

玻璃钢在工业烟气排放烟囱的防腐蚀浅析

王天堂 陆士平

(上海富晨化工有限公司 上海 200233)

摘要：结合目前国内外相关标准，阐述整体玻璃钢在烟囱中的应用情况，并对其中的材料选择、制造和安装环节进行了详细的技术说明，可为行业内的制造厂家提供技术参考。

关键词：烟囱；防腐蚀；玻璃钢；乙烯基树脂；FRP

1、前言

在工业生产中，通过高空排除各种经过处理达标废气的烟囱或排气筒都存在防腐蚀问题，排气烟囱防腐蚀设计要考虑的主要因素是：被排放气体的化学组成、温度、湿度、气体的压力和流速，以及筒壁表面是否会形成冷凝酸等。筒壁的露点可根据排放介质组成、温度湿度等情况计算求得。有以下几种情况：

1) 在一般情况下，经常处于 150℃以上的高温烟囱，筒壁不易结露，很少形成冷凝酸，因此腐蚀比较轻，例如电厂不脱硫的烟囱等。

2) 处于温度低于 150℃以下，而且含有大量的腐蚀性气体和可溶盐的烟囱，腐蚀比较严重。例如生产硝酸的尾气排气筒，气体温度小于 90℃，氧化氮含量比较高；生产硫酸的尾气排气筒，气体温度在 60℃以下，含大量二氧化硫；有色金属锡冶炼厂烟囱，气体温度 60~70℃，含氟化氢和氧化硫，造纸厂碱炉的烟气温度在 110℃以下，含有各种钠盐；化纤厂粘胶车间在常温下排出含硫化氢、二氧化碳气体等等。总之处于烟气露点温度以下的腐蚀性气体和粉尘作用下的烟囱，一般腐蚀比较严重。

电厂脱硫烟囱中最常见的腐蚀性气体是未除净的二氧化硫和保留下来的三氧化硫。二氧化硫遇水转变成亚硫酸，三氧化硫遇水成硫酸。硫酸与混凝土中的水化物通过酸或盐的离子交换，生成易溶的钙盐、铝盐、铁盐和硅胶等。粘土砖中的氧化铝，也能与硫酸生成易溶的盐。烟气中的盐也是不容忽视的介质，很多易溶盐都能渗入砖和混凝土的内部，吸潮后再结晶膨胀而破坏材料结构。烟气中的固体尘埃对烟囱内壁造成一定的磨损，在选择烟囱材料和衬里时，也要适当考虑这一因素。

进入 21 世纪以来，国家环保法规对烟囱排出的气体清洁度提出了严格要求。采取各种洗涤塔、吸收塔对烟气进行脱硫、脱硝及其他脱酸等处理措施后，烟气的温度越来越低(45~95℃)，尚存的未处理干净的 SO_3 、 SO_2 、 HCl 、 HF 等介质都在其本身的露点温度以下，导致湿烟气的酸性增大，对排烟筒体表面的腐蚀性增强。针对强腐蚀湿烟气，欧美发

达国家从 1970 年代开始采用玻璃钢排烟筒进行排放,以有效应对烟气对排烟筒的腐蚀。40 多年来的玻璃钢烟囱使用业绩也证明了它具有防止腐蚀和长期承受荷载的能力。为此美国颁布了“燃煤电厂玻璃纤维增强塑料(FRP)烟囱内筒设计、制造和安装标准指南”ASTM 5364; 国际工业烟囱协会(CICIND)也发布了“玻璃钢(GRP)内筒标准规范”。

国内玻璃钢烟囱使用起步较早,从上世纪 60、70 年代开始在化工、有色、冶金等行业的排气筒都有应用,但直径比较小(1m~2m),高度也不超过 50m。1980 年代中期河北省中意玻璃钢厂首家引进玻璃钢缠绕技术与设备,推动玻璃钢烟囱进入了快速发展期,目前玻璃钢烟囱的直径达到了 5m,高度达到了 100m 以上。由于没有相应的规范,其使用受到了限制。目前,尤其国内燃煤电厂的大机组用烟囱,面临着脱硫后的酸性湿烟气对排烟筒体表面的强腐蚀性,采用玻璃钢烟囱将是解决烟囱腐蚀问题的一条新的主要途径。

本文就结合有关已实施或即将实施的标准,对于玻璃钢烟囱中的一些技术进行探讨。

2、烟囱防腐蚀的形式选择

排放干烟气的烟囱受腐蚀比较严重的部位,是在烟囱上部,这些部位由于受室外空气的影响容易形成冷凝酸。凡设有内衬的烟囱,腐蚀介质容易侵入的部位,一是通过衬里分段的交接处,例如外筒支承牛腿部位;其次,是通过砖砌体的夹缝:进入到外筒与衬里之间的夹缝处的烟气介质,进而腐蚀外壁。

对于排气腐蚀性强的湿烟囱和潮湿(半干)烟囱,要采用耐腐蚀材料制作或在筒内衬耐腐蚀材料。根据不同工况条件,可以采用不同的防腐蚀材料以及不同的结构形式:

- 1) 腐蚀较严重的烟道和烟囱可根据腐蚀介质的不同和工况条件而采用塑料、耐酸石材、耐酸砖、玻璃钢、不锈钢、合金钢、钛板等。
- 2) 腐蚀较轻的烟囱,可以采用耐酸混凝土、涂层衬里等。
- 3) 腐蚀严重的烟囱,一般不宜采用砖砌外筒。在化工、冶金、造纸和锅炉烟囱腐蚀后被迫拆除的实例中,腐蚀基本都发生在外筒是砖砌体的情况下。砖烟囱(包括有衬里的在内)在受腐蚀后很难加固,而且容易因局部腐蚀而失去稳定。

目前即将出台有关标准中,结合国内外工程实践,从技术和经济等各方面综合考虑,对各种烟囱的防腐蚀结构的选用形式,进行了归纳:

表 1.1 烟囱结构形式选择

烟囱类型 \ 烟气类型		干烟气			潮湿烟气	湿烟气	
		弱腐蚀性	中等腐蚀	强腐蚀			
砖烟囱		☆	□	×	×	×	
单筒式钢筋混凝土烟囱		☆	□	△	△	×	
套 筒 或 多 钢 内 管 式 筒 烟 囱	砖内筒		□	☆	☆	□	×
	钢 内 筒	防腐蚀金属内衬	△	△	□	□	☆
		轻质玻璃砖内衬	△	△	□	□	☆
		防腐蚀涂层内衬	□	□	□	□	□
		耐酸混凝土内衬	□	□	□	△	×
	玻璃钢内筒		△	△	□	□	☆

注“☆”--推荐采用;“□”--可采用;“△”--不宜采用;“×”不应采用。

为了克服烟囱中介质的在温度条件下的腐蚀,人们一直在寻求耐温、耐腐蚀的材料,而综合多年的国内外应用实例,全玻璃钢(FRP)形式不失为一种良好的防腐蚀形式,尤其是电力等行业中的经脱硫后的湿烟气烟囱防腐蚀,是以后烟囱防腐蚀的重要方向。玻璃钢是发展较早、应用广泛的一种复合材料,具有十分显著的性能特点。与金属材料或其他无机材料相比,它耐腐蚀、重量轻、比强度高、电绝缘、耐瞬时高温、传热慢,克服了传统衬里材料与结构材料之间存在的附着力差异,膨胀系数不同而发生脱落,分层等质量隐患,是一种兼具功能和结构特性的新型材料,玻璃钢烟囱较其他材料制成的烟囱如不锈钢更常用。因为其相对具有以下优点:

- 1) 玻璃钢能提供更宽范围的耐腐蚀性能;
- 2) 玻璃钢的材料成本相对要低;
- 3) 使用寿命更长;
- 4) 玻璃钢比重小,使得其更易运输,也意味着支撑他们的钢材更少。所以其综合安装费用更低。

在表 1.2 中列出了目前几种在电厂烟囱适用的材料的比较

表 1.2 电厂烟囱中的几中材料比较表

特性	结构材料		
	FRP	耐酸砖衬里	合金

耐化性	好	好	适当~好
耐热性	足够	好	好
安装成本	合理	高	适当~高
修理成本	低	高	低
修补停机时间	短	长	短

3、玻璃钢烟囱的一般规定

3.1 使用温度和年限

在 ASTM 5364 “燃煤电厂玻璃纤维增强塑料 (FRP) 烟囱内筒设计、制造和安装标准指南”中规定了玻璃钢烟囱适合于无 GGH 的湿饱和烟气运行温度 (60℃ 以下), 当 FGD 吸收塔有旁路时, 在开启旁路烟道后的烟气温度, 则在短时间内不超过 121℃. 国内燃煤电厂用于排放湿法脱硫烟气的温度, 在无 GGH 时, 大约在 45℃~55℃ 范围, 有 GGH 时, 大约在 80℃~95℃ 范围。从我们调查的国内化工、冶金和轻工等行业现有玻璃钢烟囱 (大多数用于脱酸后的烟气) 的使用情况来看, 绝大多数长期运行温度不超过 100℃。当烟气温度于 100℃ 时, 可在烟囱前段采取冷却降温措施 (如喷淋冷却), 以确保烟气运行温度在合适的区间内。

在一些在烟囱装置中, 在事故发生时, 短时间内烟气温度急剧升高, 而玻璃钢短期内的使用温度极限应不能超过基体树脂的玻璃化温度 (T_g)。一般情况下烟气最高设计使用温度 (T) 应符合: $T \leq (HDT - 20)^\circ\text{C}$ 。

另外, 玻璃钢烟囱的耐寒性能也是一个考虑指标之一, 材料的耐寒性能常用脆化温度 (T_b) 来表示。工程上常把在某一低温下材料受力作用时只有极少变形就产生脆性破坏的这个温度称为脆化温度。同常温下性能相比, 随着温度的降低, 玻璃钢材料的分子无规则热运动减慢, 结构趋于有序排列; 树脂将会发生收缩, 柔性越好收缩越大, 同时树脂伸长率会下降, 而拉伸强度和弹性模量将增大, 弯曲强度也会增加, 树脂呈现脆性倾向。鉴于目前已有正常使用在 -40℃ 下玻璃钢材质的管道和储罐情况, 确定了 -40℃ 作为玻璃钢烟囱的使用下限温度。

根据有关国内外的标准, 整体玻璃钢烟囱的设计使用年限如下。基本上是与一般电厂的设计寿命相当:

标 准	ASTM D5364	CICIND
使用寿命	35 年	25 年

3.2 玻璃钢烟囱设计中的一般规定

玻璃钢烟囱的筒壁应由防腐内衬层、结构层和外表面层组成，并应符合下列规定：

1) 防腐内衬层应由富树脂层和次内衬层组成，富树脂层厚度应不小于 0.25 mm，宜采用玻璃纤维表面毡，其树脂含量应不小于 85%(wt)，也可选用有机合成纤维材料；次内衬层应采用玻璃纤维短切原丝毡或喷射纱，其厚度应不小于 2 mm，树脂含量应不小于 70%(wt)。

当内衬层需防静电处理时，可采用导电碳纤维毡或导电碳填料，其内表面的连续表面电阻率不大于 $1.0 \times 10^6 \Omega$ ，静电释放装置的对地电阻不大于 25 Ω 。

2) 防腐内层及外表层树脂含量较高，强度及模量较低，在计算结构强度和承载力时，均不考虑。另玻璃钢的弹性模量较低，因此需对挠度做出相应规定；同时在力学设计时要求玻璃钢烟囱的筒壁结构层最小厚度应不小于 6mm。结构层应由玻璃纤维连续纱或玻璃纤维织物浸渍树脂缠绕成型，其树脂含量为 $35 \pm 5\%$ (wt)，厚度由边学计算确定。在力学计算设计时，要综合考虑各种因素，包括玻璃钢烟囱的轴向强度和稳定性计算、烟气正负压和风荷载下的强度计算、玻璃钢筒外侧压力验算、加强肋的抗弯强度验算、开口补强和连接处的计算等。

3) 外表面层中的最后一层树脂应采取无空气阻聚的措施。当玻璃钢烟囱暴露在室外时，外表面层应添加紫外线吸收剂，外表面层厚度应不小于 0.5mm。

4) 由于玻璃钢材质的耐磨性能不强，在高的烟气流速下，对拐角或突变部位的冲击和磨损加大，导致腐蚀加强。可通过在树脂中添加耐磨填料(如碳化硅等)来提高该部位玻璃钢的耐磨性。

5) 防腐内层和结构层宜选用同类型的树脂。当选用不同类型的树脂时，层间不得脱层。

4、玻璃钢烟囱的树脂选择

玻璃钢作为一种新型的防腐蚀形式，其中的防腐蚀树脂的选择是相当重要的，目前，国内用的比较多的防腐蚀树脂主要有：双酚 A 型不饱和树脂、氯化不饱和树脂和环氧乙烯基酯树脂：

1、双酚 A 型不饱和聚酯树脂：

具有良好的耐酸、一定的耐碱性和较好的综合机械性能和耐温性，国外 1970 年代

作为耐蚀型 UPR 的代表大量使用，但由于其断裂延伸低、脆性，1980 年代后逐渐被环氧乙烯基树脂所取代。

2、氯化不饱和聚酯树脂：

是以 HET 酸（氯氰酸）为主要原料合成的不饱和卤代的聚酯树脂，它们具有优良的耐腐蚀性能，同时又具有良好的阻燃性。特别适合用于制造耐高温、耐含氯（氟）化学介质或耐强氧化环境（包括湿氯气、盐酸蒸汽）的设备，如烟囱内衬，烟道气导管，铬电镀槽，浸酸槽和氯气管线。

3、环氧乙烯基酯树脂：

是国际上世纪 80 年代以来公认的高度耐腐蚀树脂，是由甲基丙烯酸与环氧树脂反应而成。它结合了环氧树脂的优良耐热、机械和化学性能及 UPR 树脂的优良工艺性能。目前乙烯基系列产品中，有常规的双酚 A 环氧型、酚醛环氧型、高交联型、阻燃型等产品，目前结合相关标准的内容，新编的国家标准中规定采用反应型阻燃环氧乙烯基树脂。

反应型阻燃环氧乙烯基酯树脂的液体树脂技术指标应符合现行国家标准《纤维增强用液体不饱和聚酯树脂》GB/T8237 的规定外，其他性能和技术要求尚应符合下列规定：

1、树脂浇铸体的主要性能应符合表 3.1 要求：

表 3.1 树脂浇铸体的主要性能

力学性能	耐蚀层树脂	结构层树脂
拉伸强度 (MPa)	≥ 60.0	≥ 60.0
拉伸模量 (GPa)	≥ 3.0	≥ 3.0
断裂延伸率 (%)	≥ 3.0	≥ 2.5
热变形温度 ($^{\circ}\text{C}$, 1.82 MPa)	≥ 100	
耐碱性 (10%NaOH, 100 $^{\circ}\text{C}$)	$\geq 100\text{h}$ 无异状	

2、玻璃钢的阻燃性能应符合下列要求：

1) 当反应型阻燃环氧乙烯基酯树脂含量为 $35 \pm 5\%$ (wt)，添加 (0-3)% 阻燃协同剂 (Sb_2O_3) 时，玻璃钢极限氧指数 (LOI) 应不小于 32；

2) 火焰传播速率应不大于 45

表 3.2 中可适用于有关标准中的 FUCHEM892 树脂的阻燃性能：

表 3.2 FUCHEM 892 树脂的阻燃特性

	氧指数 (OI)	UL-94	ASTM2843	ASTM E-84
			烟密度等级 (SDR)	火焰传播速度 (FSI)

浇铸体	33	Vo	—	—
玻璃钢	42	Vo	≤75	Class1

(注：添加 3%三氧化二锑以获得的更好的阻燃效果)：

同时针对烟气温度的差异应选择不同耐温等级的化学阻燃乙烯基树脂，如烟气设计温度超过 125℃，宜采用高温型阻燃乙烯基树脂（如 FUCHEM892N），表 3.3 中列出了几个经验证过的几种树脂的热变形温度（HDT）。

表 3.3 几种反应型阻燃乙烯基树脂的热变形温度

	FUCHEM 892A	FUCHEM 892N	Deranke 510C	Derakane 515
HDT °C	100-105	130-135	100-105	120-130

但是有关标准中也同时规定了，如一些制造厂家和公司有可靠经验和安全措施保证时，玻璃钢烟囱的基体材料可选用其他类型的树脂，如耐高温型乙烯基树脂，而目前国内确实有一些成功的应用实例，如 FUCHEM 898 树脂就在一些烧结机脱硫烟囱中成功的应用。

5、全玻璃钢形式结构及安装

全玻璃钢的烟道和烟囱可以采用缠绕工艺进行制造。一般有以下几种结构形式：

- 1) 自立式玻璃钢烟囱：高度不宜超过 30m，且其高径比（H/D）不宜大于 10；
- 2) 拉索式玻璃钢烟囱：高度不宜超过 45m，且其高径比（H/D）不宜大于 20；
- 3) 塔架式、套筒式或多管式玻璃钢烟囱：其跨径比（L/D）不宜大于 10。

注：H——烟囱高度(m)；L——玻璃钢烟囱横向支承间距(m)；D——玻璃钢烟囱直径(m)。

目前常见的主要塔架式和套筒式等形式，下面就这几种形式的一些制造和安装细节进行说明。

5.1 拉索式

拉索式玻璃钢烟囱顾名思义是采取拉索进行水平支撑，经济性较好，目前在一些小型烟囱中应用较多，如一些烧结机装置中的吸收塔与烟囱一体装置中等。在采用拉索式玻璃钢烟囱时，拉索设置应满足以下规定：

- 1) 当烟囱高度与直径之比小于 15 时，可设 1 层拉索，拉索位置距烟囱顶部小于 $h/3$ 处。
- 2) 烟囱高度与直径之比大于 15 时，可设 2 层拉索：上层拉索系结位置，宜距烟囱顶部小于 $h/3$ 处；下层拉索宜设在上层拉索位置至烟囱底的 $1/2$ 高度处。

3) 拉索一般为 3 根, 平面夹角为 120° , 拉索与烟囱轴向夹角不小于 25°

5.2 塔架式

以支架为承重结构, 支承一个或一个以上的排气筒, 是化工排气筒常见的型式, 塔架式排气筒可采用钢或钢筋混凝土的支架, 筒体高出支架。排气筒支承在钢支架上支架上设有多层操作平台, 可以上人。这种形式的排气筒在国内已经有二十多年的使用经验, 主要的优点是检查和维修。筒体原来也有采用硬聚氯乙烯板制作, 但聚氯乙烯适用于温度低于 90°C , 为考虑温度变形, 需要分段固定在支承结构上, 为了考虑温度引起的伸缩, 硬聚氯乙烯的段与段之间应设有膨胀节, 同时聚氯乙烯塑料易受紫外线作用后很快老化。但玻璃钢排气管可以采用各类树脂和玻璃布缠绕成型, 一般使用温度可以到 80°C 以上, 有的可高达 200°C (如高交联环氧乙烷基酯树脂)。玻璃钢的线膨胀系数比聚氯乙烯塑料小得多, 因此 100 米以内高度, 一般可不设膨胀节。玻璃钢整体性好, 力学强度和耐热性能比聚氯乙烯塑料好, 防腐性能好, 防腐范围宽。近二十年来在硝酸、硫酸、过磷酸钙、合成纤维等生产中都有良好的应用。

5.3 套筒式

套筒式结构人称筒中筒结构, 是用钢筋混凝土或砖砌体为支承结构, 支承一个或一个以上的排气筒。这种形式在化工、冶金部门采用过, 国内外大机组湿法脱硫电厂绝大多数采用。套筒式排气筒的支承结构内设操作平台, 可在内外筒之间检修。该结构有以下优点:

- 1) 其内胆(排烟筒)由整体缠绕玻璃钢制作, 整体性好, 能有效地防止介质从接缝处的腐蚀渗透, 避免一些防腐的薄弱环节引起的防腐失效, 也可避免受风力等的作用和影响。
- 2) 玻璃钢结构的内胆和外筒是相对独立的不同材质的筒体, 能有效的避免由于介质环境的温差引起不同材质的收缩性不一致, 而引起的内应力破坏。
- 3) 由于玻璃钢结构轻质高强, 起吊安装方便。施工周期短, 费用少。

6、全玻璃钢形式的应用注意细节

虽然全玻璃钢形式是目前应用较多也较成功的一种防腐蚀烟囱形式, 但在实际应用中应该注意以下几点:

- 1) 由于玻璃钢材料为各向异性, 容易产生应力集中, 因此下部烟道接口建议设计成圆

形，以尽量减小对玻璃钢筒体的破坏，同时玻璃钢烟囱的连接可采用承插粘接或平端对接等方式。推荐采用平端对接，对接处筒体的内外面的粘贴连接面的宽度和厚度应据求计算确定，但全厚度时的宽度应不小于 400mm。当筒体直径小于 4 米时，也可采用承插连接，承插深度应不小于 100 mm，内外部接缝处糊制宽度应不小于 400mm。接缝处采用玻璃纤维短切原丝毡和无捻粗纱布交替糊制，第一层和最后一层应是玻璃纤维短切原丝毡。

- 2》如要采用膨胀节的，烟囱膨胀节宜采用玻璃钢法兰形式连接，连接节点应严密，连接材料的防腐蚀和耐温性能应符合烟气工艺要求。另外加强肋的设置间距可参考 ASTM D5364 中的规定，玻璃钢加强肋间距应不超过烟囱直径的 1.5 倍，同时不大于 8m。
- 3》防腐蚀树脂的选择：上文中也提到几种防腐蚀树脂，在实际应用中要根据具体腐蚀性介质及温度、是否含水等情况作一正确的选择，如 HET 酸树脂就比较适合应用于含氯化学介质的烟气，如盐酸蒸汽等；同时，树脂的力学性能包括高温下的力学性能也要充分考虑，因为 FRP 形式的烟道在高空下会受气流等形式的影响，在设计上就要求有延伸率较高、韧性更好的耐用腐蚀树脂，同时 FRP 在高温下的力学性能会有一定程度的下降，在设计中要充分考虑到这一点。
- 4》结构树脂的选择：在烟囱的防腐蚀设计中，若采用全 FRP 形式，结构树脂的选择对于防腐蚀效果的好坏起了重要的作用，在国外一般全部采用同一种类型的树脂进行整体缠绕，但在国内目前考虑到成本等方面的因素，FRP 的外侧会采用常规的通用树脂（如 191、196、199 等），但在较低温度下，如低于 80℃，通用的树脂还可以适用，但较高的使用温度情况下，通用树脂的就不适用了，因为通用树脂在较高的温度下的力学强度损失较大，就会增加由于结构树脂的力学损耗造成的烟囱的力学破坏，最后导致防腐蚀失效，所以我们建议在较 100℃ 以上的使用温度情况下，建议用乙烯基础酯树脂或双酚 A 树脂等进行制作结构层，或进行整体 FRP 制作。
- 5》增强材料的选择：在防腐蚀层制作时，要充分考虑增强材料选择的重要性，一般情况下，玻纤是一种经济高性能的选择，但在如含氟、强碱等情况下，就不适合选用玻纤了，碳纤维或一些有机纤维是较好的选择。
- 6》玻璃钢烟囱在制造过程中，一定要注意不能让玻璃钢材料受到破损和破坏，从缠绕的设备能力和安装能力等方面综合考虑可采用分段制造，并尽量增加每节筒体长度，在制造过程中不要损坏筒芯表面，因为防腐蚀内层是直接接触烟气介质的，具有高

的树脂含量和很好的抗渗透性能，如果存在气泡等制造中的缺陷，会直接影响产品的防腐性能，应及时修补。

7》在装卸、存放和安装玻璃钢烟囱期间，施加在玻璃钢上的载荷及由此而产生的应力，需考虑加到设计中去，刚性类吊索材料(如钢丝绳)容易损坏筒体表面，以采用尼龙等柔性类吊索为好。玻璃钢材质具有高强度低模量的特性，垂直存放和移动主要是要保持筒体不变形。对于直径超过 3m 的分段玻璃钢烟囱宜垂直位置存放和移动。当分段的玻璃钢烟囱进行水平和垂直位置的相互变换时，应符合底部边缘点的载荷设计，并且防腐层表面不得产生裂纹。每段玻璃钢烟囱上的对称吊环，应满足安装期间所施加的各种载荷。

7、结束语

总之，对于化学工业，电力、冶金、废气处理等生产过程中烟气处理所涉及的烟囱装置的制造和防腐结构的处理必须根据其介质环境进行合理的选材以及结构设计。随着国家对于环保严格控制和有关新规范的实施，各行业（尤其是电力行业）将对玻璃钢烟囱的优势会不断深入了解，这将对树脂行业和玻璃钢行业带来新的发展机遇。

参考文献：

- 1、化学工业部化工机械研究院主编，《腐蚀与防护手册》《化学生产装置的腐蚀与防护》，化学工业出版社出版，1991。
- 2、中国腐蚀与防护学会主编，《合成树脂及玻璃钢》，化学工业出版社出版，1995。
- 3、王天堂、陆士平等，酚醛环氧乙烯基酯树脂的性能及在耐高温强腐蚀场合中的应用，全面腐蚀控制，2001 年 05 期（4）。
- 4、王天堂、陆士平等，VEGF 鳞片胶泥在烟气脱硫装置中的应用，中国环保产业，2002 年 Z1 期（30）。
- 5、《烟囱设计规范》 GB50051-2002
- 6、《烟囱工程施工规范》 GB50078-2008

Anti-corrosion technology of integrate FRP stack

Wang Tiantang Lu Shiping

(Shanghai Fuchen Chemicals Corp., 200233 Shanghai)

Abstract: In this paper we discuss the application of integrate FRP in stack on the reference of related codes and specifications, ,hereby some detail technical tips concerned with material choice, fabrications and assembly are as well covered, what are of assistance for these FRP manufactories and plants.

Keywords: stack, anti-corrosion, FRP, vinyl ester resin