

技术进展

合成氨催化技术与工艺进展

刘化章 李小年

(浙江省多相催化重点实验室, 浙江工业大学催化研究所, 浙江 杭州 310014)

摘要: Fe_{1-x}O 催化剂体系的发明, 使合成氨催化剂的活性有了飞跃性进步。采用 Fe_{1-x}O 基 A301 催化剂可实现低压合成氨工艺, 其合成回路吨氨能耗可降低 1.30 GJ。钌催化剂的发明则有可能成为真正突破经历了近一个世纪的铁催化剂。以钌催化剂为基础的 KAAP 工艺开发成功, 每吨氨的生产成本可降低 2.2~6.6 美元, 节能 1.20 GJ。由于钌的稀有和昂贵, 在可以预见的时间内, 钌催化剂不可能立即取代铁催化剂。采用超临界技术有可能实现非平衡限制氮加氢技术的设想。

关键词: 氨合成催化剂; Fe_3O_4 催化剂; Fe_{1-x}O 催化剂; 钌催化剂; 低压合成氨; KAAP 工艺; 超临界合成氨

中图分类号: TQ113.266.3; TQ426.8

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2004)02-0007-05

Advances in catalytic technology and process for ammonia synthesis

LIU Hua-zhang, LI Xiao-nian

(Catalysis Institute of Zhejiang University of Technology, Zhejiang Key Laboratory of Heterogeneous Catalysis, Hangzhou 310014, China)

Abstract: The discovery of the wustite-based catalyst has given a strong impact on the consolidated scientific knowledge of ammonia catalysts, and greatly improves the activity of ammonia catalysts. And a low-pressure ammonia synthesis process based on the wustite-based iron catalyst A301 saves the energy consumption of about 1.30 GJ per ton ammonia production. The ruthenium-based ammonia catalyst has broken through the system of iron-based catalyst used in industry for about 100 years. The KAAP process based on Ru-based catalyst saves about the energy consumption of 1.20 GJ and the cost of 2.2-6.6 U.S. dollar per ton ammonia production as compared to the conventionally reduced-energy design on the same basis. However, ruthenium is a rare and noble metal on earth, thus it is impossible in industry for the Ru-based catalyst to replace iron-based catalysts in the near future. The idea of no limit of chemical equilibrium for ammonia synthesis has been proposed to be a potential way in the supercritical condition.

Key words: ammonia synthesis; Fe_3O_4 -based catalyst; Fe_{1-x}O -based catalyst; ruthenium-based catalyst; low-pressure ammonia synthesis; KAAP process; supercritical ammonia synthesis

合成氨工业的巨大成功不仅解决了人类因人口增长所需要的粮食, 而且带动了一系列基础理论的发展^[1]。合成氨铁催化剂是世界上研究得最成功、最透彻的催化剂之一。但是关于氨合成真相的探讨仍未结束, 关于氨催化剂的结构以及氨分子生成的机理仍有大量问题未能做出回答^[2-3]。现代化的大型合成氨装置, 吨氨总能耗已降到 280 亿~300 亿焦耳, 很接近于 220 亿焦耳的理论值。显然, 对氨催化剂效率任何基本的改进将有助于缩小这一差距。虽然随着石油化工、高分子、碳一化学、环境催化等领域的崛起, 合成氨催化的相对地位逐渐下降, 目前已不是催化研究的主要方面, 但合成氨工业及其催化剂技术进步不会停止。

我国现有合成氨装置能力 41.90 Mt/a, 居世界

第一位, 其中大型装置占 24%, 中型装置占 18%, 小型装置占 54%。在大中小三类企业中, 引进的大型装置的能耗接近国外水平, 而中小企业(占全国总产量的 52.4%)的成本远高于大型装置, 其能耗则高出先进水平近 1 倍。巨大的经济利益始终推动着合成氨工业及其催化剂的技术进步与发展, 降低能耗是合成氨工业技术进步的核心。

1 合成氨催化剂

合成氨工业需要更低温度和压力下具有更高活性的催化剂。目前, 工业催化剂的催化效率, 在高温下(因压力而异)已达 90% 以上, 已接近平衡氨浓度。例如在 15 MPa、475℃ 以上, A301 催化剂的催化效率接近 100%^[4]。另一方面, 工业合成氨的单程

转化率,即氨的合成率只有 15%~25%,大部分气体需循环,增加了动力消耗。要提高催化剂的活性和单程转化率,就必须降低反应温度。因此,氨合成催化剂研究的总发展趋势就是开发低温高活性的新型催化剂,降低合成氨反应温度,提高氨的平衡转化率和单程转化率。英国石油(BP)公司钨催化剂的发明和中国 Fe_{1-x}O 基催化剂体系的创立^[5-7],标志着合成氨催化剂进入了一个新的发展时期,由唯一的传统 Fe_3O_4 路线发展为 3 条技术路线,并各自取得了重大进展。

1.1 Fe_3O_4 基传统熔铁催化剂

1.1.1 经典的火山形活性曲线

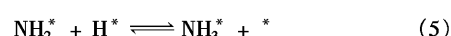
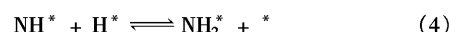
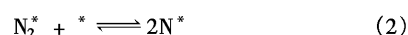
Harber 和 Mittasch 等开发成功合成氨铁催化剂以来,人们对此进行了极其广泛和深入的研究^[8]。通常认为以 Fe_3O_4 为母体的催化剂具有的活性最高,火山形活性曲线便成为沿袭了几十年的经典结论。迄今为止世界上所有工业氨合成铁催化剂,无一例外,其主要化学组成都是 Fe_3O_4 ^[2]。1979 年英国 ICI 公司率先添加氧化钴,研制成功 Fe-Co 催化剂,使活性有一定提高,并成功应用于 ICI-AMV 工艺^[9]。此后,不少学者^[10]曾添加稀土氧化物来改善催化剂的性能,但其活性均未能超过 Fe-Co 催化剂。试图通过助催化剂来提高传统熔铁催化剂的活性已经变得十分困难。

1.1.2 活性中心模型及反应机理

活性中心本质和催化反应机理及其动力学是多相催化研究的 2 个核心问题。1925 年 Taylor 提出了活性中心学说,1936 年 Kobozev 进一步发展为活性集团理论。活性中心概念被普遍接受。发生在 Fe 表面的合成氨反应,人们曾提出过各种活性中心模型,有 3Fe 原子、6Fe 原子和 7Fe 原子模型等,但没有一致的结论。Somorjai 等^[11]借助现代分析工具研究立方结构的 Fe 的 3 种晶面上高压合成氨,发现(111)面的催化活性比紧密堆积的(110)面高约 430 倍,(100)面的活性亦比(110)面高约 32 倍。这一结

果受到了普遍的重视与认可。含有 C_7 原子的类似于 Fe(111)晶面的结构被认为是合成氨反应的活性中心。因此,合成氨催化反应被认为是结构敏感反应^[12]。

有关 N_2 和 H_2 在铁催化剂表面的反应机理,曾有过许多不同的假设。现在较为一致的看法是由以下基元步骤组成:



根据 N_2 的化学吸附为速率控制步骤,曾提出过多种动力学方程,但用逸度表示的 Temkin-Pyzhev 方程或普遍化的 Temkin 方程仍然是工业上最常用的。

1.2 FeO 基氨合成催化剂的发现

1.2.1 铁氧化物的驼峰形活性曲线

铁的氧化物有 Fe_3O_4 、FeO 和 Fe_2O_3 等 3 种,为什么只有 Fe_3O_4 是最好的呢?刘化章等^[13]系统地研究了铁氧化物及其混合物与催化活性的关系,获得图 1 所示的驼峰形活性曲线。从图 1 看到,在 $R < 1$ (R 为 Fe^{2+} 与 Fe^{3+} 摩尔比)范围内,催化活性与 R 的变化是与经典火山形活性曲线相一致的;当 R 达到 5

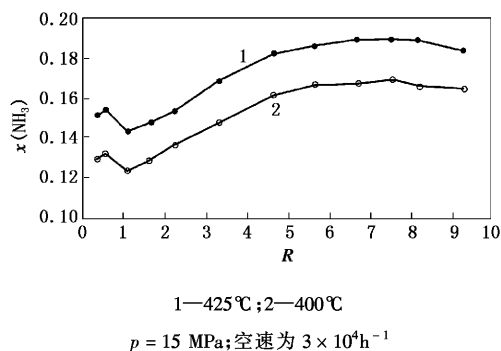


图 1 熔铁催化剂的驼峰形活性曲线

(上接第 6 页)

无论在国内还是在国际上将会越来越多。国际合资与联合体执行项目的项目经理应该补充承担整个联合体在执行大型复杂项目责任的新任务,现代国际项目经理必须具备建立与管理高品质国际项目团队的能力,掌握如何将一般项目管理的工具正确有效地进行改进,并用于联合体项目的管理。国际化项

目的管理必须是问题驱动型的过程,应随着项目的执行调整项目的阶段目标,从而最终保证整个项目的目标得以实现。

参考文献

- [1] Christy Hightower, George Soete. [J]. The Journal of Academic Librarianship, 1995, (3): 87-91.
- [2] Lenehan B. [J]. Hydrocarbon Process, 2002, 81(9): 85-88. ■

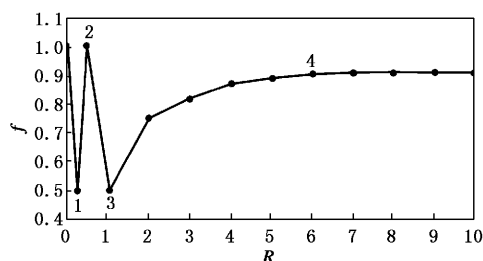
以后,催化剂母体形成了完全维氏体 Fe_{1-x}O 结构,熔铁催化剂活性达到了最高值。这一实验结果突破了沿袭了 80 多年的熔铁催化剂“组成接近磁铁矿时具有最高活性”的经典结论,找到了提高熔铁催化剂性能的新催化体系——维氏体 Fe_{1-x}O 体系。

1.2.2 单相性原理和铁氧化物的活性模型

为了解释驼峰形活性曲线变化规律,刘化章等提出了铁氧化物分子比(f)的概念和单相性原理^[14]。 f 的物理意义是熔铁催化剂母体中不同铁氧化物(Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 和 FeO)的分子比:

$$f = n(\text{主相}) / [n(\text{主相}) + n(\text{次相})]$$

在 $\text{Fe}-\text{O}$ 相图的不同相区内, f 与 R 存在如图 2 所示关系,其中 R 是 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 的摩尔比。



1— $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_3\text{O}_4$; 2— Fe_3O_4 ; 3— $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_3\text{O}_4$; 4— Fe_{1-x}O

图 2 铁氧化物分子比与 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 摩尔比的关系曲线

比较图 2 与图 1 可以得到:①最好的熔铁催化剂母体应该只有一种铁氧化物;②任何 2 种铁氧化物的混合(掺杂)都会引起催化活性的降低,当 2 种铁氧化物以等摩尔共存时,活性降到最低点,即混合程度愈大,活性愈低;③铁氧化物的合成氨活性次序为: $\text{Fe}_{1-x}\text{O} > \text{Fe}_3\text{O}_4 > \text{Fe}_2\text{O}_3 >$ 混合氧化物。这是制备熔铁催化剂的单相性原理。图 2 表示了由不同铁氧化物或其混合氧化物还原得到的熔铁催化剂的合成氨活性模型^[15]。由此可见,以铁氧化物为基体的熔铁催化剂中,由 Fe_{1-x}O 还原得到的 Fe_{1-x}O 基催化剂具有最高的活性。

Pernicone 等^[16]对以维氏体和磁铁矿为母体的催化剂进行了比较研究,证明了以维氏体为母体的催化剂具有更高的活性,在 $400 \sim 460^\circ\text{C}$ 范围内,即典型的现代合成氨体系,维氏体催化剂反应速率比以磁铁矿为母体的催化剂平均要高出 70%。尤其是在低温下,除了在高转化率情况之外,可以达到 Ru/C 催化剂的性能,与 Ru/C 催化剂具有竞争性。并指出 Fe_{1-x}O 基催化剂的发现给已成形的合成氨催化剂科学知识体系带来巨大冲击,有必要对合成

氨铁系催化剂现有统一的理论知识进行重新考虑。

1.3 钌基催化剂的发明

20 世纪 30 年代 Zenghelis 和 Stathis 首次报道了钌的氨合成催化活性,但活性不如铁,之后很长一段时间未见报道。1972 年 Ozaki 等发现,钌为活性组分、金属钾为促进剂、活性炭为载体的催化剂对氨合成有很高的活性,在常压下的活化能为 69.1 kJ/mol ,打开了钌催化剂研究之先河^[17]。之后,日本、俄罗斯、英国、美国、意大利等国的学者,投入大量精力到钌催化剂的研制以取代铁催化剂^[18-19]。

由于钌是稀贵金属,必须将其高分散地负载在载体上,通常用浸渍法制备。研究表明,钌的母体化合物、载体、助催化剂和制备方法及其相互作用对钌催化剂的性能有重要影响。国内外对此已进行了广泛研究,已有许多文献^[20-21]作了详细介绍。

BP 公司将钌负载于一种石墨化的炭上取得了一系列钌基氨合成催化剂的专利^[22],并于 1979 年在实验室规模上开发出一种将钌的羰基化合物负载于含石墨的炭载体上的全新氨合成催化剂。尽管国外大量研究人员在开发研究钌氨合成催化剂,但是由于影响催化剂性能的因素的复杂性,到目前为止仅以石墨化的炭为载体、以 $\text{Ru}_3(\text{CO})_{12}$ 为母体的钌催化剂实现了工业化。

国内有关单位^[23-24]也开展了钌基催化剂的研究。刘化章等的实验结果表明,钌催化剂活性已超过最好的铁催化剂 ZA-5^[25]。尽管钌氨合成催化剂已经进入了工业化阶段,但是考虑到钌的稀有和昂贵,可以预见在今后相当长的时期,钌催化剂不可能立即取代铁催化剂。

与铁催化剂一样, N_2 在钌催化剂上的解离吸附是合成氨反应的速率控制步骤。所不同的是,在钌催化剂上, H_2 的吸附对 N_2 的吸附有强烈的抑制作用,而对产物 NH_3 的抑制并不明显^[26]。前者是钌催化剂仍须解决的一个问题,而后者是钌催化剂的一个优点,利用它可以在合成氨工艺中将钌催化剂置于铁催化剂之后,如 KAAP 工艺^[27]。

2 合成氨新工艺和新技术

2.1 KAAP 工艺

BP 公司和凯洛格 (Kellogg) 公司合作,经过 10 年的共同努力,1990 年 10 月 Kellogg 宣布第一个以钌催化剂为基础的 Kellogg Advance Ammonia Process (KAAP) 工艺流程开发成功,并在加拿大 Ocelot 制氨公司的氨厂进行工业化生产。1998 年又建立了 2

家日产 1 850 t 的新工艺(Grassroot)装置^[27]。KAAP 工艺在 8.96 MPa 压力下操作,这主要是为了与单缸合成气压缩机相配套。同时,在这个压力下,可以节省合成气压缩和合成回路的管道及设备,所节省的成本足以抵消钨催化剂成本的增加。

该装置的特点是单系列大型化,核心是一个 KAAP 合成塔。该合成塔有如下特点:①首次采用热壁塔;②该合成塔为 4 床层间接换热径向氨合成塔,它第一次把 4 床催化剂和内部换热器装在一个筒体内;③第一床装填铁催化剂,其用量占总用量的 50%,其他 3 床装填钨催化剂。在 8.96 MPa 压力下合成塔出口氨体积分数高达 21.7%。

据称采用 KAAP,每吨氨的生产成本可降低 2.2~6.6 美元,节能 1.2 GJ。第一个钨基氨合成催化剂 1992 年 11 月 10 日投产后的运行情况表明,该催化剂寿命与铁催化剂相当,并决定于活性炭载体的流失,而催化剂毒物及其抗毒性与铁催化剂亦相当。钨催化剂的主要特点是高活性,可在高氨浓度、宽范围 H_2/N_2 比、低温低压下操作。

2.2 等压合成氨

以煤作原料的大型合成氨流程可采用以下几种合成氨工艺:①等压合成氨工艺,即 8.5 MPa 下粉煤或水煤浆制气,在 7.5 MPa 下合成氨;②微加压合成氨工艺,即 8.5 MPa 下制气,微加压至 9.0~10.0 MPa 合成氨;③升压合成氨工艺,即 5.0 MPa 下制气,升压至 15~22 MPa 合成氨。等压合成氨工艺的优点是省去了耗大量能量的合成气压缩机;采用微加压合成氨工艺,须对合成气加压,但压缩比很小,能耗不多;升压合成氨工艺的优点是合成压力较高,未反应物循环能耗较小,也便于氨的分离。

实现等压氨合成的关键之一是使用低温低压氨合成催化剂。英国 ICI 公司为 AMV 工艺开发了 74-1 型铁-钴系氨合成催化剂,使合成压力降至 10 MPa^[10]。我国浙江工业大学经过 10 年研究开发成功的 A301 型低温低压氨合成催化剂是一种性能优良、低温低压活性高的新型氨合成催化剂,其主要技术指标已显著超过 ICI 公司的 74-1 型催化剂,为我国开发低压合成氨工艺奠定了基础。

根据有关专家测算,在低压下合成氨,氨净值必须在 8.4%(体积分数)以上才是经济的。根据工业旁路试验实测结果^[28]可知,A301 催化剂在 7.0 MPa、空速 6 000~8 000 h^{-1} 条件下,氨净值在 10%(体积分数)以上,可以满足等压合成氨在工程上经济性对氨净值的要求。根据工业旁路试验结果,并

按照反应器设计的拟均相一维数学模型及 A301 催化剂的动力学参数,分别对大型合成氨厂和中小型合成氨厂采用高压合成氨工艺与低等压合成工艺的动力消耗进行了模拟计算表明^[29],对于大型合成氨厂,在采用 8.53 MPa 渣油、粉煤或水煤浆气化制气的条件下,采用等压合成工艺,由于省去了耗费大量能量的合成气压缩机,合成回路的动力消耗可以减少 4 309.49 kW,吨氨节电 103.43 kW·h,即吨氨能耗降低 1.30 GJ;对于中小型合成氨厂,在采用常压间歇制气的条件下,合成压力从现在的 30 MPa 降低到 10 MPa 是可行的,其合成回路的动力消耗可节省 1 488.5 kW,吨氨节电 108.3 kW·h,即吨氨能耗降低 1.36 GJ^[30]。

2.3 超临界合成氨

现有工业合成氨须在高温高压条件下进行,受化学平衡和催化剂活性的限制,工业合成氨的单程转化率,即氨的合成率只有 15%~25%。大部分气体需要循环,增加了动力消耗,导致了该工艺的高能耗。在合成氨反应中,随反应温度升高,反应速度加快,而平衡氨浓度降低。现有工业合成氨催化剂(例如 A301 和 Ru 催化剂)在高温(475℃以上)下的反应速度已经使该反应达到或接近平衡氨浓度,要进一步提高单程转化率已经不可能,即受到化学平衡的限制。为此,一种途径是继续提高催化剂的低温活性,降低反应温度,使催化剂能在较低温度下仍保持有较高的活性。但是,对现存的各种型号氨催化剂的研究,比任何其他催化剂的研究要仔细得多,任何想从改变催化剂获取可能的效益的设想将是十分困难的。另一种途径是使反应不受到化学平衡的限制,即所谓的非平衡限制氮加氢技术。采用超临界技术有可能实现这一设想。

超临界流体兼有气体和液体的性质,具有与液体接近的密度和与气体接近的黏度和扩散特性,有较好的萃取能力与传递性能。利用这些特性可以提高化学反应的转化率或选择性^[31]。国内外已有一些超临界流体应用于化学反应,并促进化学反应的报道^[32]。氢气+氮气合成氨反应体系中,氢气和氮气的物性差别很大,利用介质在超临界状态下良好的溶解和扩散能力,将氨从催化剂表面萃取下来或被超临界介质所包裹,降低氨在催化剂表面的吸附和气相氨的浓度,使反应向生成氨的方向进行,从而加快正向反应速度。在宏观上看来打破 $3/2H_2 + 1/2N_2 = NH_3$ 的平衡,使受平衡制约的可逆反应变成不可逆反应。这样将大大增加合成氨的单

程转化率,减少合成气循环次数,达到降低能耗的目的。超临界介质的选择是实现超临界合成氨的首要问题,介质在铁催化剂和合成氨条件下的稳定性以及氨的分离等一系列问题有待解决。

参考文献

- [1] Timm B. Ammonia synthesis and heterogeneous catalysis[A]. In: 8th International Congress on Catalysis, Berlin 1984. 第八届国际催化会议报告译文集[C]. 大连:中国科学院大连化学物理研究所情报研究室. 1985. 5-20.
- [2] Nielsen A. [J]. Catal Rev-Sci Eng, 1981, 23(1-2): 17-51.
- [3] Aparicio L M, Dumesic J A. [J]. Topics in Catalysis, 1994, 1(1): 233-252.
- [4] 刘化章, 胡樟能, 李小年, 等. [J]. 浙江工学院学报, 1993, 2: 15-19.
- [5] 浙江工学院. 氧化亚铁基氨合成催化剂及制备方法[P]. CN 1091997, 1994-09-14.
- [6] Zhejiang University of Technology. Fe_{1-x}O-based ammonia synthesis catalyst [P]. US 5846507, 1998-12-08.
- [7] Zhejiang University of Technology. Fe_{1-x}O-based ammonia synthesis catalyst [P]. EP 0763379, 1997-03-19.
- [8] Boudart M. [J]. Topics in Catalysis, 1994, 1(1): 405-414.
- [9] 李维春. [J]. 大氮肥, 1993, 16(3): 169-173.
- [10] 林维明, 董传荣, 甘世凡. [J]. 广东化工, 1984, 2: 6-10.
- [11] Spencer N D, Schoonmaker R C, Somorjai G A. [J]. J Cat, 1982, 74: 129-135.
- [12] Somorjai G A, Materer N [J]. Topics in Catalysis, 1994, 1(3-4): 215-231.
- [13] 刘化章, 胡樟能, 李小年. [J]. 化工学报, 1994, 45(4): 385-392.
- [14] Liu Huazhang, Li Xiaonian. [J]. Science in China (Series B), 1995, 38(5): 529.
- [15] 刘化章, 李小年. [J]. 化工学报, 1998, 49(5): 534.
- [16] Pemicone N, Ferrero F, Rossetti I, et al. [J]. Applied Catalysis A: General, 2003, 251(1): 121-129.
- [17] Aika K, Hori H, Ozaki A. [J]. J Cat, 1972, 27: 424.
- [18] Rao K S R, Masthan S K, Prasad P S S. [J]. Applied Catalysis, 1991, 73(1): L1-L5.
- [19] Moggi P, Albanesi G, Predieri G, et al. [J]. Applied Catalysis A: General, 1995, 123(1): 145-159.
- [20] 林伟忠, 刘化章. [J]. 现代化工, 1994, 14(7): 12-17.
- [21] 牛继舜. [J]. 大氮肥, 1996, 19(5): 329.
- [22] The British Petroleum Company Limited. Process for the synthesis of ammonia using catalysts supported on graphite containing carbon [P]. US 4163775, 1979-08-07.
- [23] Liang Changhai, Wei Zhaobin, Xin Qin, et al. [J]. Applied Catalysis A: General, 2001, 208(1-2): 193-201.
- [24] 王丽华, 林贻基, 江剑, 等. [J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1999, 38(1): 148-151.
- [25] 王晓南, 朱虹, 夏伟琴, 等. [J]. 催化学报, 2000, 21(3): 276-278.
- [26] Aika K, Kumasaka M, Oma T, et al. [J]. Applied Catalysis, 1986, 28: 57-68.
- [27] Strait R. [J]. Nitrogen & Methanol, 1999, 238: 37-43.
- [28] 刘化章, 胡樟能, 李小年, 等. [J]. 大氮肥, 2001, 24(3): 162-166.
- [29] 刘化章, 刘华彦. [J]. 大氮肥, 2001, 24(4): 233-237.
- [30] 刘化章, 李小年, 胡樟能, 等. [J]. 化工学报, 2001, 52(12): 1063-1067.
- [31] 魏伟, 孙予罕, 钟炳. [J]. 燃料化学学报, 1999, 27(增刊): 41-52.
- [32] 姜涛, 牛玉琴, 钟炳. [J]. 燃料化学学报, 1999, 27(2): 116-120.

GE 塑料集团在中国南沙增资扩建

2003年12月9日,通用电气公司(GE)的下属公司之一——GE塑料集团宣布了扩展南沙工厂生产能力的计划。GE塑料集团的高层官员与广州市有关领导一起主持了扩建工程的奠基仪式。

南沙扩建项目总值将达到近6000万美元,主要用于建立8条新的生产线。扩建工程将于2004年11月完工。

目前的南沙项目的建设是从1994年开始,1996年7月投入生产的,总投资额达到7000万美元。厂区面积达8万m²,雇用员工超过200人。1999年,南沙项目通过了ISO14001质量认证。

GE塑料南沙工厂专门生产合成塑料和冲压

胶膜,包括LEXAN树脂、CYCOLOY树脂、NORYL树脂和CYCOLAC树脂以及8010和8B35胶膜。使用的原料包括聚碳酸酯(PC)、ABS、PC胶粒、添加剂和色素。

GE塑料集团是全球主要的工程热塑料生产商,生产基地遍及世界各地。GE的塑料原料,包括LEXAN聚碳酸酯,在各种产品中广泛使用,如CD和DVD、汽车零件、计算机外壳、炊具、户外标志、移动电话、防弹材料以及建筑原料。通过它的LNP工程塑料业务,公司成为工程热塑料合成的世界领先者。GE公司的聚酯成型和结构化产品业务也使得GE塑料成为板材、胶膜、塑料管材和棒材的全球经销商。(李想)