果没有刹车片，便不能在必要时使它减速或停驶，也就没有安全保障。它们都将无法使用。

所有动力机械都需要传动和制动。石棉摩擦材料的重要作用就在于它能完满地完成上述两项任务，特别是在高速运转或行驶情况下能保证人身和国家财产的安全。

工业上的起重设备（如吊车、电葫芦）、各种机床都要使用离合器片和刹车片。农业机械方面，任何一种拖拉机、收割机都必须配置刹车带和离合器片以担负制动、传动和转向的任务。石棉摩擦材料在交通运输业中，不但各种汽车离不开它，火车上也大量使用。自从世界上出现火车一百多年来，火车上一直使用铸铁闸瓦制动、减速，由于铸铁闸瓦的技术性能远不及石棉塑料闸瓦好，近年来逐渐被合成闸瓦所代替。随着我国石油工业和采矿工业的飞速发展，石油

钻机和各种矿山机械所需用的石棉摩擦材料也在急剧增长。在国防工业方面，飞机、坦克、船、艇等都需要一定型式的石棉摩擦材料。

由此可知，石棉摩擦材料在国民经济和国防建设中起着重要的作用。

第三节 生 产 过 程

为了适应各种车辆、机械设备、动力机械的需要，石棉摩擦材料的材质、品种是多种多样的，它的生产方法也各不相同。现在把目前生产量较大、应用最广、以石棉纤维为基材的摩擦材料生产过程简要说明如下。

酚醛石棉摩擦材料的生产工艺，有湿法和干法两种。

1.湿法 湿法就是采用液体树脂为粘合剂，制备压塑料的各种组分是在湿状态下进行混合。其工艺过程是将热固性树脂的水乳液与石棉和各种填料在捏合机中进行混合（如使用石棉线、石棉布做基材时，则在浸胶机上浸渍粘合剂），干燥后，模塑成型制出成品。

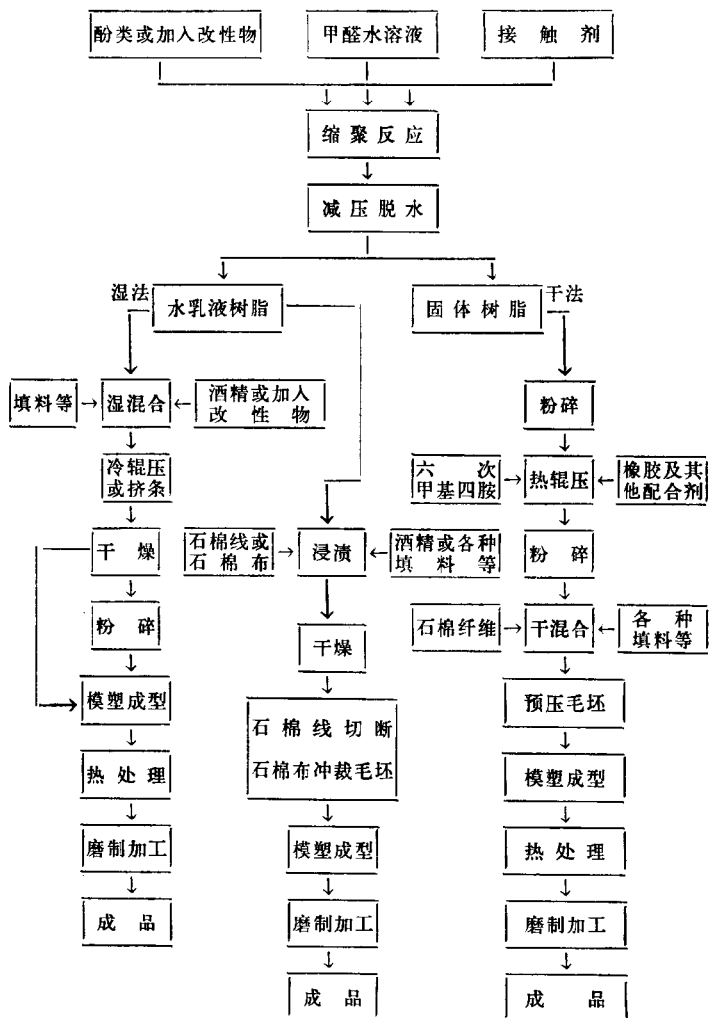
2.干法 是指压塑料中各种组分均系以干状态进行混合，然后经过加热模塑制出成品。

干法和湿法这两种工艺各有其特点，应按照应用部门对石棉摩擦材料的要求，在技术可能、经济合理的原则下进行配方和工艺设计，择优选用。

石棉摩擦材料生产流程图示，见第 5 页。

第四节 产 品 种 类

随着我国社会主义工业的发展，科学技术的进步，我国



石棉摩擦材料的品种也愈来愈多，其分类命名有以下三种方法：

（一）按制造方法分类

1. 编织刹车带。包括油浸刹车带和树脂刹车带；
2. 模塑成型的刹车片和离合器片、火车闸瓦；
3. 层压石棉布刹车带；
4. 辊压成型的橡胶刹车带和刹车片。

（二）按材质分类

1. 石棉纤维刹车片和离合器片；
2. 石棉线刹车片离合器片；
3. 石棉编织刹车带；
4. 石棉布刹车带；
5. 石棉纤维橡胶刹车带。

（三）按车型和机械类型分类

1. 载重汽车摩擦片；
2. 小轿车摩擦片；
3. 火车闸瓦等。

第五节 技 术 要 求

石棉摩擦材料是摩擦离合器与制动器中的摩擦配偶元件。除应有严格的几何尺寸外，在各种使用过程中还应符合以下技术要求：

1. 摩擦系数稳定，其绝对值应达到一定的要求。摩擦系数是摩擦材料的一项最重要的技术性能。摩擦系数的大小直接影响产品的使用，如摩擦系数太低，就不能完满地传递动力或制动；摩擦系数太高，则会出现冲击负荷而损坏传动系

统或擦伤轮箍。摩擦系数的大小随不同的产品而异，对某些特殊产品的摩擦系数还有特定的要求，如火车闸瓦要求在不同的速度下，摩擦系数要在一定的范围以内。

摩擦系数不是一个常数，它受工作压力、速度、温度、水油的污染及配偶材料的改变而改变。温度是影响摩擦系数的一个重要因素。摩擦材料在使用过程中，由于摩擦生热，使温度迅速上升。当温度达到一个界限时，摩擦系数直线下降。这种由于温度升高而引起摩擦系数急剧降低的现象叫做“热衰退”。这个界限温度称做最高使用温度，其大小随摩擦材料的类型而异。热衰退的摩擦材料，冷却后摩擦系数会有不同程度的恢复。有的摩擦系数迅速恢复正常，我们称这种摩擦材料“恢复性”好；另一种是摩擦系数不能很快恢复，我们就说这种摩擦材料的“恢复性”差；有些摩擦材料，“热衰退”后，表面分解很显著，变得很粗糙，摩擦力比正常还要高，我们称它做“过恢复”。摩擦材料在使用过程中应尽量避免“热衰退”现象产生，若发生“热衰退”，也要求摩擦材料的“恢复性”好。

摩擦材料一般只满足干摩擦的要求，当受到油污染时摩擦系数显著下降，但至少应保持有一定的摩擦力，而不至完全失去效能。

工作在油介质中的摩擦材料，其摩擦系数应保持一定的有效值。

2.应具有一定的抗磨性能，延长使用寿命。摩擦材料的磨损主要是由于相对应的两接触面产生的剪应力所造成。

工作温度是影响摩擦材料磨损的主要因素。当工作温度达到足以使配方中的有机组分分解时，将会导致磨损现象急速增大。不同材质的摩擦材料有着不同的磨损-温度特性，

选用摩擦材料时要考虑工作温度范围，以保证较好的使用寿命。

3.具有良好的物理机械性能和机械加工性能。摩擦材料应有足够的强度，在铆装时不应断裂，同时能抵抗工作时的压力，不致损坏。在一定的温度范围内，其物理机械性能不能有较大的改变。

4.摩擦材料应对污垢、磨损产物具有良好的自净性能。

5.摩擦材料对水或油的吸附性要小，受到水和油污染时，不应膨胀，不应丧失强度，它的摩擦系数应能迅速恢复。

6.工作时，摩擦材料对配偶材料允许有轻微的均匀磨损，但不应刮伤和过度磨损，使金属配偶材料的寿命缩短。

7.不应产生过重的噪音。防止刹车时的噪音，单从摩擦材料去解决是困难的，因为引起噪音的因素是多方面的。噪音的产生与刹车鼓和刹车盘的振动有关，制动装置的相邻部件松动，也会产生噪音。

就摩擦材料而言，一般材质硬度低的噪音轻微，如橡胶刹车片；材质硬度高的产生噪音较重，如酚醛树脂刹车片。

第六节 发 展 趋 向

随着我国国民经济的发展，特别是由于汽车、火车、飞机、工程机械向高速度、重负荷方向发展，对石棉摩擦材料提出了新的要求。如以汽车为例，小轿车的最高时速国外已高达 300 公里，载重汽车每吨总重的发动机功率超过 8 马力。这样总重 38 吨的汽车就得装用功率 320 马力、扭矩 120 公斤·米的大型发动机。根据实际测定，一辆现代卡车，在以

最高速度行驶，并以最高减速度刹车时，须吸收八倍于发动机的额定能量；小轿车一般在制动时也要求吸收四倍于发动机的额定能量。发动机的功率和转速的不断提高，对于与运动相反相成的制动系统，所要吸收的运动能量也急剧上升。另一方面汽车数量的增加，使道路拥挤，行驶中变速频繁，有的每公里内离合器踏板使用次数高达20次。因而对石棉摩擦材料的性能要求愈来愈高，突出的有下列几个方面：

（一）较高的摩擦系数，并比较稳定。不随温度、速度、压力以及使用时间而变化，无严重热衰退现象，恢复性能好。

（二）良好的耐磨性，使用寿命长，而且对摩擦对偶材料磨损少。

（三）在制动和传递动力时，接合柔和、平稳、不发生噪音。

（四）高的机械强度，在使用中不致因剪切力、挤压力及温度变化等而引起碎裂及剥落现象。

要使石棉摩擦材料全面满足上述要求是有一定困难的，实际上，随车型、使用条件的不同，对上述各项要求的重点也有所不同。为了满足现代化技术对石棉摩擦材料的要求，有必要从扩大品种，改善和提高现有产品质量等方面采取一些有效措施。

（一）改进材质

1.提高耐衰退性

提高石棉摩擦材料耐衰退性的途径有以下几种：

（1）采用耐热性高的粘合剂 国内石棉摩擦材料一般采用酚醛树脂或它的改性物为粘合剂，但在树脂改性方面我们做的工作还较少。为了提高耐热性，必须大力开展试验研

究，采用硼化物、有机酸油（如亚麻仁油，国外多用楝如树果壳油或称腰果壳油）等进行酚醛树脂改性，以改善粘合剂的性能。

（2）减少有机成分的含量 有的产品可多用金属粉末，成半金属基制品。

（3）使石棉摩擦材料具有一定的气孔，有助于提高耐热衰退性。有的产品，如火车闸瓦、盘式刹车片表面开槽也有助于提高耐热衰退性。

（4）热处理 多数树脂基石棉摩擦材料，经初期衰退之后，便不再衰退，因此在使用前进行表面热处理，使其产生表面热稳定层，这样可以缓和衰退，这种方法称为焦化法。但磨去热稳定层后，还会引起衰退。

2. 提高耐磨损性

磨损主要是由于相对应的两接触面，剪力摩擦和有机成分的热分解所造成。低温时（温度 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ ）有机配合剂对磨损影响很大。一般添加粘合剂或楝如树粉末，可提高制品在低温时的耐磨性，其他如采用重晶石、氧化铅等作填充剂也能改善低温时的耐磨性。如加入金属成分、石墨等固体润滑剂可提高制品的高温（ $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ ）耐磨性。

3. 减少噪音

刹车时产生噪音是由多方面原因造成的，不可能单从制动片上求得解决。从石棉摩擦材料的角度解决噪音可由以下两方面入手：其一，添加石墨、二硫化钼等固体润滑剂，但加入量大，则会降低摩擦系数；其二，将粘合剂树脂质地改软或者添加橡胶，可使制品质地柔和，但大量使用，会造成高温热衰退和磨损等的恶化。

4. 提高机械强度，从提高填充料的结构形式、粘合剂的

性能等方面去考虑。

（二）摩擦材料形式的改进

摩擦式制动器的形式，就汽车而论，按其结构可分为三种：鼓式、盘式和带式。在现代汽车上（不论是小轿车或载重汽车），带式制动器已很少应用，绝大多数是采用鼓式制动器。而近年来，小轿车及重型汽车上采用盘式制动器的已有显著增加，有的是前轮装置盘式，后轮采用鼓式，有的是全部盘式。盘式刹车的优点是易于安装更换，它抗速度敏感性、水敏感性和抗热衰退等性能均有所改进，不易产生机械衰退，而且还可以利用增加盘轮的体积和使用通风的办法，改进冷却效果，提高吸热能力。

离合器方面，如在重型载重汽车上采用双片离合器，理论上可较同一尺寸的单片离合器多传递一倍的扭矩（实际上约80~90%）。采用湿式多片（2~4片）离合器由于用油泵强制冷却，使摩擦表面的温度较低（不超过100°C），其使用寿命可达干式离合器的五至八倍。因此在提高石棉摩擦材料材质的同时，必须密切注意摩擦材料形式的改进。

（三）使产品标准化、系列化

石棉摩擦材料，在不同的场合下使用，对它的要求也是不同的。使用在制动方面的与用于传递动力方面的有不同的要求。单是制动这一项，汽车、火车、飞机、工程机械等要求各异，何况汽车又有小轿车、载重汽车、越野车、牵引车等，火车有蒸汽机车、内燃机车、电力机车等，而且实际情况不同，要求的重点也有所不同。比如有的国家的大型车，制动器一般在较低的温度下使用，对无噪音的要求比对耐热性的要求更为严格；欧洲国家大都重视耐磨性和摩擦系数的稳定性。由此可见，不同要求的使用场合，对石棉摩擦材料

亦需有不同的标准。因此，为了满足现代技术对石棉摩擦材料的要求，亟需组织力量通过调查，大力开展科学实验研究，分门别类订出一套满足当前实际需要的标准，使生产进入一个标准化、系列化的先进水平。

（四）充实产品鉴定设备

实验室测试手段是否符合实际和先进，是摩擦材料研制过程中的重要问题。对于测试设备及方法，要求能模拟出材料的主要使用条件。目前我们采用的定速、定压式圆盘摩擦试验机，许多方面与实际使用情况差距甚大，如采用比拟车辆刹车实际情况而设计的模拟摩擦试验机，使惯性按比例缩小，那末，多数行路试验是可以模拟的。国内目前采用的J-01型，J-02型摩擦材料试验机比圆盘摩擦试验机已进了一大步，但其模拟性的局限性仍较大。为了更好地评价摩擦材料的质量，不应只靠使用单位去鉴定，生产单位的试验机的问题必须解决。

（五）采用新工艺、新技术，使生产自动化

生产技术的先进与否，将直接影响摩擦材料的质量和生产效率。近年来，我们以纤维制品取代线、布制品，工艺上进行了一些改革，取得了一定的效果。但是，我们还要研究新工艺、新技术，使生产连续化、自动化、仪表化以至形成生产流水线。在生产中采用挤出成型法，工艺及设备简单、劳动强度低、生产效率高（挤出机生产速度达7米/分）。干法压塑料的生产中出现一种极细（200~250目）的粉末状粘合剂，将它与石棉纤维及填充物在混料器中混合后，可直接进行压制。其它，如采用高频预热及高频加热有很好的效果。凡此，都可进行研究加以利用。

第二章 粘 合 剂

粘合剂是石棉摩擦材料的主要组分之一，一般占材料配比的20~30%。

粘合剂能将石棉摩擦材料的各种组分，如石棉、填料及各种辅料均匀地粘结在一起。采用不同的粘合剂或粘合剂的用量不同都将影响石棉摩擦材料的摩擦性能、机械强度及其他各种特性。

现有石棉摩擦材料采用的粘合剂主要有酚醛树脂和各种橡胶。近年来逐步发展了一些改性酚醛树脂及橡胶与树脂掺合使用的方法，使石棉摩擦材料的性能有所改善。

第一节 酚 醛 树 脂

酚醛树脂是采用酚和醛做原料，在酸或碱的存在下，经过反应而制得的高分子化合物。

一、常 用 的 原 料

各种原料都有各自的特性，规格不同，性质也就不同。原料的分子式相同而结构不同，性质也发生变化。原料规格对树脂的质量与性质有很大关系，所以必须经过选择。下面是几种常用的原料。

（一）酚类原料

常用的有苯酚和甲酚，特别是苯酚，这里主要介绍这二

种：

1. 苯酚

分子式	C_6H_5OH
分子量	94.1
熔点	41~42°C
沸点	182~183°C
比重	1.058

一级品苯酚含量为99.5%。

苯酚为白色针状结晶体，在空气中受光作用及氧化逐渐变为玫瑰色、浅红色，有氨、铜、铁存在时，加速变色。其蒸气能点火，放出白色火焰而燃烧。对人体有剧烈的腐蚀性。空气中最大允许浓度为0.005毫克/升。易潮解，含水分后熔点下降（表2-1）。

表 2-1

水在苯酚中含量(%)	0	1	5
苯 酚 熔 点 (°C)	40.9	37	24

苯酚含水 27% 以上时则成均匀的液体。苯酚在水中溶解度随温度升高而增加（表2-2）。

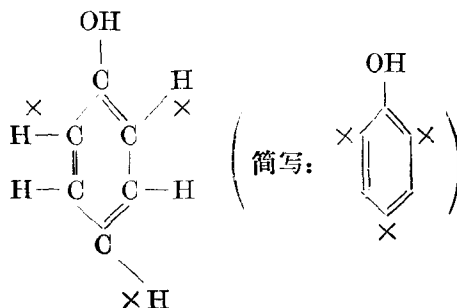
表 2-2

温 度 (°C)	11	35	58	77	84
100克水中溶酚量(克)	4.8	5.3	7.3	11.8	任 意

苯酚可溶于乙醇、乙醚、氯仿、丙三醇、脂肪酸、甲醛水溶液及碱的溶液中。

用几滴 FeCl_3 稀溶液加入酚的水溶液中，呈现紫色，酸化时褪色（这是鉴别苯酚的方法）。

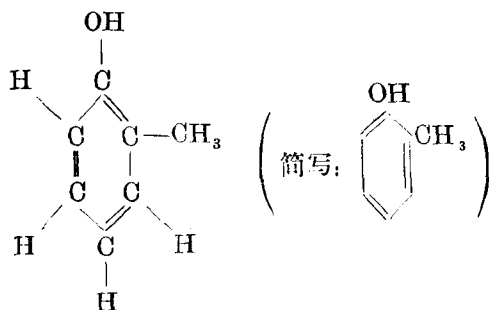
苯酚是在苯环上有一个氢氧基的环状化合物。在苯环上有三个位置易与其他化合物连接而生成高分子化合物。这种可和其他化合物连接的位置叫做活性位置，在下式中以 $\times$ 表示（也称为官能位置）：



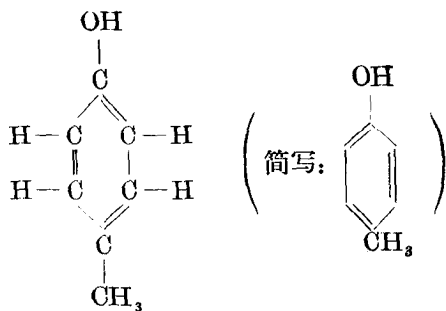
2. 甲酚

苯酚的环上由一个甲基（ $-\text{CH}_3$ ）取代一个氢原子则成甲酚。由于取代位置的不同，生成三种甲酚，其结构式为：

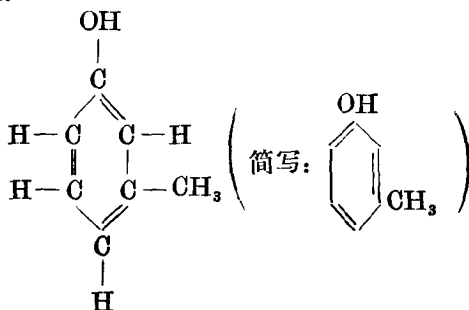
邻甲酚：



对甲酚：



间甲酚：



这三种甲酚只有间位甲酚有三个活性位置可以和其他化合物起反应。工业甲酚是三种甲酚的混合物。通常要求间位甲酚有一定的含量。

(二) 醛类原料

常用的醛类原料有甲醛和糠醛，以甲醛为主。

1. 甲醛

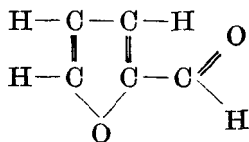
分子式	CH_2O
分子量	30
熔 点	-92.5°C
沸 点	-21°C
比 重	1.0054~1.1158

甲醛系用甲醇氧化而得，常温下为气体，一般以 30～40% 甲醛水溶液使用，并加 8～12% 甲醇为稳定剂以减少其自聚合。但甲醛在冬天仍易聚合为白色的三聚甲醛沉淀，所以应加以保温（4℃左右）。甲醛有腐蚀性，空气中允许最大浓度为 0.005 毫克/升。

把一滴氨水加在约 0.1*N* 的硝酸银溶液中，再加一滴甲醛并迅速振荡之，结果便出现银镜反应。这是鉴别甲醛的方法。

2. 糠醛

稻壳、棉子渣、蔗渣、玉蜀黍芯、花生壳等，一切含有五碳糖的物料都可水解制得糠醛。糠醛为具有特殊气味的液体，在空气中逐渐变成深褐色。熔点为 -36.5℃，沸点为 162℃，比重（20℃时）1.1594。其分子结构式为：



糠醛分子结构中除含醛基外，还有双键存在，故反应能力很大。它本身也能起聚合作用，生成树脂。除用做酚醛塑料外，亦能制成糠醇并缩合成糠醇树脂，曾试用糠醇树脂制造石棉摩擦材料，性能良好。

（三）催化剂

酸或碱均可做催化剂（或接触剂），以加速及控制酚与醛的反应。常用的酸有硫酸、盐酸、草酸等。常用的碱有氢氧化钠、氨水、氢氧化钡、碳酸钾等。

二、酚醛树脂的反应机理

（一）缩聚反应

酚与醛的分子互相化合并放出水分，逐步形成分子量很