

# (M<sup>3+</sup>Y)L配合物对醇胺氧化抑制作用的实验研究

江洋洋<sup>1\*</sup>, 黄钟斌<sup>2</sup>, 陈曦<sup>2</sup>, 黄伟<sup>2</sup>, 储政<sup>1</sup>

(1. 中国石化集团南京化学工业有限公司, 江苏南京 210048;

2. 中石化南京化工研究院有限公司, 江苏南京 210048)

**摘要:**以最具有代表性的有机胺单乙醇胺(MEA)水溶液为研究对象,研究了抗氧化剂(M<sup>3+</sup>Y)L对MEA溶液氧化降解的抑制作用。主要考察了CO<sub>2</sub>酸气含量、氧气压力、抗氧化剂量、MEA溶液浓度、反应温度等因素对氧化抑制作用的影响。结果表明,在反应温度为120℃、氧气压力为1.0 MPa、搅拌速度为400 r/min时,添加0.2%抗氧化剂可使3 mol/L的MEA水溶液的抗氧化降解能力提高近16倍。此外,还对(M<sup>3+</sup>Y)L氧化抑制作用失效的原因进行分析并提出了相应对策。

**关键词:**二氧化碳;一乙醇胺;(M<sup>3+</sup>Y)L;氧化;降解

中图分类号:X773

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2023)12-0199-05

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2023.12.036

## Experimental study on inhibition of (M<sup>3+</sup>Y)L complex on oxidation of hydramine

JIANG Yang-yang<sup>1\*</sup>, HUANG Zhong-bin<sup>2</sup>, CHEN Xi<sup>2</sup>, Huang Wei<sup>2</sup>, CHU Zheng<sup>1</sup>

(1. Sinopec Nanjing Chemical Industries Co., Ltd., Nanjing 210048, China;

2. Sinopec Nanjing Research Institute of Chemical Industry Co., Ltd., Nanjing 210048, China)

**Abstract:** Taking monoethanolamine (MEA) aqueous solution, the most typical organic amine, as the object, the inhibition effect of (M<sup>3+</sup>Y)L antioxidant on the oxidative degradation of MEA is studied. The influences of MEA solution, CO<sub>2</sub> acid gas content, oxygen pressure, anti-oxygen dosage, and reaction temperature, etc. are investigated. The results indicate that the antioxidant degradation ability of 3 mol·L<sup>-1</sup> MEA aqueous solution can be increased by nearly 16 times when the reaction temperature is 120℃, oxygen pressure is 1.0 MPa, and the stirring speed is 400 r·min<sup>-1</sup>, and 0.2 wt% of antioxidant is added. In addition, the reasons for the invalid of oxidation inhibition of (M<sup>3+</sup>Y)L are analyzed and the corresponding countermeasures are proposed.

**Key words:** carbon dioxide; monoethanolamine; (M<sup>3+</sup>Y)L; antioxidant; degradation

当前,世界范围内化石燃料烟气中所排放的CO<sub>2</sub>占总排放量的40%以上。为了有效控制CO<sub>2</sub>的排放,工业上常采用有机胺法捕集回收CO<sub>2</sub>。这是目前工业应用最主要、最成功的方法之一,在未来较长一段时间仍将是全球CCUS领域最为重要的碳捕集技术。然而,烟气等气源中所含有的氧气组分会造成有机胺的氧化降解,不仅会造成溶液发泡、设备腐蚀、捕集能力下降、能耗增加,还增加吸收剂消耗成本及装置检维修成本等,且降解废液还会引起设备腐蚀以及环境污染问题。因此,解决好溶剂抗氧化降解的问题是有机胺法碳捕集装置大规模推广应用所面临的重大技术难题之一。

通常有机胺的降解方式主要有氧化降解、化学降解和热降解。其中热降解是指胺液在解吸塔、煮沸器等高温区域发生的不需要氧气参与的降解;化

学降解是指与气源中SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>等发生化学反应形成难以再生的热稳定盐;氧化降解是指有机胺与氧气在活性基团的作用下发生的氧化还原反应。然而在实际工业装置运行过程中,上述3种降解方式往往同时发生,且相互影响、相互作用,形成一个复杂的降解反应体系<sup>[1-2]</sup>。目前,已有较多的文献报道了常用有机胺捕集溶剂(如MEA、MDEA、AMP等)的降解机理,并且较详细地讨论研究了降解的影响因素,如温度、氧气压力、金属离子等<sup>[3-4]</sup>。但是,对如何增强有机胺型溶液抗氧化降解能力的研究较少且缺乏系统性<sup>[5]</sup>。多数文献没有展开深入研究且仍然采用较为落后的抗氧化剂,从而成为了该技术整体进步的瓶颈<sup>[6-7]</sup>。尤其是在国内,仅有少数的专利中报道过相关有机胺的抗氧化剂,而对于新型抗氧化剂的试验研究工作更是未见报道,已建成的万

收稿日期:2023-02-17;修回日期:2023-10-15

作者简介:江洋洋(1981-),女,博士,高级工程师,研究方向为气体净化技术,通讯联系人,jiangy.nhgs@sinopec.com。

吨级碳捕集示范项目中,有一部分装置出现吸收剂与氧气接触后性能大大失效并产生大量废液的情况。所提出的抗氧化剂并不属于传统耗氧型的抗氧化剂(如  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ),是一类有机金属化合物。其氧化抑制作用的特点及内在机理仍需深入研究,通过类比,有利于指导新型抗氧化剂的开发和筛选工作<sup>[8]</sup>。

因此,笔者选用有机胺法捕集技术中最具代表性的吸收剂组分—乙醇胺(MEA)溶液为研究对象。研究温度、压力、 $\text{CO}_2$  含量,抗氧化剂( $\text{M}^{3+}\text{Y}$ )L 对 MEA 溶液氧化抑制作用的影响。并根据实验现象提出抗氧化机理。

## 1 实验部分

### 1.1 实验药品及仪器

一乙醇胺,纯度 99.9%;去离子水;氧气,纯度 99.9%;二氧化碳,纯度 99.9%;有机金属( $\text{M}^{3+}\text{Y}$ )L,纯度 99.9%。不锈钢高压反应釜,500 mL;恒压储氧罐。

### 1.2 实验方法

典型实验过程:向高压反应釜中加入 0.4 g 抗氧化剂( $\text{M}^{3+}\text{Y}$ )L,再加入 200 g 一乙醇胺水溶液,浓度为 3 mol/L。对准放上釜盖并拧紧,加热至 30℃ 保温 15 min,然后向反应釜内定量迅速充入一定量  $\text{CO}_2$ ,并开动搅拌使之完全被胺液吸收(压力表降至零)。加热高压釜至 120℃,再通过恒压储罐向釜内充入 1.0 MPa 的氧气,并保持储罐与反应釜之间联通,当反应釜内氧气发生反应而减少则恒压储罐会自动补给至釜内。同时通过电脑在线监测反应釜中氧气减少的情况。待两部分联通装置压力稳定时,开动搅拌器进行降解反应,并记时。当储罐内氧气压力开始下降时,氧化降解反应已开始并取样分析。记录该初始降解时间并作为降解情况的指标。上述实验条件称为典型反应条件。

分析方法:利用福立 GC9790 型气相色谱仪分析氧化降解反应过程中一乙醇胺的含量。色谱柱为 SGE SE-30 毛细管色谱柱(0.25 mm×30 m);分析条件为:氢火焰离子化检测器,载气为氮气,柱温为 160℃,检测器温度为 230℃。

## 2 结果与讨论

抗氧化剂( $\text{M}^{3+}\text{Y}$ )L 是一种配合物,其中心原子为+3 价金属元素。( $\text{M}^{3+}\text{Y}$ )L 为非耗氧型抗氧化剂,不需要向体系中频繁添加。相较于实际工业装置运

行条件,本实验选择在更为苛刻的强化氧化条件下进行降解实验研究。

### 2.1 抗氧化剂( $\text{M}^{3+}\text{Y}$ )L 的质量分数对 MEA 水溶液降解的影响

抗氧化剂( $\text{M}^{3+}\text{Y}$ )L 的用量既要保证有效的抗氧化作用,还需控制其经济实用性。抗氧化剂( $\text{M}^{3+}\text{Y}$ )L 的质量分数对初始降解时间的影响如图 1 所示。从图 1 中可以看出,相比未加抗氧化剂的 MEA 溶液,添加( $\text{M}^{3+}\text{Y}$ )L 后可以显著地增强 MEA 水溶液抗氧化降解能力,即初始降解时间大大延长;当( $\text{M}^{3+}\text{Y}$ )L 质量分数仅为 0.05% 时,初始降解时间为 147 min,并且随着用量的进一步增大,初始降解时间不断增加。抗氧化剂质量分数在 0.05%~0.15% 的范围内,曲线斜率较大,表明其单位用量的氧化抑制效果能够最大化。但是考虑到实验在搅拌转速 400 r/min 的条件下进行,而实际工业装置运行的复杂性,以及抗氧化剂的分布可能存在相对较差的均一性,故需要增加用量以保证抗氧化剂的实际最低浓度分布,一般地,选择在 0.15%~0.25% 较为合适。当抗氧化剂质量分数为 0.2% 时,初始降解时间提高近 16 倍。其他反应条件:反应温度为 120℃、搅拌速率为 400 r/min、浓度为 3 mol/L MEA 用量为 200 mL、氧气压力为 1.0 MPa。

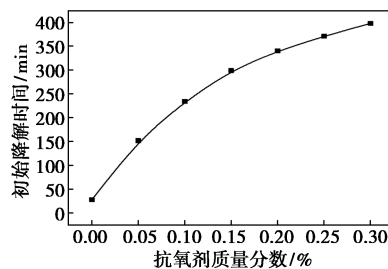


图 1 抗氧化剂( $\text{M}^{3+}\text{Y}$ )L 的质量分数对初始降解时间的影响

### 2.2 $\text{CO}_2$ 酸气摩尔分数对 ( $\text{M}^{3+}\text{Y}$ )L 氧化抑制作用的影响

工业二氧化碳捕集装置中,贫富液中均含有二氧化碳,且摩尔分数在吸收塔、再生塔中均连续变化。MEA 为捕集溶剂时, $\text{CO}_2$  摩尔分数一般在 0.12~0.5。当  $\text{CO}_2$  摩尔分数分别为 0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 时,其对应的氧化降解情况如图 2 所示。其余反应条件:反应温度为 120℃、搅拌速率为 400 r/min、3 mol/L MEA 用量为 200 mL、氧气压力为 1.0 MPa、( $\text{M}^{3+}\text{Y}$ )L 质量分数为 0.2%。从图 2 中可以看出,随着 MEA 溶液中酸气摩尔分数的上升,

初始降解时间不断缩短。也就意味着  $(M^{3+}Y)L$  的有效抑制氧化能力随酸气量的增加有所降低,当  $CO_2$  摩尔分数为 0.5 时,下降最多(约为 16%)。这是由于 MEA 溶液吸收  $CO_2$  之后所发生的部分化学降解与氧化降解相互作用而影响了抗氧剂  $(M^{3+}Y)L$  的作用效果。但总体而言仍然具有较好的氧化抑制效果。

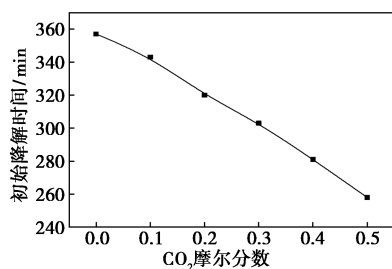


图2  $CO_2$  摩尔分数对  $(M^{3+}Y)L$  氧化抑制作用的影响

### 2.3 氧气的压力对 $(M^{3+}Y)L$ 氧化抑制作用的影响

一般地,烟气中氧气的体积分数在 6%~12%,且其分压低于 0.1 MPa。拟研究 MEA 水溶液在强化氧化降解的条件下进行。反应温度达到 120℃ 后,向反应釜内分别充入氧气分压为 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 MPa 时,其对应的 MEA 水溶液的降解情况如图 3 所示。其余反应条件:搅拌速率为 400 r/min、MEA 浓度为 3 mol/L、 $(M^{3+}Y)L$  质量分数为 0.2%。从图 3 中可以看出,随着氧气分压的增大,MEA 的初始降解时间逐渐减小,且几乎呈线性变化。这是由于氧气分压增大必然使得溶解氧增加,从而加快了抗氧剂失效的速率。

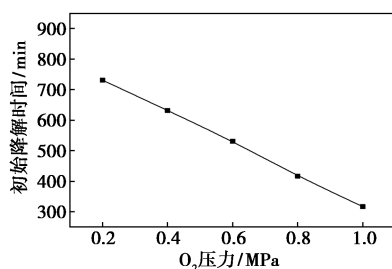


图3 氧气压力对  $(M^{3+}Y)L$  氧化抑制作用的影响

### 2.4 MEA 水溶液浓度对 $(M^{3+}Y)L$ 氧化抑制作用的影响

MEA 水溶液的浓度对整个脱碳工艺也极为重要,往往影响到其他环节,包括再生能耗、溶液循环量、对气体的处理量、净化度、腐蚀性、降解速率等。一般情况下,有机胺溶液在高温、氧气的作用下会发

生较快的降解,从而导致捕集能力下降甚至成为废液难以处理。而目前所使用的抗氧剂如亚硫酸钠、碳酸铜等效果并不理想。由于初始降解时间呈递减趋势,表明 MEA 浓度越大,抗氧剂效果越差,但下降速率相对变慢,见图 4。

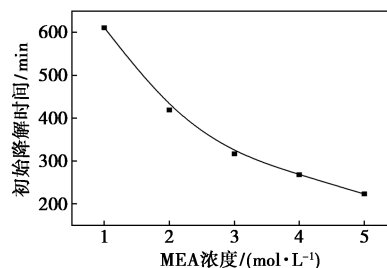


图4 MEA 浓度对  $(M^{3+}Y)L$  氧化抑制作用的影响

### 2.5 不同温度对 $(M^{3+}Y)L$ 氧化抑制作用的影响

温度对 MEA 的氧化降解也是极为重要的影响因素。通常工业装置中再生温度范围在 100~120℃,但在煮沸器中局部温度或者更高。实验在强化条件下进行,故选择反应温度在 100~140℃ 范围内进行研究,结果如图 5 所示。从图 5 中可以看出,反应温度从 100℃ 升至 140℃,初始的降解时间明显缩短,表明该氧化剂受温度的影响较大。

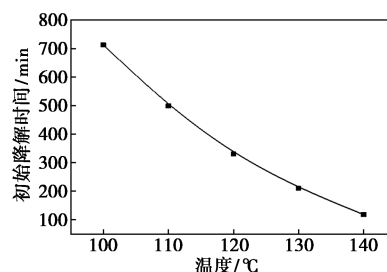


图5 反应温度对  $(M^{3+}Y)L$  氧化抑制作用的影响

### 2.6 不同金属离子对 $(M^{3+}Y)L$ 氧化抑制作用的影响

工业上,二氧化碳捕集装置部分管道设备通常为碳钢等材质,其耐腐蚀性较差,随着装置的运行往往会向脱碳溶剂中引入一定量的金属离子,如  $Fe^{3+}$  等。分别考察了  $Fe^{3+}$ 、 $Cu^{2+}$ 、 $V^{5+}$ 、 $Mn^{2+}$ 、 $Na^+$ 、 $K^+$  等金属离子对  $(M^{3+}Y)L$  氧化制作用的影响,结果如表 1 所示。金属离子质量浓度为 50 mg/L、搅拌速率为 400 r/min、3 mol/L MEA 浓度用量为 200 mL、 $(M^{3+}Y)L$  质量分数为 0.2%。

表1 不同金属离子对  $(M^{3+}Y)L$  氧化抑制作用的影响

金属离子种类	$Fe^{3+}$	$Cu^{2+}$	$V^{5+}$	$Mn^{2+}$	$Na^+$	$K^+$	不添加
初始降解时间/min	325	322	324	323	329	330	331

从表 1 中可以看出,金属离子对抗氧剂作用的影响效果较小,即使是相对影响作用最大的  $\text{Cu}^{2+}$ ,初始降解时间较未添加金属离子只降低 9 min。表明  $(\text{M}^{3+}\text{Y})\text{L}$  抗氧剂对存在常见金属离子的 MEA 溶液仍然能够发挥较好的氧化抑制作用。

### 3 抗氧剂机理分析

通常在该领域内,工业上所使用的抗氧化剂一般为亚硫酸钠等耗氧型物质,即先与氧气反应,以降低脱碳溶剂中的氧含量,从而延长有机胺的使用寿命。尽管该类抗氧化剂能够起到一定程度的作用,但在运行的过程中需要不断地消耗,不仅增加了运行成本,向体系中持续引入过多的热稳定盐 ( $\text{SO}_4^{2-}$ ),还会降低吸收剂性能以及提高除盐成本。

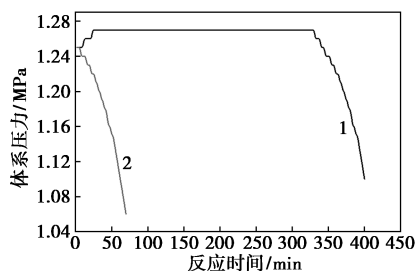
为了进一步研究  $(\text{M}^{3+}\text{Y})\text{L}$  的抗氧化机理,进一步进行实验研究:首先,通过实验研究抗氧剂  $(\text{M}^{3+}\text{Y})\text{L}$  是否与氧气发生反应,实验条件:抗氧剂质量分别为 0.4、1、2、5、10 g;去离子水 200 mL(不含 MEA 以及  $\text{CO}_2$ );反应时间为 5 h;其余条件与典型反应条件相同,结果如表 2 所示。

表 2 抗氧剂  $(\text{M}^{3+}\text{Y})\text{L}$  质量对氧气消耗的影响

$(\text{M}^{3+}\text{Y})\text{L}$ 质量/g	0.4	1	2	5	10
体系初始反应压力/MPa	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29
体系最终压力/MPa	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29

从表 2 中可以看出,在  $120^\circ\text{C}$  以及 1.0 MPa 氧气存在下,抗氧剂  $(\text{M}^{3+}\text{Y})\text{L}$  并不与氧气直接反应,故其氧化抑制作用并不是通过先与氧气反应而实现保护 MEA 不被氧化的方式。

其次,在典型反应条件下(MEA 溶液中不含  $\text{CO}_2$ ),MEA 的初始降解时间为 331 min。延长反应时间至 400 min,得到氧气含量与反应时间的关系如图 6 曲线 1 所示。



1—实验 1;2—实验 2

图 6 反应时间与体系压力的关系

从图 6 曲线 1 中可以看出,反应开始前 331 min,反应体系的压力并没有发生变化;随着反应时间进一步延长至 400 min,体系的压力明显下降,表明此时 MEA 溶液与氧气发生了快速的氧化反应,并且开始不断地消耗氧气。反应至 400 min 取样进行色谱分析,此时 MEA 质量分数为 86.4%(不计水)。

与上述实验反应条件相同,随着反应的进行,当  $\text{O}_2$  压力开始下降后继续延长反应 5 min(确保 MEA 开始明显氧化降解),记录温度压力状态后停止搅拌并迅速冷却至室温,打开反应釜并向体系中添加新鲜的  $(\text{M}^{3+}\text{Y})\text{L}$  抗氧剂 0.4 g,再次升温、充压(氧气)恢复停止搅拌前所记录的状态,开动搅拌并记时得到对照实验如图 6 曲线 2 所示。从图 6 曲线 2 中可以看出,在相同反应条件下,尽管向反应体系中添加了新鲜抗氧剂  $(\text{M}^{3+}\text{Y})\text{L}$ ,未能抑制 MEA 进一步发生氧化降解反应。经过反应 64 min 后,取样分析得到 MEA 质量分数为 85.1%(不计水)。

通过实验 1、实验 2 最终的 MEA 质量分数分别为 86.4%、85.1%以及各自氧化降解反应显著发生阶段的曲线趋势来看,  $(\text{M}^{3+}\text{Y})\text{L}$  抗氧剂对已经开始降解的 MEA 体系并没有明显的抗氧化作用。这是由于当氧化反应显著发生后,体系形成自催化使得中间态氧化物质大大增加,故新添加抗氧剂也失去了作用。

从上述对照实验来看,  $(\text{M}^{3+}\text{Y})\text{L}$  的氧化抑制机理不同于耗氧型抗氧剂。该物质的抗氧化机理是:能够降低 MEA 氧化反应过程中某一中间氧化态物质的生成速率,从而延缓了该中间态物质在体系中的积累量(该中间态物质的浓度为氧化反应发生的控制步骤),并进一步延长了 MEA 降解反应发生的时间,起到了氧化抑制作用。

抗氧剂  $(\text{M}^{3+}\text{Y})\text{L}$  在产生氧化抑制作用的过程中并不消耗,与氧气也不发生反应,而对氧化反应的抑制作用是通过还原态的金属离子对中间态物质(通常具有氧自由基性质)进行捕获并得到稳定结构,降低其在溶液中的游离浓度,阻断反应路径而实现。然而随着反应时间的延长,当中间态物质积累量超过一定值,氧化反应迅速进行,此时抗氧剂的抑制作用开始失效。

$\text{Fe}^{3+}$  等金属离子、氧自由基等对 MEA 分子进攻形成质子化的胺离子自由基—即中间态物质之一,该步骤往往是反应速率限制步骤。而  $(\text{M}^{3+}\text{Y})\text{L}$  抗

氧化剂正是通过捕获该胺离子自由基,从而抑制整个氧化反应的发生,所以对金属离子存在的情况下仍然能够起到较好的抗氧化效果。

提高氧化抑制作用的途径:为了更好地发挥  $(M^{3+}Y)L$  的氧化抑制效果,最重要的就是控制中间氧化态物质在体系内的浓度:适当增加首次抗氧化剂的使用量,以捕获更多的中间氧化态物质,延长抑制时间;降低反应温度能够较好地降低中间态物质的生成速率,从而获得更长的抑制时间;降低溶液中氧气的含量,可以使用耗氧型的抗氧化剂与  $(M^{3+}Y)L$  配合使用,从而降低中间态物质的生成速率。适当降低 MEA 浓度以降低中间产物形成的速率,从而延长抑制时间;筛选适当辅助抗氧化剂,使之能够消耗氧化过程中中间产物,与  $(M^{3+}Y)L$  协同使用以达到最佳的抗氧化作用效果。

#### 4 结论

(1)  $(M^{3+}Y)L$  抗氧化剂是一种非耗氧型抗氧化剂,其机理是通过抑制 MEA 氧化降解过程中中间态物质游离态浓度的迅速建立,从而对整体氧化反应发生起到延缓作用。

(2) 对于一乙醇胺水溶液具有显著的氧化抑制效果。在反应温度为 120℃、氧气压力为 1.0 MPa 下,对 3 mol/L 的 MEA 水溶液 200 mL,添加 0.2% 的  $(M^{3+}Y)L$  抗氧化剂能使胺液初始降解时间延长约 16 倍。

(3) 该抗氧化剂受  $Fe^{3+}$ 、 $Cu^{2+}$  等常见工业金属离子的影响很小。

(4) 由  $(M^{3+}Y)L$  抗氧化剂的结构筛选类似抗氧化剂需满足:金属离子处于还原态,但并不与  $O_2$  反应;能够溶于水,具有稳定的离子态;能够捕获中间氧化态物质,并形成稳定结构;抗氧化剂自身的耐热能力强、不易分解。

#### 参考文献

- [1] 施耀,项菲,李伟.混合有机胺吸收烟道气中  $CO_2$  的交互作用机理[J].中国环境科学,2003,23(2):201-205.
- [2] 费维扬,艾宁,陈健.温室气体  $CO_2$  的捕集和分离—分离技术面临的挑战与机遇[J].化工进展,2005,24(1):1-4.
- [3] Aroonwilad A, Tontiwachwuthikul O L P. High efficiency structured packing for  $CO_2$  separation using 2-amino-2-methyl-1-propanol (AMP) [J]. Sep Purif Technol, 1997, 12(1):67-69.
- [4] 毛松柏. NCMA 法脱碳新技术及应用[J]. 化学工业与工程技术, 2007, 28(3):1-3.
- [5] Paul P. Electrodialysis-effective amine reclamation with minimal operational impact [C]. 85th Gas Processors Association, Grapevine, USA, 2006.
- [6] Cummings A L, Smith G D, Nelsen D K, et al. Advances in amine reclaiming-why there's no excuse to operate a dirty amine system [C]. Larurance Reid Gas Conditioning Conference, 2007.
- [7] Alper E. Reaction mechanism and kinetics of aqueous solutions of 2-amino-2-methyl-1-propanol and carbon dioxide [J]. Ind Eng Chem Res, 1990, 29(8):125-1728.
- [8] 卢敏,武斌,朱家文.胺法脱碳技术研究进展[J].上海化工, 2005, 30(11):25-28. ■

### 罗姆将成立全球领先的优质薄膜板材公司 POLYVANTIS

罗姆亚克力制品业务部将与沙特基础工业公司 (SABIC) 聚碳酸酯(PC) 薄膜板材业务部合并,成立一家全球领先的亚克力和 PC 薄膜板材公司 POLYVANTIS,提供薄膜、板材、管材和棒材等产品,服务于建筑施工、运输航空、电子电气、汽车、家居与园艺等多个细分市场。POLYVANTIS 在美洲、欧洲、亚洲和非洲共有 16 个生产基地和 1 500 名员工,全球销售额预计可达 7 亿美元左右。

2022 年 12 月,罗姆与 SABIC 签署了一项收购协议,收购 SABIC 旗下的 PC 薄膜板材业务。经相关监管部门审批后,罗姆亚克力制品业务和 SABIC PC 薄膜板材业务的剥离工作预计将于 2024 年第二季度完成。

投资方安宏资本 (Advent International) 的管理合伙人

Ronald Ayles 表示:“客户将首次可以一站式采购 PLEXIGLAS® 宝克力®、LEXAN™ 薄膜板材等优质产品。此次合并并将促使两家公司的两个业务部门加速发展,共同取得更大的成功。POLYVANTIS 将整合两个业务部门的创新实力和技术专长,为全球客户提供全面的解决方案。”

罗姆和 SABIC 已经就各自的品牌签订了长期许可协议。宝克力® 模塑料业务仍属于罗姆公司,而 LEXAN™ PC 树脂业务仍属于 SABIC 公司。

罗姆首席执行官裴铭夏 (Michael Pack) 表示:“通过品牌共享和签订长期协议, POLYVANTIS 将与罗姆和 SABIC 保持密切合作。我们期待未来在更多领域展开合作,并坚信 POLYVANTIS 将迎来更多新的市场机遇。” (孙聪颖)