

369

环氧砂浆涂料在 水力机械上的应用

黄河水利委员会水利科学研究所水力机械抗磨研究室

水利电力出版社

46

2

408

环氧砂浆涂料在水力机械上的应用

黄河水利委员会水利科学研究所
水力机械抗磨研究室

水利电力出版社

环氧砂浆涂料在水力机械上的应用

黄河水利委员会水利科学研究所

水力机械抗磨研究室

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

1978年7月北京第一版

1978年7月北京第一次印刷

印数 0001—7500册 每册 0.10元

书号 15143·3369

限 国 内 发 行

前 言

在英明领袖华主席提出的抓纲治国战略决策指引下，我国的水利水电建设事业正在蓬勃发展。各地人民发扬自力更生、艰苦奋斗的革命精神，兴建了许多水电站和排灌站，在工农业生产中发挥了巨大作用。但是，由于一些河流中含泥沙较多，水力机械磨损严重，不能正常运转，影响了工农业生产。为此，许多科研、院校、水电站及排灌站等单位，通过实验室及现场的大量试验，初步研制出一种抗泥沙磨损性能较好的环氧树脂金刚砂涂料，从而延长了水力机械的运转，缩短了检修工期。这本小册子主要叙述这种涂料的性能、配方、工艺以及应用实例等。由于我们的水平有限，书中会存在缺点错误，热诚欢迎提出批评指正。

编 者

1978年2月

目 录

前 言

一、概述·····	1
二、环氧砂浆的组成材料和性能·····	4
三、涂料配方和涂敷工艺·····	12
四、涂料的使用情况·····	27

一、概 述

我国水力资源的蕴藏量极为丰富，随着社会主义建设事业的发展，在工业学大庆、农业学大寨的运动中，修建了越来越多的水电站和机电排灌站，在抗御旱涝灾害，保证工农业用电方面发挥了巨大作用。但在含泥沙水流条件下运行的水轮机和水泵，由于泥沙对其过流部件的摩擦、冲撞引起磨损破坏，特别是在含沙量大、泥沙颗粒硬、形状带棱角的情况下，破坏就更严重。黄河中游某水电站的一台水轮机，在过机年平均含沙量为 2.89公斤/米^3 ，泥沙颗粒中数粒径 $d_{50}=0.043\text{毫米}$ 的条件下，机组运行 4.5万小时 左右（其间已经过三次修补），转轮叶片遭受到严重的泥沙磨损（见图1）。

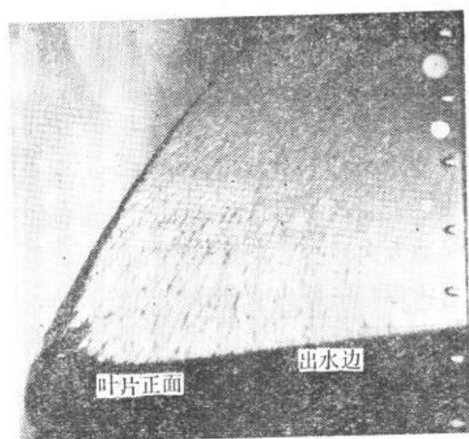


图1 水轮机叶片泥沙磨损状况

同样的一台水轮机在清水河流上运行 3 万多小时，转轮叶片上看不出任何磨损痕迹。黄河下游某电灌站上的轴流泵，在年平均含沙量为 37 公斤/米^3 ，泥沙颗粒中数粒径 $d_{50} = 0.023$ 毫米的情况下，泵轮运转 1 千多小时左右就报废了(见图 2)。

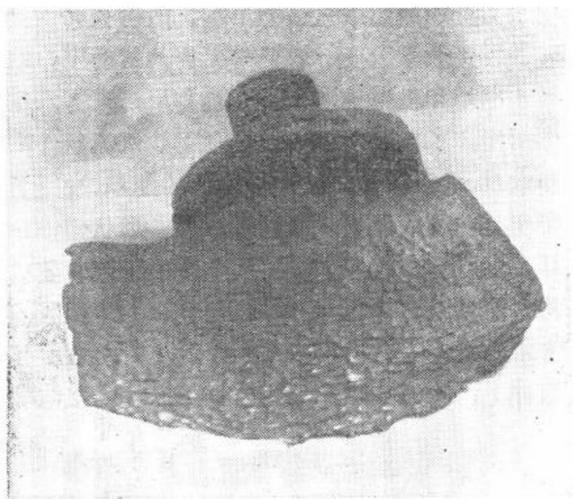


图 2 水泵叶片泥沙磨损状况

同样的水泵在清水条件下可使用 10 年以上。水力机械的严重磨损不仅带来了大量的检修工作，而且使得机组效率降低，有效工作小时数大大减少，严重地影响了工农业生产。某水电站的一台水轮机，主要由于泥沙磨损的影响，运转 1.3 万小时左右，效率就降低了 40%。

在含泥沙水流条件下，水力机械除泥沙磨损外，也存在汽蚀破坏，而且情况往往比清水条件下更严重。

为了延长水轮机及水泵的使用寿命，防止泥沙磨损，在

水工建筑物的布置方面，可修建沉沙池，使泥沙少进入，或者使大颗粒的泥沙尽量不进入水轮机和水泵；也可对机型进行改进和选用优质材料制造等。这些措施都在不同程度上起到了一定的作用，但至今尚未有显著的成效。在水轮机、水泵修补的方法上，国内外多为堆焊的方法，即在部件的损坏处，用焊条进行焊补，使部件恢复原来的形状；也有将易磨损的部位，做成一个可更换的部件，如抗磨板。这种焊补方法缺点是：价格昂贵、施工不便和工期较长。对此，人们曾设想用一种工艺简单的涂料，涂抹于部件的损坏部位来代替焊补工序。随着化学工业的迅速发展，出现了很多新型的高分子材料而使这种设想得到实现。这些高分子材料一般都有很好的抗蚀、耐磨以及其他优良的性能，在水电建设方面得到了越来越多的应用。根据材料性质和水力机械抗磨的要求，非金属涂料大致有三类：一类是以环氧树脂为基础，加入各种固体填料的抗磨涂料。第二类是以各种弹性剂，如各种橡胶、聚醚型聚胺脂及橡胶等为基础的柔性涂料。第三类是以粉末塑料如尼龙粉等为基础的热塑性涂料。

环氧树脂金刚砂抗磨涂料是利用环氧树脂具有很高粘结力的优点，使涂层与部件牢固的粘结，使加入涂层的填料牢固的粘结成一个整体。应用填料的目的，主要是抗磨。可用的填料有石英砂和硬度很高的金刚砂，此外，还有辉绿岩粉、玻璃砂以及各种金属粉末等，其中以金刚砂抗磨效果最好，所以一般都采用金刚砂作为填料。各种粒径填料的级配对抗磨有很大影响，良好的级配能使孔隙减小，密度加大，提高耐磨性。另外，为了增加涂层整体性，还可在填料中加入一定量的玻璃纤维或尼龙丝等。这种抗磨涂料用于抗泥沙磨损的效果是好的，在抗汽蚀方面也有一定作用，但效果较差。

二、环氧砂浆的组成材料和性能

环氧砂浆由环氧树脂加固化剂、增韧剂、稀释剂和各种填料组成。

1. 环氧树脂

环氧树脂是涂料配制中的主要材料。常用的环氧树脂是双酚A型的。根据聚合所用原料配比等因素的不同，缩聚而成的树脂分子量也是不同的。平均分子量为400~7000。目前常使用的是低粘度的6101型环氧树脂。这种环氧树脂具有粘度低、使用方便及价格便宜等优点。

环氧树脂的牌号及规格如表1所列。

环氧树脂具有很多的优点。

(1) 粘合力大 在环氧树脂的分子结构中，含有羟基

(—OH)、醚基(—O—)和极为活泼的环氧基 $\left(\begin{array}{c} \text{—CH—CH—} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{O} \end{array} \right)$ ，

由于羟基及醚基具有很强的极性，使环氧树脂分子与相邻界面产生很大的吸力，而且环氧基团能与介质表面，特别是金属表面上的游离键起反应，形成化学键，使得环氧树脂的粘合力特别强。如与#30钢的粘合强度，一般可达600公斤/厘米²。在环氧树脂中掺入适量的金刚砂及石英砂等耐磨材料，涂敷于磨损部件的表面，不但涂层本身强度很高，而且涂层与工件之间的粘结也很牢固。

表 1

环氧树脂牌号及规格

产 品 牌 号	规 格		
	软化点(°C)	环氧值(当量/100克)	挥发分(%)
*618		0.48~0.54	≥ 2
*619		<0.48	≥ 2.5
*6101	12~20	0.41~0.47	≥ 1
*634	21~27	0.38~0.45	≥ 1
*637	20~35	0.30~0.40	≥ 1
*638	40~55	0.23~0.38	≥ 1
*601	64~76	0.18~0.22	≥ 1
*603	78~85	0.10~0.18	≥ 1
*604	85~95	0.09~0.14	≥ 1
*607	110~135	0.04~0.07	
*609	135~155	0.02~0.045	
*644	≥ 40	<0.44	≥ 2
*648	≥ 70	<0.44	≥ 2
*662		0.55~0.71	
*695	90~95(熔点)	0.90~0.95	
*670	20~35	0.35~0.45	≥ 1
*665	(固体含量) ≥ 50% 液体	0.01~0.03	

(2) 良好的工艺性能 一般常用的 *6101 环氧树脂, 在常温下流动性较好。涂料拌和时, 可根据涂层的不同要求, 调整其稀稠度, 以适应各种工件的涂敷和粘合。

(3) 收缩性小 环氧树脂在固化的过程中没有付产物, 收缩率较小, 一般小于 2%。对于加入大量填料的抗磨涂料收缩率更小。

(4) 吸水性小 环氧树脂的吸水性很小, 在室温作用下, 吸水率仅在 0.5% 以下, 不会由于涂层长期在水中而膨胀。因此, 环氧树脂作为涂料, 防止水轮机及水泵的泥沙磨

损是适宜的。

此外，环氧树脂还有良好的化学稳定性和电绝缘性等优点。

2. 固化剂

环氧树脂使用时必须加入固化剂，使线型的环氧树脂分子交联成网状结构的硬化物。因此，固化剂是应用环氧树脂必不可少的组成材料。固化剂的种类很多，其中有多元胺类、多元酸酐类及各种胺类改性物等。多元胺类有：乙二胺、三乙烯四胺、四乙烯五胺、多元胺及简苯二甲胺等。酸酐类有：邻苯二甲酸酐及顺丁烯二酸酐等。咪唑类有：二甲基咪唑、二乙基咪唑及二乙基四甲基咪唑等。胺类的改性类有：N'-羟乙基乙二胺等。水轮机及水泵等防止泥沙磨损的涂层，大部是在室外或现场施工。考虑到现场的加温条件，应用毒性尽量小的材料，一般采用胺类固化剂较多，其中以三乙烯四胺、四乙烯五胺及聚酰胺较为普遍。这类固化剂，具有毒性较小、粘度低、固化快，可在常温下固化等优点。

各种固化剂的粘合强度见表 2。

固化温度对粘合强度的影响很大，以四乙烯五胺为例，在 50℃ 时，固化 8 小时的强度是 20℃ 时固化 72 小时的 1.3 倍左右。固化温度再升高，粘合强度将会有所降低。因此，应针对使用不同的固化剂，控制合适的固化温度。

必须严格掌握固化剂的用量。用量多，使高分子键迅速终止，降低固化物的分子量，影响固化物的机械强度。同时，由于游离胺基残存在树脂中，使固化物耐水性降低；用量少，则固化不完全，也影响强度。固化剂的用量可按胺基上的一个活泼氢和树脂中一个环氧基相对应来计算，其公式如下：

表 2 各种固化剂环氧树脂的粘合强度

固化剂名称	100克环氧树脂中 固化剂的用量(克)	粘 合 强 度 (公斤/厘米 ²)	固 化 条 件	
三 乙 烯 四 胺	10	598	70°C	4小时
四 乙 烯 五 胺	12	607	70°C	4小时
聚酰胺*650	100	441	70°C	4小时
二甲基咪唑	5	389	120°C	4小时
二乙基咪唑	5	468	120°C	4小时
双氰胺	6	687	180°C	4小时
顺丁烯二酸酐	35	582	160°C	4小时
邻苯二甲酸酐	40	664	160°C	4小时
三 乙 烯 四 胺	7	546	70°C	4小时
聚酰胺*650	40	546	70°C	4小时
二甲基咪唑	3	502	70°C	4小时
聚酰胺*650	40	502	70°C	4小时
四 乙 烯 五 胺	5	562	70°C	4小时
聚酰胺*650	40	562	70°C	4小时

- 注 1.二甲基咪唑和二乙基咪唑为粉状固体，使用前必须进行溶解。溶剂比例为：二甲基咪唑或二乙基咪唑与环氧丙烷丁基醚(501稀释剂)之比为3:5；
2.粘合强度试验是用两个面积为10厘米²的*30钢试件拉开试验的结果。

$$G = \frac{M}{H_n} Z$$

式中 G ——每100克环氧树脂所需胺的克数；

M ——胺的分子量；

H_n ——胺基上活泼氢的总数；

Z ——环氧树脂的环氧值。

固化剂的用量也可由试验粘合强度选定，试验结果如图3所示。

图3中环氧树脂用量为100，选定的最优用量三乙烯四胺为10，四乙烯五胺为12。另外，如二乙烯三胺最优用量为

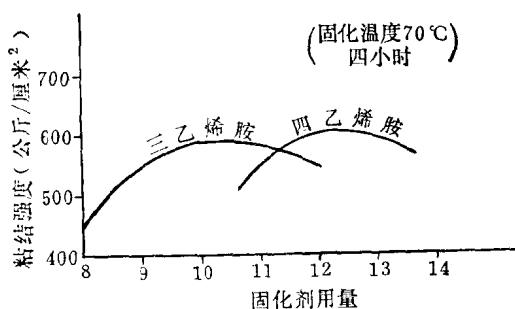


图 3 固化剂用量曲线图

8，二甲基咪唑的最优用量为 4，双氰胺的最优用量为 6，多乙烯多胺的最优用量为 15，单独使用聚酰胺*650时，最优用量为 8。

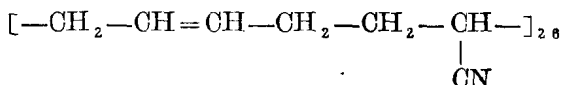
通过试验选定的最优固化剂用量，是指在一定固化温度条件下的，若在现场施工，温度不能加以控制时，固化剂最优用量略有增减。

3. 增韧剂

单纯的环氧树脂固化物较脆，抗冲击强度较差，为了改善环氧树脂固化物的这一不足之处，提高抗冲击强度，必须加入适量的增韧剂，对环氧树脂进行改性。增韧剂的种类很多，其中有活性的和非活性的。非活性的增韧剂如：邻苯二甲酸二丁酯等。这类增韧剂，不能随着环氧树脂的固化起化学反应。时间久了，还会游离出来，增韧效果比较差，所以一般不采用。活性的增韧剂如：液体丁腈橡胶及聚硫橡胶等。这些活性增韧剂能和环氧树脂起化学反应，是环氧树脂硬化物的一部分，增韧效果也比较好。以上几种活性增韧剂是最常用的。分别介绍如下。

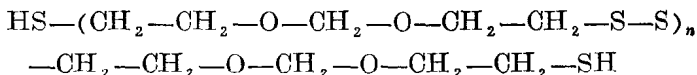
(1) 液体丁腈橡胶

丁腈橡胶是由丁二烯和丙烯腈共聚而成，它的结构式为：

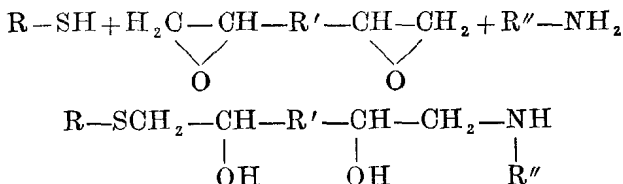


(2) 聚硫橡胶

聚硫橡胶是一种具有粘性的浅褐色液体，用于环氧树脂，一般采用分子量为1000和4000的。粘度是随着分子量的增大而增大。它的结构式为：



环氧树脂与聚硫橡胶需在有机胺（或其它促进剂）的存在下，才能交联成具有良好粘结力的固化物，其应用式为：



在通常的条件下，硫醇基与环氧基的反应力比胺基弱，如果不加催化剂，几天的时间尚不能充分固化，在环氧中加入三乙烯四胺等，则会很快固化。

聚硫橡胶掺量在20~40%时，不仅增加韧性，而且比不掺时，粘结强度有所提高。聚硫橡胶超过以上用量，虽说韧性增大，粘结强度则降低。聚硫橡胶的用量可根据分子量的大小不同而增减，如分子量为1000时，用量可以提高40~50%。

4. 稀释剂

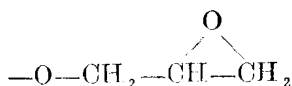
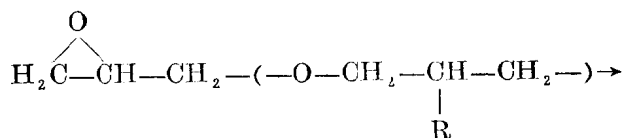
稀释剂的主要作用是降低环氧树脂的粘度，便于施工。

稀释剂也有活性的和非活性的两种。

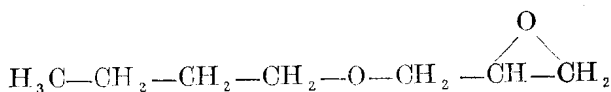
活性稀释剂的分子中含有环氧基，能在环氧固化时同时参加反应，成为环氧网状结构中的组成部分，使用效果比较好。

活性稀释剂种类很多，常用的有：

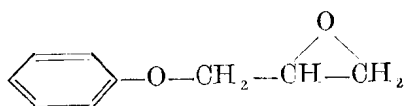
甘油环氧树脂-662，结构式为：



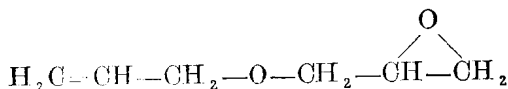
环氧丙烷丁基醚-501，结构式为：



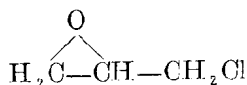
环氧丙烷苯基醚-690，结构式为：



环氧丙烷丙烯醚，结构式为：



环氧氯丙烷，结构式为：



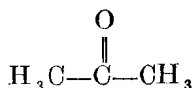
活性稀释剂的用量，一般为树脂重量的 5~10% 左右，

大于20%时，会影响树脂的性能。因为稀释剂本身是短链分子，因而阻碍了链的建成，影响主要性能。对于用量过多的稀释剂，在硬化时要逸出一部分，会增加收缩率，降低粘合力等。活性稀释剂有的毒性比较大，如“690”稀释剂，对人的皮肤有强烈的刺激作用，因此，使用时，应尽量选择毒性小的，如“501”稀释剂等。

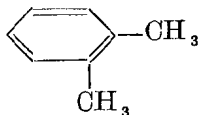
非活性稀释剂，不参加环氧树脂的固化反应，仅仅是起降低粘度的作用。在环氧树脂固化时，也还会有部分逸出和增加环氧树脂的收缩率，严重的还会产生气泡。所以除在表层喷涂时应用外，一般则尽量不要采用。

非活性稀释剂有：

丙酮，结构式为：



二甲苯，结构式为：



5. 填料

应用环氧树脂时，需在配方中加入适量的填料，这样，不仅可提高涂料的耐磨性，减少热胀系数和收缩率，还可减少树脂用量；降低成本和改善操作工艺等。环氧树脂本身的抗磨性能并不太高，而抵抗强烈的泥沙磨损主要是依靠加入的填料。填料的种类很多，如有机物、无机物、金属和非金属都可以作为填料。但必须是中性或弱碱性的，而且和环氧树脂及固化剂不起化学反应。填料的应用可根据不同的要

求进行选择。若为增加抵抗泥沙磨损，可采用金刚砂、石英砂、铸石粉及玻璃粉等；为增加抗冲击和整体性，可采用尼龙丝、尼龙布、玻璃纤维及石棉纤维等。另外，加入适量的氧化铝粉及瓷粉等，对粘结强度也有所提高。

水力机械抗磨涂料所用的金刚砂，一般选用180目、150目、120目、100目、80目和60目等粒径。为使涂层坚实耐磨，最好采用以上数种粒径进行级配，效果较好。

三、涂料配方和涂敷工艺

1. 涂料的配制

环氧砂浆涂料是由环氧树脂、固化剂、增韧剂、稀释剂以及填料等材料配制而成的。对于各种材料的用量、涂敷工艺，以及涂层涂敷的层次都需要有严格的要求，否则，涂层的粘结强度和耐磨性能将受到影响，环氧砂浆涂料常用配方如表3。

通过实践证明，涂层的层次用三层组成较好，即底层、砂浆层和表层。底层的作用主要是增加被涂工件和砂浆层之间的粘结力。由于砂浆层填料较多，稠度也较大，使浆液不能很好的浸润工件的表面，所以，底层在整个涂层中起着很重要的作用。砂浆层是环氧砂浆涂料三层中最重要的一层，主要是靠该层来抵抗泥沙磨损和汽蚀破坏的。如何提高该层的抗磨及抗蚀性能，是环氧砂浆抗磨涂料效果好坏的关键。在砂浆层固化后，在其表面涂刷表层，它的主要作用是提高涂层表面的光洁度。