

原成[78]-007

内 部

科学技术成果报告

用环氧玻璃钢检修脉冲管的试验

五室玻璃钢小组

中国科学院原子能研究所

一九七八年二月

—03

用环氧玻璃钢检修脉冲管的试验

摘 要

本文介绍了反应堆卸料机构的脉冲管由于应力腐蚀造成破裂漏水的检修工艺和材料。通过试验,提出了用环氧胶泥堵漏的方法,以解决脉冲管在检修时漏水而影响下一步检修的问题。介绍了用环氧浇铸料及环氧玻璃钢缠绕法解决脉冲管的增强及防腐蚀的材料和工艺;实践证明,本文介绍的材料和工艺满足了工程的要求,解决了实际问题。对于其它类似的检修问题,有参考价值。

脉冲管为反应堆卸料系统的组成部分,它是工艺管下部的“蘑菇头”与堆上部的高压水箱的联接管。当工艺管中元件达到规定燃耗时,水箱内的水以80公斤/厘米²的脉冲压力流经此管,压迫“蘑菇头”开启而卸元件。每根工艺管联接一根脉冲管,管子为日本进口的1Cr18Ni9Ti不锈钢管。脉冲管经过十多年的运行,由于腐蚀,在不同部位产生了纵、横、星型等不规则的贯穿性破口,加压卸料时明显漏水,压力升不上去,严重影响卸料。检修的任务,一是对目前已经坏了的管子要立即采取措施,使其不漏水,保证正常卸料;二是对目前还没有坏的管子全部采取防腐措施,保证今后不再损坏。检修后要求能承受80公斤/厘米²的工作压力,个别情况下达110公斤/厘米²(工作环境温度为70-80°C,湿度为饱和水蒸汽),此外还要求使用10-15年。

一 方案 的 选 择

脉冲管由束板固定,成束的排列在一起,每束196根,管径是 $\Phi 10 \times 1$ (毫米),管间距竖向是10毫米,横向是5毫米,防腐蚀段长度5米左右。检修时,可将墙根以外的束板取掉,管间距可以拉大,但是在墙根部位,管子从水泥墙穿过和混凝土浇铸在一起,相当一段长度(约半米左右)管间距无法拉大,由于管子排列密集,给检修造成一定困难。根据使用要求和操作条件,提出了两个方案:一是焊接方案,这个方案是全部换新的不锈钢管,但是由于管间距小,有焊不到的死角,很难保证质量,防腐防漏没有保证,而且检修工期也要很长。另一个是玻璃钢方案,这个方案是旧管子全部不换或者少量更换,作法是墙根以外的部分采用手工缠绕的环氧玻璃钢,墙根部分,由于管子排列密集,无法进行手工缠绕,采用环氧胶泥压铸法将其全部浇灌起来。玻璃钢方案的优点,一是工艺简单,二是既防腐又防漏,三是进度快,检修工期短,四是相对成本也较低。但是这个方案也产生一些问题:

1. 由于不锈钢和玻璃钢的热膨胀系数不同,特别是它们的导热系数差的更远。因此不锈钢和玻璃钢这种复合结构,在承受内压、热和温度梯度等造成的内应力作用下,缠绕玻璃钢或浇铸体与不锈钢管壁之间是否会脱开而漏水?

2. 由于树脂固化过程中收缩, 会不会造成浇铸体和管子及浇铸盆体脱开漏水?
 3. 浇铸材料的强度能否承受要求的工作压力?
 4. 浇铸料在浇铸时会不会从管子的破口处流进管内, 造成管子的堵塞?
 5. 浇铸如果产生气泡或浇铸不完全 (内部有孔隙) 管与管间的破口是否会贯通?
- 针对以上问题, 我们对玻璃钢方案进行了初步试验。

二 缠 绕

试验样品用长为0.5米, $\phi 10 \times 1$ (毫米) 的不锈钢管, 每根两端加工 $M 10 \times 1$ 的螺纹, 以便水压试验时与水压设备的接头连接, 在每根管子上用钢锯拉10毫米长, 1毫米宽左右的纵、横破口各一条, 用这种管子按照缠绕玻璃钢的工艺进行手工缠绕, 固化后进行检验, 示意图见图1。

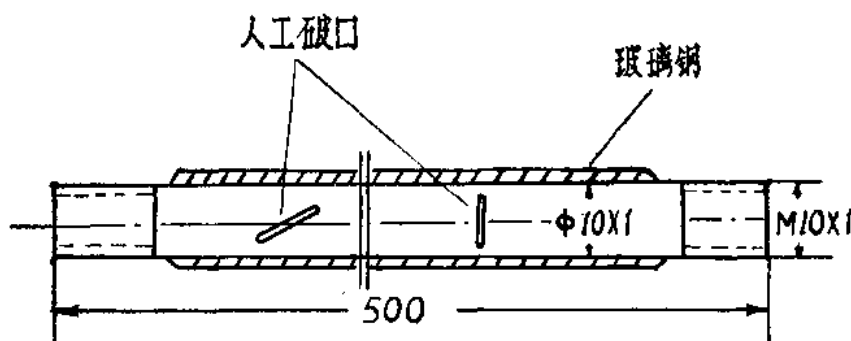


图1 试验用管子人工破口示意图

样品的制备按下述工艺顺序进行: 管子表面处理→胶泥的配制及堵漏→底漆及预浸玻璃布带用胶的配制→玻璃布带的处理→预浸胶→缠绕→刷面漆, 固化后试压。以下按工序分别讨论。

1. 管子的表面处理 由于条件限制, 实验中只用了在现场能用的方法进行了简单的处理。首先用“O”号砂布将管子上的尘垢除去, 打磨干净, 使之光洁, 特别是破口处更要严格。然后用丙酮擦洗直至管子上没有污物为止, 一般擦洗两次就可以了。

2. 堵漏及胶泥的配制 在现场施工中, 脉冲管中的水无法全部排出, 管子的破口处仍然有少量的水滴漏。因此必须选用在有水的情况下也能粘结的很好、很快固化、有一定强度的堵漏材料, 在涂刷底漆和缠绕之前用它将漏水的破口堵住, 保证施工的质量。根据这一要求, 我们选用了酮亚胺和聚酰胺600* 两种固化剂的环氧胶泥为堵漏材料进行试验, 其配方见表1。

堵漏方法是比较简单的, 首先将固化剂之外的其他成分称好调匀, 最后加入固化剂再迅速调匀, 用手指或其它合适的工具取少量配好的胶泥, 看准破口, 最好一下将胶泥抹在破口处堵好, 在已不漏水的情况下, 再取适量的胶泥用力在破口的周围涂抹, 使其和管子粘牢。胶泥涂抹的范围, 最好是将破口这一段整个包一周, 破口这一段两边各延长20毫米左右, 厚度1毫米左右。

试验结果: 用酮亚胺和聚酰胺600* 配成的环氧胶泥, 都可以在水自然滴漏的情况下

达到堵漏的目的，都可以在有水的情况下固化，有一定的粘结强度，固化的胶泥也有一

表1 堵漏材料配方（重量份数）

配 方	材料 环氧树脂 (6101)	酮亚胺	聚酰胺 600*	苯酚	DMP 30*	邻苯二甲酸 二丁脂	粉状填料
1	100	25		6		10	200—300
2	100		10—15		1		200—300

定强度。二者比较，聚酰胺配制的胶泥粘结性好，强度高，固化的快，比较可靠；酮亚胺配制的胶泥粘结性和强度都差些，固化的也慢，不十分可靠。但聚酰胺配制的胶泥使用期短，配好后十几分钟就硬了而不能再用，要求现场施工时，要少量多次配制，另外可适量减少些聚酰胺的比例，或适当加些邻苯二甲酸二丁脂或690、590等活性稀释剂调节使用期，采用聚酰胺比酮亚胺效果好。

胶泥中的粉状填料则用160目或更细的 Al_2O_3 粉或滑石粉、立德粉均可，其比例可根据使用情况适当调节，填料少了胶泥稀，容易流淌；填料多了太干，粘结性不好，所以一定要干稀适当。

3. 底漆及预浸布带用胶 在底漆和浸胶用的胶料中，虽然都用6101环氧树脂，由于固化剂不同，其粘结性能和强度差别很大，我们选用了乙二胺、590、聚酰胺600* 三种固化剂进行了试验，配方见表2。

表2 底漆和胶料配方（重量份数）

配 方	材料 环氧树脂 (6101)	乙二胺	590	聚酰胺 600*	邻苯二甲酸 二丁脂	丙酮	粉状填料
1	100	8			10	20	20 (Al_2O_3 , 立德粉, 粉辉绿岩均可)
2	100		18		10	20	20 "
3	100			20		20	20 "

用上述配方为底漆和预浸布带用的胶料，按前面叙述过的样品形式和工艺顺序各制备五根管子，管子经堵漏，涂完一层底漆后用预浸的玻璃布带（20×0.1毫米），重叠二分之一缠绕四层，破口每边各延长15—20厘米，其余部分缠两层，然后涂一道面漆固化后试压。

试压标准 110公斤/厘米²，保压三分钟，不漏水即为合格。

试压结果

配方1的五根中，四根压力升上去即漏，只一根未漏；

配方2的五根中，四根保压近三分钟漏，其中一根未漏；

配方3的5根中，四根未漏，一根保压近三分钟漏了。

上述结果说明粘结力和强度是聚酰胺600* 优于590，590优于乙二胺，因此我们认为

最好采用配方3，配方2经过一些改进也可能满足要求，但配方1希望不大。

4. 预浸用玻璃布带的处理 市售的玻璃布带往往都是以石蜡作浸润剂的，而石蜡的存在影响布带和树脂的粘结，因此必须进行脱蜡处理。我们采用热处理脱蜡，因条件有限，只是在一个3瓩的电炉上使布带缓缓的通过其上面，将蜡烧掉。经处理的玻璃布带浸胶后几乎半透明，胶浸的很好，我们认为就可以了。处理的温度不能太高，时间也不能太长，否则造成玻璃布带强度降低太多，缠绕时会一拉就断。所用的玻璃布带最好专门订货，如用环氧树脂做胶料，就可用环氧树脂做浸润剂的玻璃布带的或聚醋酸乙烯及硅烷型浸润剂的玻璃布带也可以，这种布带拿来就可用，不用热处理，粘结性和强度也很好。

5. 预浸胶 这个方法是将玻璃布带在一个简单设备上(示意图见图2)经过浸胶卷到一个芯轴上，卷到一定长度后，连芯轴一块取下来用其缠绕，芯轴多可以交替使用，连续进行，缠绕过程中不必在每层间再涂胶，玻璃布带的含胶量由挤胶辊调节。用这种方法浸出的胶带，胶量均匀，浸的透，缠的也较快，方便，省胶，是一个较好的方法。

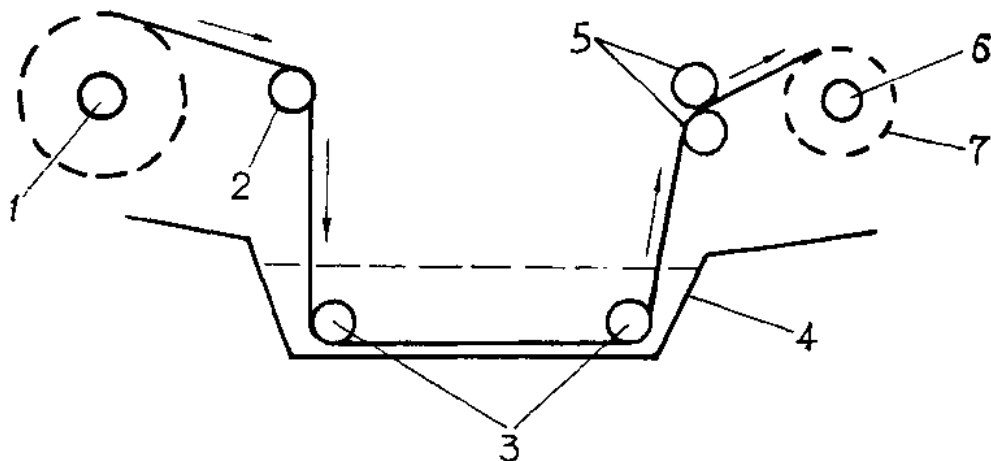


图2 预浸胶设备示意图

- 1、玻璃布带盘；2、导向辊；3、浸胶辊
4、胶槽；5、挤胶辊；6、芯轴；
7、预浸带

6. 缠绕 这是不同的人用手工操作的一个过程，虽然材料和配方都没问题，但由于工艺上操作不当，往往效果相差很大。工艺上的因素很多，由于是手工操作很难控制，这里只将几个主要的影响因素粗略的讨论一下。

A) 缠绕角 为了保证缠绕的强度，缠绕时要求重叠均匀，不产生松紧边及喇叭口等现象，缠绕时要严格控制玻璃布带和管子之间的角度，由于手工缠绕很难掌握角度在实际施工中，严格控制重叠宽度的二分之一就可以达到要求了。

B) 含胶量 即缠绕的玻璃钢中所含的胶料的数量。我们这种管子，要求耐压防漏，又要防腐，根据一般的规律，含胶量高，则密封性和耐腐蚀性能好。我们为了提高含胶量，在胶料中加入了粉状填料使胶料稠些，同时粉状填料对于提高玻璃钢的密封性也

是有好处的。当然胶量也不宜过多，否则流淌造成浪费并且操作环境很不卫生。

C) 缠绕张力 即缠绕时玻璃布带拉紧的力。对于用作单纯防腐的管子，这个问题可能不是很重要，只要保证较高的含胶量就可以了。但对于受内压及热应力作用下的管子就要比较重视这一问题。张力小了，受压时玻璃钢容易变形，树脂开裂，特别是我们应用在管子外面增强堵漏的情况下，使玻璃钢与不锈钢的粘结破坏，造成沿管壁和玻璃钢的界面渗漏。从减小变形，防止开裂这一点出发，缠绕时拉得愈紧愈好。我们试验中有的管子漏了，缠绕时玻璃布带拉得不紧，这可能也是一个原因。但也不能拉的过紧，否则将胶料挤出过多，含胶量减少，或将玻璃布带拉变形，在管子上滑动也是不利的。一般每公分宽度的布带上有三公斤左右的张力也就可以了，但由于手工操作，特别是没有经验，很难掌握，所以在现场施工中用力拉紧些也就可以了。

7. 刷面漆 面漆最好在缠绕完一天后刷，过早刷面漆，容易流淌，且内部的溶剂没有很好挥发，容易形成气泡，对于防腐是不利的。面漆的配方与缠绕用的胶料相同。管子的缠绕，除了刷面漆隔一天，其余工序都连续进行，这样比分层施工质量好，而且工期短。

三 浇 铸

1. 浇铸试验样品的型式 用与缠绕相同型式的不锈钢管，装在有机玻璃浇铸盒内，然后进行浇铸，共搞了三种型式，见示意图3及4。

第一种：见图3

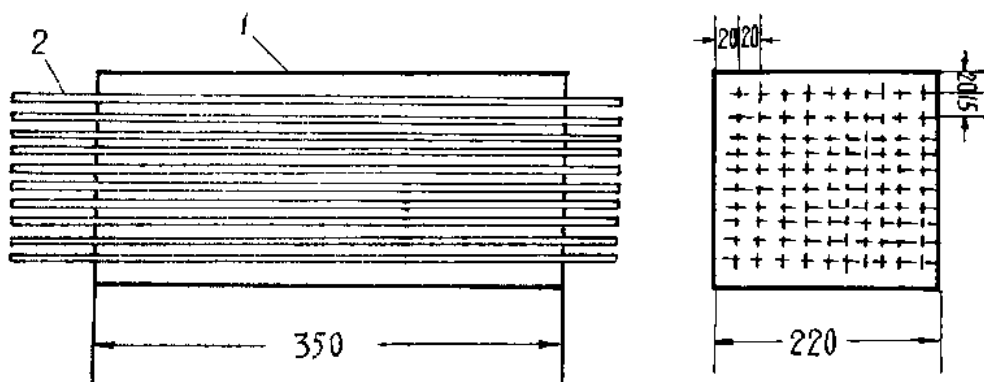


图3 多管浇铸样品的排列示意图

1——有机玻璃浇铸盒；2——浇铸管（10×10排列。）

第二种：盒体与第一种相似，管子减为4×4排列，共三盒。两种盒中都有一半管子可试压。

第三种：单管浇铸。

2. 浇铸用底漆和浇铸料的配制 见表3

3. 浇铸工艺

第一种浇铸盒：首先将管子按缠绕用管一样打磨处理干净，装盒之后，用专门刷子

用力反复涂刷配方5底漆一层，特别是破口处更要反复涂刷，使底漆将破口封住。第一

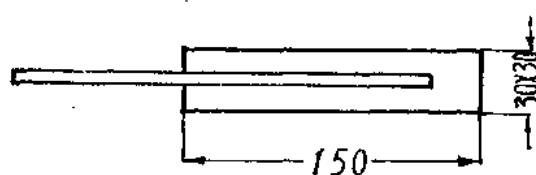


图4 单管浇铸样品示意图

层底漆干燥一天后，再涂刷一层，再干燥一天后进行浇铸。以配方1浇铸两次，配方2浇铸两次（从上沿管间缝隙往下倒），每次间隔一天，全部浇铸完后，固化两天试压。

第二种浇铸盒以配方6代替配方5为底漆，涂刷工艺相同。以配方2、3、4各浇铸一盒，一次浇铸完毕，在70—80℃条件下固化24小时以上，冷却后试压。

表3 浇铸用底漆和浇铸料的配方（重量份数）

材 料 配 方	环氧树脂 (6101)	590	聚酰胺 600*	邻苯二甲 酸二丁酯	预浸玻璃 带碎片 1—2厘米 ²	滑石粉	氧化 铝粉	辉 岩粉	绿 粉	丙 酮
1	100	18		10		80—100				
2	100		10		5—10	80—100				
3	100		10	8	5—10		80—100			
4	100		10		5—10			80—100		
5	100	18		10		50				20
6	100		20	6			50			20

第三种单管浇铸以配方3为浇铸料，预浸玻璃带碎片加入量很少，其余工艺与第二种盒体相同。

4. 试压结果与结果分析

试压标准：110公斤/厘米²，保压三分钟，不漏为合格。

试压结果：第一种盒体，大多数管漏，极少数不漏；第二种盒体，以配方2、4为浇铸料者各漏一根，其余的不漏，以配方3为浇铸料者全部不漏，单管浇铸体破裂。

结果分析：

（1）第一种盒体漏的管子都是沿管壁从盒体端面渗水，解剖后看底漆和管子基本没有粘结，浇铸料有些软，强度低，固化尚不完全，因此造成渗漏。第二种和第三种盒体底漆（配方6）和管子粘结力强，浇铸体经热固化，强度高，因此基本不漏或全部不漏。

（2）配方3由于加入了邻苯二甲酸二丁酯，与配方2、4比较，其流动性好了，使用期长了，因而更容易保证质量，而配方2、4流动性差，特别是使用期仅二十几分钟，操作紧张，不容易保证质量，虽然配方2、4强度高些（升压到150公斤/厘米²未漏，配方3升压到150公斤/厘米²漏），但配方3也满足了强度的要求，从质量和工艺上考虑，还是配方3为佳。

（3）配方3浇铸的单管试体，由于填加预浸玻璃带碎片很少，浇铸体强度不够，

造成开裂,由此看来在浇铸料中填加适量的预浸玻璃带碎片,提高其强度还是必要的。几种粉状填料未看出明显差别。

(4) 多次分层浇铸是为了弥补由于浇铸料固化收缩产生的缝隙而采取的方法,经过试验观察,浇铸体没有明显的收缩,看不到缝隙,并且每次浇铸料中的气泡多数逸到上层不能排出,下次将其埋在里面影响质量,因此多次分层浇铸是不成功的,也是不必要的。

(5) 预浸玻璃布带碎片填塞在管隙间,然后浇铸料从上往下倒,这样填料和管隙间的气体不易排出,容易造成空隙,尤其是最下层浇铸料不容易流下去,严重影响质量,因此最好采取从盒体底下往上加压力浇铸的办法,这样就可避免上述缺陷。

(6) 采用刷底漆的办法可以保证将破口堵住,免除了浇铸料流进管内造成堵塞的弊病。在现场施工中有的小缝隙很难观察,要反复的、全面的涂刷底漆,要注意避免有漏刷部分。

(7) 环氧聚酰胺的浇铸料一般固化较快,虽然在加入邻苯二甲酸二丁酯后有所改善,但使用期也不是很长(约一小时),浇铸时一定要注意使用期,否则在施工中还没有浇完就固化了,将造成不可挽回的事故。

四 几点意见

由于时间紧,工作较粗糙,实验不很完善,结果仅仅是初步的趋向,大量施工,长期使用效果如何有待进一步考验。这里只提出几点粗浅的认识:

1. 一般玻璃钢在防腐的应用中是作金属结构的内衬,或者在其它材料做内衬的情况下,用它为增强材料或防腐材料,或者作成整体玻璃钢结构。而做为在较高压力下承受内压,堵金属构件的漏洞,既防腐又防漏方面应用还是很少见的,在不锈钢管外面这样应用见到的就更少。这次实验,经过堵漏,再缠绕或浇铸增强基本上解决了这一问题。这种方法,对于解决类似的问题是有意义的。

2. 以聚酰胺为环氧树脂固化剂的底漆、缠绕胶料和浇铸胶料是比较好的,但耐辐照性能如何,有待进一步考验。不过剂量不高,一般树脂问题都不大。虽然这次没有做辐照实验,由于应用剂量低,还是可以放心。

3. 不锈钢和玻璃钢是不同性质的材料,结合在一起会产生各种内应力,但因粘结材料强度可以承受这种应力,从而保证了正常使用。但长期寿命问题有待进一步考验。

4. 最后再强调一下,做为材料本身,应用可能没问题,但因这是一种手工操作的复合材料,影响因素较多,特别是施工质量有严重的影响,搞不好可能效果完全不一样,所以在施工时一定要规程,严格要求。