

# 喷涂聚脲弹性体技术在管道防腐蚀领域中的应用

黄微波 陈酒姜 王宝柱 刘东晖 刘培礼

(海洋化工研究院 青岛 266071)

## 摘 要

“喷涂聚脲弹性体”(Spray Polyurea Elastomer 以下简称 SPUA)技术是国外近十年来,继高固体份涂料、水性涂料、光固化涂料、粉末涂料等低(无)污染涂装技术之后,为适应环保需求而研制、开发的一种新型无溶剂、无污染的绿色施工技术,在我国研发成功后,以其优异的综合性能和先进的施工工艺,引起了国内材料界和工程界的极大关注。本文从发展简史、化学原理、材料性能、应用领域等方面,较系统、全面地介绍该技术的发展过程,并重点介绍了 SPUA 技术在管道上的施工工艺及应用前景。

关键词: 喷涂、聚脲、聚氨酯、弹性体、防腐蚀

## 前 言

喷涂聚脲弹性体(Spray Polyurea Elastomer 以下简称 SPUA)技术是国外近十年来,继高固体份涂料、水性涂料、光固化涂料、粉末涂料等低(或无)污染涂装技术之后,为适应环保需求而研制、开发的一种新型无溶剂、无污染的绿色施工技术,与传统的低(或无)污染涂装及喷涂聚氨酯技术相比(见表 1)。

表 1. 环保型施工技术之比较

类别 项目	高固体份 涂 料	水性涂料	UV 涂 料	粉末涂料	SPUA 材料
VOC 含量 (g/L)	50 ~ 150	0 ~ 150	0	0	0
施工方法	常规	常规	新型	新型	新型
防腐性能	好	一般	一般	优秀	优秀
适用底材	不限	不限	木材为主	金属	不限
施工环境	不限	0 以上	厂房内	厂房内	不限
一次成膜 厚 度	<150 $\mu$ m	<100 $\mu$ m	<50 $\mu$ m	<800 $\mu$ m	无限制

SPUA 技术具有以下优点:

1. 不含催化剂,快速固化,可在任意曲面、斜面及垂直面上喷涂成型,不产生流挂现象,5 秒钟凝胶,1 分钟即可达到步行强度。

2. 对水分、湿气不敏感，施工时不受环境温度、湿度的影响。
3. 双组分，100%固含量，对环境友好；可以 1:1 体积比进行喷涂或浇注，一次施工达到厚度要求，克服了以往多层施工的弊病。
4. 优异的物理性能，如抗张强度、柔韧性、耐磨性等。
5. 具有良好的热稳定性，可在 150℃ 下长期使用，可承受 350℃ 的短时热冲击。
6. 可加入各种颜、填料，制成不同颜色的制品。
7. 配方体系任意可调，手感从软橡皮（邵 A30）到硬弹性体（邵 D65）。
8. 使用成套喷涂、浇注设备，施工方便，效率高。

可以这样讲：SPUA 技术是一种新型“万能”（国外称之为 versatile）涂装技术，它全面突破了传统环保型涂装技术的局限，因此，使得该技术一问世，便得到了迅猛的发展。

### 一、发展简史

喷涂聚氨酯/聚脲弹性体技术是在反应注射成型（Reaction Injection Molding 英文缩写 RIM）技术的基础上，于七十年代中后期发展起来的。德国、美国是喷涂弹性体技术的发源地，最早开发喷涂聚氨酯（简称 SPU）以及聚氨酯/聚脲（简称 SPU/SPUA）弹性体技术的是 Bayer、BASF、Futura 和 Uniroyal 公司。进入八十年代中期，Texaco（即现在的 Huntsman）公司在化学家 Dudley J. Primeaux 先生的带领下，在其 Austin 的实验室，率先研发成功喷涂聚脲弹性体（SPUA）技术，并于 1989 年首次发表研究论文，引起轰动<sup>[1]</sup>。1991 年该技术在北美地区投入商业应用，立即显示出其优异的综合性能，受到用户欢迎；经过不断的总结和提高，目前，北美地区已逐步淘汰 SPU/SPUA 体系，正全面推广 SPUA 体系<sup>[2-6]</sup>。澳大利亚、日本和韩国分别于 1993、1995 和 1997 年引进该技术，并相继投入商业应用。由于研发 SPUA 技术配方和工艺的难度很大，澳大利亚及东南亚国家基本上采取了从设备到原料全盘进口、或者与美方合资建厂的做法。

与澳大利亚及东南亚国家做法不同的是：在我国，海洋化工研究院于 1997 年只引进了关键的喷涂设备，靠自己的力量研发出具有自主知识产权的 SPUA 技术配方和施工工艺。目前，已成功推出 SPUA-102 防水耐磨涂料、SPUA-202 防滑铺地材料、SPUA-301 阻燃装饰涂料、SPUA-403 道具保护材料、SPUA-502 耐磨衬里材料、SPUA-601 柔性防撞材料六大系列产品，自 1999 年以来，已在青岛、北京、上海、广州、大连、沈阳等地区成功应用<sup>[8-14]</sup>，受到用户很高的评价，认为是：传统涂装技术的革命性飞跃。

### 二、化学原理

正如聚氨酯/聚脲 RIM 技术的发展经历了 纯聚氨酯（PU）、聚氨酯/聚脲（PU/PUA）、纯聚脲（PUA）三个阶段一样，喷涂聚氨酯（聚脲）弹性体技术也经历三个阶段（见表 2）。在体系 中，为了提高反应活性，必须加入催化剂；体系 则完全不同，它使用了端氨基聚醚和胺扩链剂作为活泼氢组分（以下简称 R 组分），与异氰酸酯组分（以下简称 A 组分）的反应活性极高，无需任何催化剂，即可在室温（甚至 0℃ 以下）瞬间完成反应（见图 1），从而有效地克服 SPU（包括 SPU/SPUA）弹性体在施工过程中，因环境温度和湿度的影响而发泡、造成材料性能急剧下降的致命缺点。

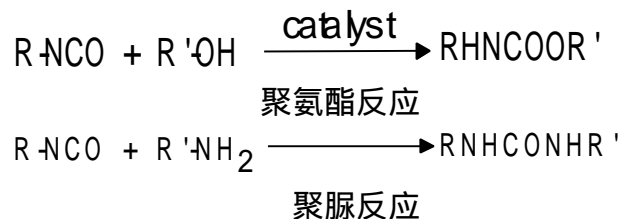
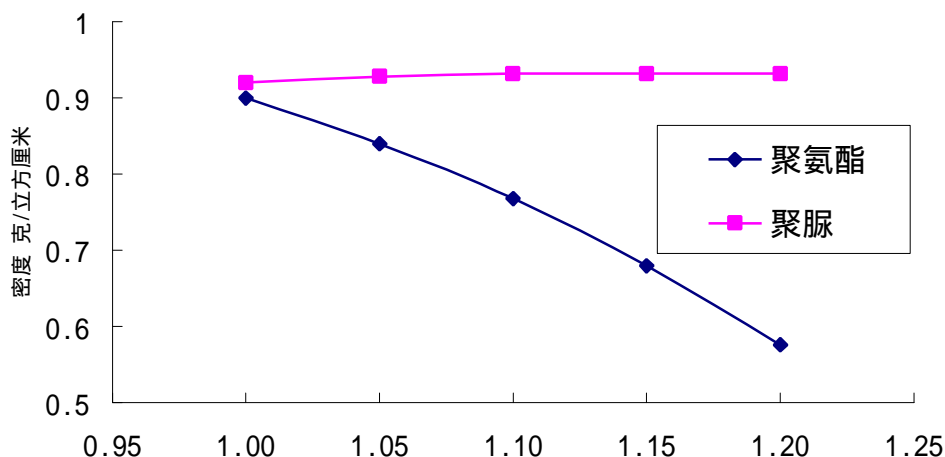


图 1 聚氨酯、聚脲化学反应原理



异氰酸酯指数

图 2. 喷涂材料的密度随体系 NCO 指数的变化

表 2 喷涂聚氨酯/聚脲弹性体技术的发展历程

阶段	体系	异氰酸酯组份	树脂组份	主要优、缺点
第一代	SPU	MDI 基	EO 封端多元醇、二醇扩链剂、催化剂	优点：价廉 缺点：对水敏感，极易发泡；力学性能差等。
第二代	SPU/SPUA	MDI 基	EO 封端多元醇、芳香二胺扩链剂、催化剂	优点：价格适中 缺点：发泡、力学性能一般。

第三代	S P U A	MDI 基  m-TMXDI 基	端氨基聚醚、芳香二胺扩链剂。  端氨基聚醚、脂肪二胺扩链剂。	优点：对温、湿度不敏感，力学性能好，耐老化性能突出。  缺点：价高
-----	---------	---------------------------	--------------------------------------	---

图 2 是相对湿度在 85% 条件下，SPU 和 SPUA 材料密度随体系 NCO 指数的变化情况，从中可以看出：SPUA 材料对环境温、湿度有很强的容忍度，很受户外施工人员的欢迎。

### 三、材料性能

1. 力学性能：SPUA 材料具有优异的综合力学性能，见表 3。

表 3 SPUA 材料的力学性能

项 目	指 标
拉伸强度 (MPa)	最高达 27.5
硬度 (Shore)	A30--D65
伸长率 (%)	最高达 1000
撕裂强度 (KN/m)	43.9—105.4
100% 伸长模量 (MPa)	3.4—13.7

2. 耐介质性

SPUA 材料的耐介质性能十分突出，除二甲基甲酰胺、二氯甲烷、氢氟酸、浓硫酸、浓硝酸、浓磷酸等强溶解、强腐蚀介质外，它可耐受绝大部分腐蚀介质的长期浸泡（见表 4）；腐蚀实验结果表明：钢板表面喷涂一道 SPUA 材料（厚度 0.3 ~ 0.4mm）的耐盐雾时间高达 5000 小时以上。

表 4 SPUA 材料的耐介质性能

介质名称	浸泡结果	介质名称	浸泡结果
醋酸 (10%)	良好	硝酸铵	良好
盐酸 (10%)	良好	汽油	良好
硫酸 (20%)	良好	柴油	良好
磷酸 (10%)	良好	煤油	良好
柠檬酸	良好	矿物油	良好
乳酸	良好、轻微变色	液压油	良好
氢氧化钠 (20%)	良好、	防冻液 (50% 乙醇)	良好
氢氧化钠 (50%)	良好、轻微变色	二甲苯	良好、轻微变色
氢氧化钾 (10%)	良好	正己烷	良好
氢氧化钾 (20%)	良好、轻微变色	异丙醇	良好
氨水 (20%)	良好	饱和盐水	良好

### 3. 低温韧性

SPUA 材料不仅具有在很宽范围内(从邵 A30 到邵 D65)调节硬度的能力,而且能在高硬度情况下保持优异的低温韧性。其中尤以脂肪族 SPUA 材料的性能最为突出,芳香族 SPUA 材料的低温韧性也不错,但比脂肪族的要逊色一些,见表 5。

曾有人做过一个有趣的实验:分别在钢、混凝土、沥青表面喷涂脂肪族 SPUA 材料,将 -196 的液氮距涂层 30.5 厘米处,喷射到样品表面达 30 秒,未见涂层任何破坏;当喷射距离减小至 10.2 厘米时,钢和混凝土表面的涂层出现轻微裂纹,而沥青表面的涂层却完好无损。另将涂有 SPUA 材料的混凝土样品从 1.8 米高处自由落下,混凝土自身被震裂,但 SPUA 材料毫无损坏,并将混凝土的碎块牢牢地聚集在一起。

表 5 SPUA 材料的低温韧性

项 目	材 质	脂 肪 族 芳 香 族		脂 肪 族 芳 香 族	
		(25 )		(-20 )	
拉伸强度(MPa)		8.9	12.3	11.4	14.1
伸长率(%)		420	180	350	130
撕裂强度(KN/m)		43.9	67.7	105	102
硬度(Shore)		35	51	---	---

### 4. 户外耐老化性能

由于不含催化剂,SPUA 材料表现出优异的耐老化性能。虽然在芳香族 SPUA 中,会出现泛黄和褪色,但决无粉化和开裂现象出现。表 6 是芳香族 SPUA 材料经过 50、3871h 人工加速老化实验前后的性能变化。脂肪族 SPUA 材料的耐老化性能则更是无与伦比。

表 6 芳香族 SPUA 材料的耐老化性能

项 目	老 化 前	老 化 后
拉伸强度 (MPa)	13.5	13.5
伸长率 (%)	137	110
撕裂强度 (KN/m)	76.4	84.4

### 5. 附着力

SPUA 材料与金属、混凝土、塑料及木材等多种底材都有良好的附着力,通过适当的配方筛选,可以得到附着力强度超过 SPUA 自身强度的体系。当然,由于 SPUA 材料的反应速度极快,对底材的润湿能力差,诸如底材表面处理, SPUA 的配方组成, SPUA 的反应速度,材料的使用环境等因素都会影响其附着力。因此,在配方研究和施工过程中,必须加以充分考虑。对于一些对附着力有特殊要求的场合,最好通过调整配方,降低反应速度,确保涂层有足够的“抓底”时间。表 7 列出了 SPUA 与几种材料的附着力数据(拉开法),从中可以看出:有些底材已被拉坏,这说明 SPUA 材料与底材的附着力

是很好的。

表 7 SPUA 材料的附着力(MPa)

底材 \ 分类	芳香族	脂肪族
混凝土（纯材料）	2.8	2.8
混凝土（带底漆）	6.8	6.9
钢（喷砂至 Sa2.5 级）	>13.7	8.6
铝	>13.7	---
胶合板	1.7	1.7

注：指底材破坏；指内聚破坏。

## 6. 施工性能

SPUA 材料能够在较短的时间里在国内外众多领域推广使用，与其具有优异的施工性能密不可分。它彻底改变了传统喷涂工艺中普遍存在的溶剂污染、厚度薄、流挂、固化时间长等缺点，给防腐现场喷涂带来了革命性飞跃。

### 6.1 快速固化。

SPUA 物料反应速度极快，5 秒钟凝胶，不会在垂直面（甚至顶面）产生流淌现象；1 分钟即可达到步行强度，并可进行下一道施工。解决了一般喷涂材料由于表干时间较长造成的施工进度慢、在垂直面（特别是顶面）产生流淌等施工难题，是钢结构贮罐防腐衬里的理想施工技术。

### 6.2 防腐性能优异。

SPUA 材料致密、连续、无针孔、无接缝，有效地阻止了外界腐蚀介质的侵入；同时，由于其优异的柔韧性，完全能够抵御昼夜、四季环境温度变化给被保护物体造成的热胀冷缩，涂层不会产生开裂和脱落现象。

### 6.3 施工效率高。

采用成套喷涂、浇注设备，输出量大，施工方便，可连续操作，喷涂 100m<sup>2</sup> 的面积（1.5~2.0mm 厚）仅需 30 分钟，施工效率非常高。特别适合于海洋钢结构、化工贮罐、埋地钢结构、道路路面、建筑屋面、运动场地、车间地面、地下工程、游泳池等大型工程施工，以及工期要求紧的工程或抢修工程的使用。

### 6.4 对环境条件要求较低。

SPUA 材料对水分、湿气不敏感，施工不受环境温度、湿度的影响。在基层干燥的情况下，无论是北方寒冷季节还是南方梅雨季节，都可正常施工。

## 四、应用领域

SPUA 材料以其独特的组成和反应原理，在工程应用中显示出优越性。目前在通用的高固体份涂料、水性涂料、光固化涂料、粉末涂料等环保型涂料中，有的施工一道后，至少需要 12~24 小时的干燥时间，才能投入使用或进行下一道施工；有的一次施工的最



大厚度 $<800\ \mu\text{m}$ ，且不允许连续加厚。SPUA 技术则不同，由于其快速的固化反应，施工 $100\text{m}^2(1.5\sim 2.0\text{mm}$ 厚)的涂层，仅需 30 分钟即可完成施工，2~3 小时即可投入使用。由于层间施工间隔只需几分钟到十几分钟，即一道施工结束，就可立即进行下一道施工，对涂层最终的施工厚度没有限制，通常每道涂层的施工厚度在 $0.3\sim 0.6\text{mm}$ (视枪的移动速度而定)。

SPUA 技术还有一个显著特点就是 100%固含量，无挥发性有机化合物(0 VOC's)，只要正确使用本技术，无论是施工期间，还是材料投入使用后，涂层均不产生有害物质和刺激性气味，对环境保护极为有益，属新型环境友好型材料。因此该技术在电子、医药、卫生、食品、机械、运输、建筑、造船以及娱乐等行业具有广阔的应用前景：

#### 工业重防腐

SPUA 材料不含有机溶剂，100%固含量，涂层连续、致密、无针孔、无接缝，并且一次成膜厚度大，因而在酸、碱、盐、地下和海洋等恶劣环境条件下，表现出优异的超重防腐性能；加之其先进的施工工艺，使得该材料在化工储罐衬里、隧道、埋地管线、海洋钢结构防腐等领域，有着广阔的应用前景。

#### 建筑屋面防水

通常的屋面防水材料(如沥青、SBS、APP 等)经日光老化后会出现开裂；即使防水材料自身不开裂，也会因混凝土的开裂(由振动、应力、风化等因素引起)而断裂。SPUA 材料则完全不同，因其自身优异的柔韧性、耐老化性和力学强度，即使在混凝土开裂的情况下，聚脲材料不但自身不会断裂，而且还能将混凝土紧紧“抓住”，起到防水和保护作用，特别适用于高档建筑的屋面防水处理，达到“一劳永逸”的目的。此外，SPUA 技术对环境温度、湿度的不敏感性，使其在我国寒冷的北方和潮湿、多雨的南方防水施工中，独领风骚。

#### 运动场地

SPUA 材料独有的抗湿滑性，可以在运动场地上大显身手。用它铺就的网球场、排球场、篮球场等运动场地，可有效地防止运动员因地面有汗水，而造成的滑倒，甚至摔伤。对消除运动员恐惧心理，提高运动成绩十分有益。

#### 工厂树脂墙面

长期以来，工厂地坪、墙面大多采用环氧或聚氨酯涂料。多年的应用经验告诉我们，这些涂料存在以下缺点：无论对环氧进行如何增韧改性，其自身的脆性仍然存在，在工厂车间，难免有工具、物品的意外砸落，造成环氧地坪涂料的开裂，甚至破碎；食品、制药车间还经常要用过热蒸汽消毒，一旦油水进入破碎区域，很快就会出现较大面积的开裂和破损。聚氨酯铺地涂料虽然克服了环氧地坪涂料的脆性，但在工程应用中，对被施工场地的水分含量及相对湿度提出了严格要求，局限性较大。无论是环氧，还是聚氨酯，都难以在垂直面、顶面一次施工 $2\text{mm}$ 左右的涂层材料。

SPUA 材料柔韧性好、强度高、凝胶速度快，对环境温度、湿度不敏感，一次施工可达到任意厚度，是施工高性能树脂墙、地、顶面的理想材料。

#### 影视、娱乐业

SPUA 材料无毒、无污染，可广泛用于道具和娱乐设施的制作。如美国迪斯尼乐园、好莱坞环球影城中的道具和造型（国外称之为“Theme Park”即主题公园），绝大部分是在廉价的聚苯乙烯（或聚氨酯）泡沫表面，喷涂一层硬质 SPUA 材料，从而大大提高了道具、造型的可观赏性和保存价值。近年来，国内外娱乐界推出的大型水上运动节目——激流勇进，其滑道、浮萍表面，都喷涂了一层软质 SPUA 材料，使其外观整体性好，涂层连续、无接缝。

### 耐磨衬里

工矿企业的研磨、输送设备，常常受到磨损的困扰而报废，给企业造成巨大的经济损失。有些设备外形结构十分复杂，制造成本高、维护困难。SPUA 技术独特的成型工艺和卓越的材料性能，使之成为理想的耐磨衬里材料。

关于应用方面的详细情况，请浏览专业网站：<http://mcri.veah.net>。下面扼要介绍 SPUA 技术在钢结构管道的应用工艺。

## 五、在钢结构管道的应用工艺

### 5.1. 底材处理

首先将钢管进行喷砂处理至 Sa2.5 级，最好在 6 小时以内立即喷涂 SPUA-403 产品；如果不能在 6 小时以内完成 SPUA 材料的喷涂，建议先施工一度环氧富锌底漆作为临时性防护措施。

### 5.2. 内管喷涂

由于 SPUA 技术适合于大面积、大口径（1.5m 以上）管道内壁的喷涂，因此，对于小于 1.5m 的管道内壁可以采用“SPUA 无纺布反衬”工艺进行处理，或者采用其它非 SPUA 材料的处理工艺，例如：浸涂、静电喷涂等。

在大于 1.5m 的管道内壁喷涂 SPUA 材料的工艺有两种：（1）旋转管道、移动喷枪。即管道处于匀速旋转状态，让中间的喷枪均匀移动，从而形成均匀的 SPUA 涂层；（2）固定喷枪、旋转并移动管道。即喷枪始终处于固定位置，而管道却处于均匀旋转并且匀速移动状态，从而形成均匀的 SPUA 涂层。无论以上哪种喷涂工艺，要达到持久的防腐蚀效果，通常需要喷涂 3~4 度，涂层的总体厚度在 1.5~2.0mm。

### 5.3. 外管喷涂

总的来讲：外管喷涂要比内管喷涂简单，喷涂工艺与内管喷涂相同。

#### 5.3.1. 外管喷涂保温层

先用 GUSMER 公司的 GX7-100 喷枪将聚氨酯泡沫材料喷涂到钢管外壁，由于聚氨酯泡沫材料表面凹凸不平，通常需要将涂有聚氨酯泡沫的钢管在车床上加工一下，把凹凸不平的表面车去后，再在泡沫表面用 GX7-400 喷枪喷涂 SPUA 材料，方法同上。

### 5.4. 弯管喷涂

内管喷涂和外管喷涂多用于车间流水线作业，而弯管喷涂多用于管道现场安装结束后的喷涂，其工艺与外管喷涂相同。

## 六、结束语

SPUA 材料在我国研发成功后，以其优异的性能和工艺引起国内材料界和工程界的极



大关注。目前,我院已研制出了具有自主知识产权、且适合我国国情的 SPUA、SPU(A) 12 大系列产品,并已在青岛海豚表演馆水池防水、青岛天盾橡胶公司码头护舷、青岛碱业集团股份有限公司化工贮罐防护、北京中央电视台舞台道具保护、上海沪东造船厂船舶舱室地板防湿滑、广州潮流水上乐园公司娱乐设施防撞、大连极地动物园地面装饰、沈阳普利司通公司码头护舷等方面进行了大规模应用,SPUA 材料优异的材料性能和施工工艺受到用户高度评价;同时,我们也为在我国全面推广、普及这一高新技术作好了充分的技术储备。

国外将 SPUA 技术用于长距离输送油、气、水管道的应用,已经有近 10 年的历史了,取得了非常好的防护效果和经济、社会效益,我国在这方面的研究和应用才刚刚起步。“十五”期间,我国将建设以“西气东输”、“南水北调”、“西电东送”、“青藏铁路”为代表的一大批基础设施工程,我们相信:SPUA 技术必将为国防和国民经济建设做出巨大的贡献。

## 七、主要参考文献

- [1] D.J. Primeaux, Spray Polyurea Versatile High Performance Elastomer for the Polyurethane Industry. In : Polyurethanes 89, Proceedings of the SPI 32<sup>nd</sup> Annual Technical/Marketing Conference. San Francisco,1989,26
- [2] D. J. Primeaux, A Study of Polyurea Spray System. High Solids Coatings, 1994,15:2
- [3] D. J. Primeaux, Polyurea Spray Technology in Commercial Applications. 60 Years of Polyurethanes: International Symposium and Exhibition, 1997
- [4] D.J. Primeaux 在海洋化工研究院讲学笔记·青岛·1998.6.
- [5] 黄微波,赴美国考察报告,1997.1.
- [6] 黄微波等,喷涂聚脲弹性体技术及应用,第三届聚氨酯涂料暨第四届汽车涂料和涂装技术交流会论文集·昆明·1999,9,P19~27.
- [7] 黄微波等,喷涂聚脲弹性体技术,聚氨酯工业,1999,Vol.14, No.4, P7~11
- [8] 黄微波等,喷涂聚脲弹性体技术在我国的发展,涂料工业,2000,Vol. 30, No. 11, P19-23.
- [9] 黄微波等,喷涂聚脲弹性体材料,材料导报,2000,Vol. 14, No. 12, P33~35.
- [10] 黄微波等,喷涂聚氨酯泡沫聚脲弹性体复合材料,新型建筑材料,2000,12,P7~9.
- [11] 黄微波等,喷涂聚脲弹性体技术的发展,中国涂料,2001, No. 5, P31~37.
- [11] 黄微波等,中国专利 01114995.7
- [12] 黄微波等,中国专利 01114996.5
- [13] 王宝柱等,喷涂聚脲弹性体技术的应用,聚氨酯工业,2000,Vol. 15, No.1, P39~44.
- [14] 徐德喜等,喷涂聚脲弹性体设备,聚氨酯工业,2000,Vol. 15, No. 2, P5~8.
- [15] 陈酒姜等,喷涂聚脲弹性体材料的施工和工艺,涂料工业,2001,3,p23~28
- [16] 吕平等,喷涂聚脲弹性体在建筑中的应用,施工技术,2000,Vol. 29, No. 4, P45~46.
- [17] <http://www.gusmer.com>
- [18] <http://mcri.yeah.net>

# Spray Polyurea Elastomer Technology and Its Application in Heavy-duty Anti-corrosion

Weibo Huang, Jiujiang Chen, Baozhu Wang, Donghui Liu and Peili Liu  
(Marine Chemical Research Institute, Qingdao, China, 266071)

## ABSTRACT

Besides high building, water-boned and powder coating technology, Spray Polyurea Elastomer Technology (another name is 100% solids spray polyurea elastomer technology) has recently shown large increases in market interest, sales volume and application because of regulations which limit the volatile organic contents (VOC`s) of the coating, i.e., solvent-based coatings. It overcomes many shortcomings of traditional application technology and makes a revolutionary leap for application in site.

MCRI is the pioneer to make research and development of this versatile technology in China. Much progress has been made in formulation and application. It is described in developing history, progress in China, materials' properties and application fields in this paper, especially in underground pipe protection.

**Keywords:** spray, polyurea, polyurethane, elastomer, anti-corrosion

**作者简介：**黄微波，男，1963年8月生，重庆人，博士，研究员。1986年毕业于成都科技大学（今四川大学）高分子材料系，长期从事国防尖端材料研究；1995年至今主持“喷涂聚氨酯（脲）弹性体”研究、开发课题，1996年赴美国考察并引进 GUSMER 公司设备，1997年负责设备调试和产品开发，1998年在国内率先研发成功“喷涂聚脲弹性体技术”，1999年将该高、新技术推向了商业应用，是我国“喷涂聚脲弹性体技术”的创始人和领路人，被誉为“中国喷涂聚脲弹性体技术之父”。

先后荣获国家发明奖、科技进步奖、中国专利优秀奖各一项，部级奖四项，发明专利权二项；1994年被原化工部授予“全国化工科技先进工作者”，1998年被山东省授予“优秀青年知识分子”，1999年被青岛市授予“青岛市十佳科技青年”，2001年被青岛市授予“专业技术拔尖人才”称号，享受国务院政府特殊津贴。

在国内外发表论文 70 余篇，申请发明专利 10 项，现任海洋化工研究院副总工程师。

**联系方式：**

通讯地址：青岛市金湖路 4 号，邮政编码：266071

传真：0532---5814740，电话：0532---5845302

电子信箱：[mcric@public.qd.sd.cn](mailto:mcric@public.qd.sd.cn)，专业网站：<http://mcric.yeah.net>