

使用环氧树脂整治 铁路桥梁病害

兖州工务段

济南铁路局科学技术研究所

一九七四年七月

毛主席语录

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。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

自然科学是人们争取自由的一种武装。人们为着要在社会上得到自由，就要用社会科学来了解社会，改造社会进行社会革命。人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。

前 言

济南铁路局兖州工务段的广大工人、干部、技术人员，经过无产阶级文化大革命的锻炼，提高了阶级斗争、路线斗争和继续革命的觉悟，针对铁路钢筋混凝土桥梁病害，采用新型材料环氧树脂进行整治，经过多次试验和不断的改进工艺，已初步掌握了这一技术，用环氧树脂修补了钢筋混凝土梁33孔，并在桥梁支承垫石的维修，钢梁上盖板的防锈处理，以及防水层的铺设，钢筋混凝土岔枕的修补，钢筋混凝土屋架的裂缝整修等方面，都采用环氧树脂进行病害整治，收到较好的效果。他们遵照毛主席关于不断地总结经验的教育，在工电处的帮助下认真地总结了几年来的经验，整理编写了这一资料。为了加强技术交流，我们出版这份资料，供有关同志工作参考，不当之处请指正。

目 录

第一部分	环氧树脂的性质和用途	(1)
第一节	环氧树脂的性质	(1)
第二节	环氧树脂的用途	(5)
第二部分	环氧树脂的固化反应原理和辅助材料	(7)
第一章	环氧树脂的固化反应原理	(7)
第二章	环氧树脂的辅助材料	(10)
第一节	固化剂	(10)
第二节	稀释剂	(15)
第三节	增韧剂	(20)
第四节	填充料	(23)
第三部分	使用环氧树脂整治铁路桥梁病害	(29)
第一章	环氧树脂处理钢筋混凝土梁裂纹	(26)
第一节	环氧树脂浆液对于混凝土的粘结原理	(26)
第二节	环氧树脂修补钢筋混凝土梁裂纹的工艺 过程	(28)
第三节	环氧材料的配制	(41)
第四节	环氧树脂压浆工具	(43)
第五节	环氧树脂压浆处理钢筋混凝土梁的质量 问题	(47)
第二章	环氧混凝土及其抬高桥梁支承垫石	(48)

第一节	环氧混凝土·····	(50)
第二节	环氧混凝土抬高桥梁支承垫石·····	(52)
第三章	环氧胶类及处理圬工裂损(纹)的施工···	(57)
第一节	环氧胶类·····	(59)
第二节	环氧胶类处理混凝土结构裂损的施工···	(62)
第三节	在严重潮湿和漏水的情况下处理混凝土或 钢筋混凝土裂缝的施工·····	(64)
第四章	环氧煤焦防水层·····	(66)
第一节	环氧煤焦防水层的铺设工艺过程·····	(66)
第二节	环氧煤焦涂料的配制和造价·····	(67)
第四部分	劳动保护和安全注意事项·····	(69)
附 1	常用化学材料单价·····	(71)
附 2	参考资料目录·····	(72)

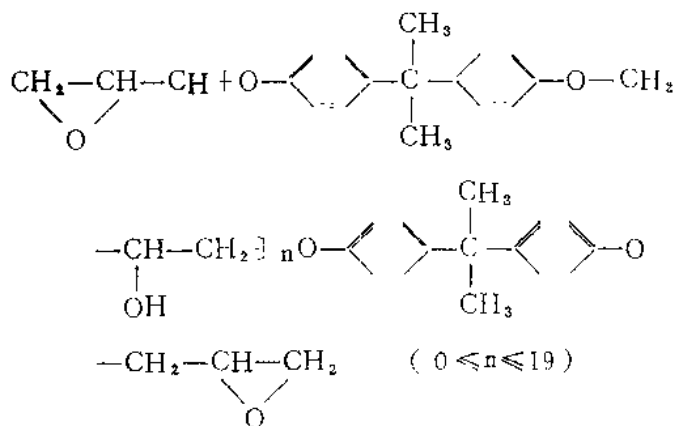
第一部分 环氧树脂的性质和用途

第一节 环氧树脂的性质

凡含有环氧基团 $\left(\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{O} \end{array} \right)$ 的高分子聚合物 统称

为环氧树脂。它是一种新型的有机合成材料。在我国，它诞生在大跃进的年代里。因为具有独特的优点和多方面的用途而得到人们的重视，从而获得迅速的发展。

环氧树脂是一种热塑性、线型结构的高分子化合物。在工业上通常是由环氧氯丙烷和二酚基丙烷在碱性催化剂的作用下，通过缩聚反应而生成的。环氧树脂分子的通式：



由于链节的聚合度 n 不同，环氧树脂的分子量也就不同。环氧树脂按分子量大小可分为高分子量、中等分子量和低分子量三种。软化点低于 50°C （平均聚合度 $\bar{n} < 2$ ）的环氧树脂称为低分子量树脂，或称软树脂。软化点在 $50-100^{\circ}\text{C}$ （ $2 \leq \bar{n} \leq 5$ ）的环氧树脂称为中等分子量树脂。软化点在 100°C 以上（ $\bar{n} > 5$ ）的环氧树脂称为高分子量树脂。环氧树脂固化后的机械性能与环氧树脂的分子量（聚合度 n ）有很大关系。在一定范围内，分子量愈大（即聚合度愈高），机械性能愈强。分子量低的常用于粘接，分子量高的常用于涂覆。

当 $\eta = 0$ 时，环氧树脂外观是一种淡黄色到琥珀色的粘稠液体，无特殊气味，粘性很强，可以拉成很长的丝。未加固化剂的环氧树脂可以在空气中长期放置而不变质。加热后呈流动液体，冷却后又呈粘度很大的液体，反复亦是如此。环氧树脂可以溶解在丙酮、苯、二甲苯、乙醇等其他有机溶剂里。环氧树脂加入固化剂后能迅速固化，由热塑性液态转变为坚硬的热固性树脂。当 $n \geq 2$ 时得到的是深黄色固体树脂。

环氧树脂的种类很多，常用的环氧树脂规格如下表：

产品 牌号	规 格				
	软化点 °C	环氧值 当量/100克	有机氯值 当量/100克	无机氯值 当量/100克	挥发份 %
618	—	0.48~0.54	≥0.02	≥0.001	≥2
6101	12—20	0.41~0.47	≥0.02	≥0.001	≥1
634	21—27	0.38~0.45	≥0.02	≥0.001	≥1
637	20—35	0.30~0.40	≥0.02	≥0.005	≥1
601	64—76	0.18~0.22	≥0.02	≥0.001	≥1
604	85—95	0.09~0.14	≥0.02	≥0.001	≥1
607	110—135	0.04~0.07	≥0.02	—	—

环氧树脂的优良性能主要有：

一、良好的加工性 环氧树脂，特别是低分子重环氧树脂，由于分子量小，常温下，或稍微加热，便成流动液体。这样易于同固化剂起化学反应及加入填料，便于作成各种样式，并且操作简单。这样就为环氧树脂的广泛应用提供了有利条件。

二、高度的粘合力 环氧树脂有独特的粘结能力，它能粘结各种金属和非金属材料，有着“万能胶”之称。环氧树脂之所以有高度的粘结力，在于环氧树脂分子结构中具有羟

基 $\left(\begin{array}{c} \text{—C—} \\ | \\ \text{OH} \end{array}\right)$ 、醚基 (—O—) 和极为活泼的环氧基

$\left(\begin{array}{c} \text{---CH---CH---} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{O} \end{array} \right)$ 官能团的存在。羟基、醚基有高度的极性，

使得环氧树脂分子与相邻的界面产生电磁引力，而环氧基团则能与介质表面、特别是金属表面上的游离键起反应，形成化学键，因而环氧树脂的粘合力特别强。

三、优良的耐化学稳定性 由于固化后的环氧树脂含有稳定的苯环、醚键，并且环氧树脂的羟基不与碱起化学反应，固化后的环氧树脂中的酚性羟基已被醚化，存在的羟基又是脂肪醇性能。因此，环氧树脂固化后具有优良的耐化学腐蚀性能。

固化后的环氧树脂耐化学性如表

试 剂 名 称	温 度 °C	性 能
水	20~70	6 个月稳定
石油	20~40	24 个月稳定
50% 硫酸	20~40	6 个月稳定
50% 盐酸	20	6 个月稳定
50% 肥皂水	20~100	6 个月稳定
苯	20~40	6 个月稳定
10% 丙酮水溶液	20~40	6 个月稳定
汽油	20~80	6 个月稳定
10% 液碱	100	1 个月稳定

四、优异的绝缘性 环氧树脂是以共价键（原子键）而结合的高分子化合物，没有离子和自由电子，因此，环氧

树脂有着优异的电绝缘性。

五、机械强度高 由于环氧树脂结构中含有环氧基、醚基、羟基，使分子间引力增强；固化后的环氧树脂由线型结构变为体型结构，同时其结构紧密，因此机械强度高。

固化后的环氧树脂机械性能如表

项 目	数 据
抗拉强度 kg/cm^2	460~700
抗弯强度 kg/cm^2	900~1200
抗压强度 kg/cm^2	870~1740
抗冲击强度 $\text{kg}\cdot\text{cm/cm}^2$	10~20
弹性模量 kg/cm^2	23200~31800

此外，由于环氧树脂和固化剂的反应是通过直接加成反应来进行的，没有其他付产物生成，也没有气体产生，所以收缩率也很小。

第二节 环氧树脂的用途

由于环氧树脂及其固化物有上述独特的性能，常用于各种金属和非金属材料的粘结，除少数如聚乙烯、聚氯乙烯、聚四氟乙烯、硅树脂、硅橡胶等塑料外，对于铁制品、玻璃、陶瓷、木材、塑料、橡胶、皮革、水泥制品、纤维材料都有良好的粘结能力，尤其是对于那些不能经受高温的精密部

件的粘结，有着其他粘结技术无法比拟的优点。国外用环氧树脂粘合拖拉机及起重机上的零件可以经受12吨的荷载。因为环氧树脂固化后具有高的机械强度，用层压材料制成的玻璃钢，可以代替某些金属材料，目前已广泛用于汽车工业、造船工业、建筑业。由于环氧树脂的固化物有着优良的耐化学稳定性，在防腐和涂料工业中获得了迅速的发展，而且机械性能、弹性、光泽都大大优于其他材料。环氧树脂在电气工业中也成为必不可少的材料。

在铁路桥梁上，由于广大工人、干部和工程技术人员发扬了敢想、敢做的革命精神，环氧树脂这种新型材料也得到较广泛的应用。用环氧树脂处理钢筋混凝土梁裂纹，解决了过去长期没有解决的老大难问题。环氧混凝土或环氧胶类修补桥梁墩台裂损和抬高桥梁支座垫石，既提高了强度，又大大地缩短了施工慢行时间，适合战备要求，满足铁路运输多拉快跑的需要。以环氧树脂铺设的防水层，提高了抗渗能力，减轻了钢筋的锈蚀，延长了防水层铺设周期。环氧树脂作为钢结构的防锈涂料正在推广应用。可以说，随着环氧树脂这门科学的发展，通过工人、干部和工程技术人员不断探索，不断实践，不断总结，不断提高，环氧树脂这种新型的化学材料定能在铁路桥梁上获得更广泛的应用和发展。

第二部分 环氧樹脂的固化反应

原理和辅助材料

第一章 环氧树脂的固化反应原理

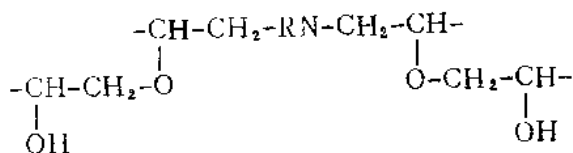
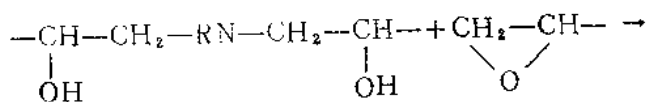
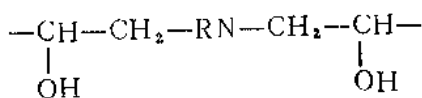
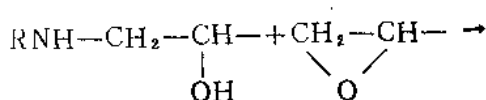
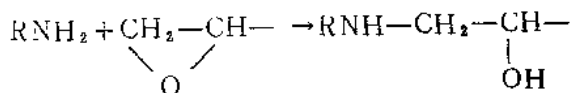
环氧树脂本身是热塑性、线型结构的高分子树脂，在使用时必须加入固化剂才能使线型环氧树脂分子交联成体型结构的巨大分子，成为不溶、不熔的环氧塑料，从而显示其独特的性能。

环氧树脂的固化剂以胺类比较普遍。根据张力学说，从热力学上讲，环氧基 $\left(\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}- \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{O} \end{array}\right)$ 是“三元环”结构，

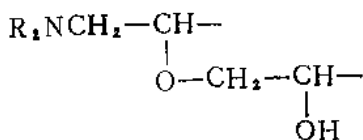
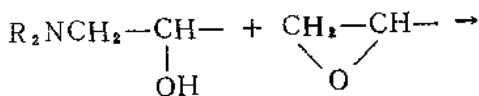
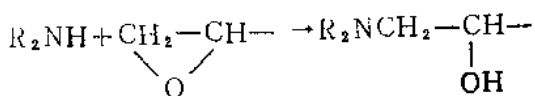
张力很大，所含的能量较高，碳原子二键极力恢复到正常键角（ $109^{\circ}28'$ ）的位置，所以极不稳定。环氧基和含有活泼氢的化合物等很容易发生反应，氧环开裂，反应的结果是氢加在开裂的氧原子上，而另一部分加在碳原子上；生成物中的羟基又可以与环氧基起醚化反应，最后生成巨大的体型结构分子。因为开环反应是由能量高的状态恢复到能量低的状态，所以该反应是放热反应。

反应过程如下：

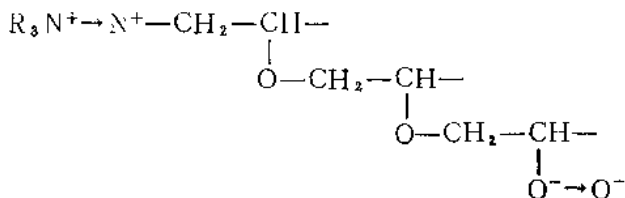
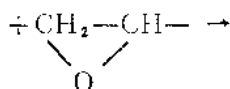
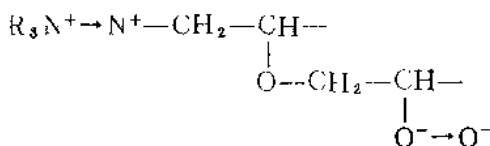
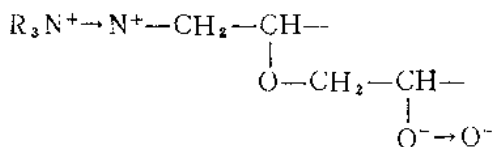
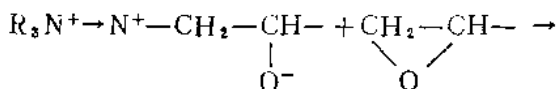
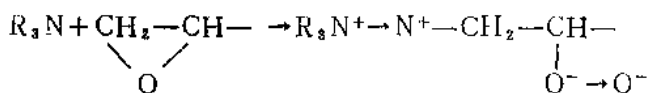
1. 一级胺（ RNH_2 ）



2. 二級胺 (R₂NH)



3. 三级胺 (R_3N)



其他类固化剂可根据化学原理写出反应过程。

第二章 环氧树脂的辅助材料

环氧树脂是热塑性树脂，它的固化必须加入固化剂才能实现，所以固化剂是必不可少的辅助材料。常温下，由于环氧树脂粘度较大，为了便于施工操作，就需要为降低粘度而加入稀释剂。固化后的环氧树脂，性能较脆，为了增加韧性，提高抗弯、抗冲击强度，还要加入增韧剂。根据生产中的不同需要，而做成不同式样的产品，同时，为要改变固化物的物理和机械性能，降低成本，还经常在环氧树脂中加入填充料。总之，环氧树脂塑料的配制基本上由环氧树脂、固化剂、稀释剂、增韧剂、填充料五部分组成。

第一节 固 化 剂

固化剂有的称为硬化剂、交定剂或熟化剂。它的功用在于使热塑性线型结构的环氧树脂分子变为热固性、体型结构的巨大分子。

一、固化剂的分类 环氧树脂的固化剂种类很多，按固化剂使用时的温度条件分为常温固化剂和加热固化剂。按固化剂化合物结构分为胺类固化剂，酸酐类固化剂，其他类固化剂。

二、胺类固化剂 目前所用的固化剂以胺类居多，按其化学结构分为：脂肪族胺，芳香族胺和改性胺类。

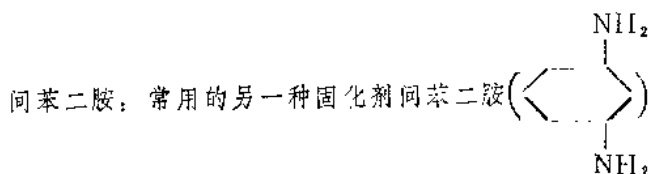
1. 几种常用的胺类固化剂

乙二胺：乙二胺（ $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ ）是最常用的一

种固化剂，属于脂肪族胺类，结构中含有四个活泼的氢。乙二胺是一种有刺激臭味的淡黄色液体，分子量60，沸点 116°C ，本身粘度低，可在常温下固化，所以使用方便。乙二胺易于挥发，对人刺激较重。固化时大量放热，使用寿命较短，固化后的环氧树脂性能较差。

二乙烯三胺：二乙烯三胺($\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{NHC}_2\text{H}_4\text{NH}_2$)也是脂肪族胺类的一种，结构中含有五个活泼的氢。颜色浅黄色，较乙二胺淡。分子量103.7，沸点 206.7°C ，凝固点 -39°C ，比重0.954。本身粘度低，可在常温下固化，所以使用方便，但使用寿命短。由于二乙烯三胺的沸点比乙二胺高，所以挥发性小，因而毒性也较小。固化反应也是放热反应，但较乙二胺放热量小，固化后产物的性能优于乙二胺固化的产物。

在使用乙二胺和二乙烯三胺时应把它放在阴凉处所，不要在阳光下曝晒。又因为易于挥发，所以应进行严密封存。在使用大瓶的药品时，最好事先分到若干小瓶后再使用。在配制过程中，应单独使用量杯，不能和其他化学药品的称量工具混用。当温度较低，出现凝结时，应缓缓加温，使其融化。一般应在配制好其他化学试剂后，最后加入上述固化剂。

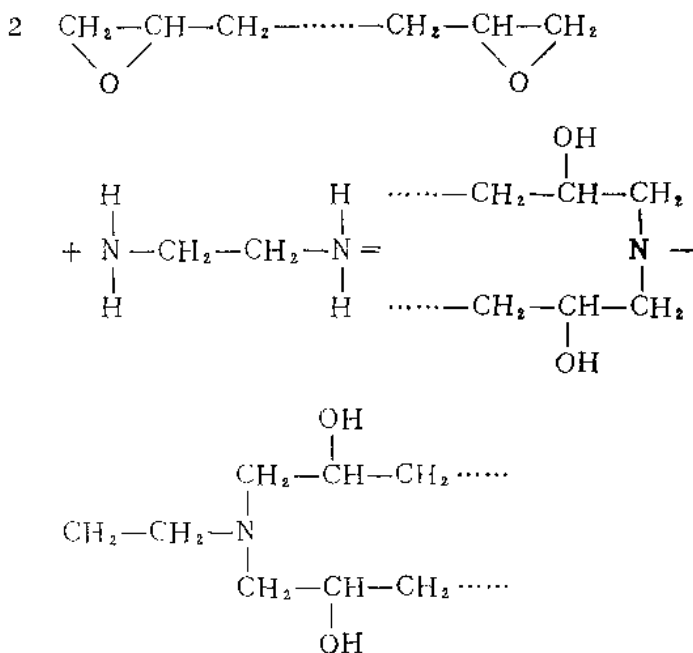


属于芳香族胺类，从结构上看它具有四个活泼的氢。间苯二胺是淡黄色的结晶，在空气中容易吸水，潮湿后颜色变成褐

色，分子量108，熔点63°C，因为它含有稳定的苯环，所以使用温度较高，固化后的产物耐热和耐化学腐蚀性较好，机械强度较高。

2. 胺类固化剂用量的计算

当胺类固化剂和环氧树脂混合在一起时，能使环氧树脂中的环氧基开环进行加成反应，并放出热量。以乙二胺为例，化学反应平衡方程式如下：



从上面的化学反应式可知：每一个环氧基要与一个活泼