

## 技术进展

## 铁系催化剂在烯烃聚合中的研究进展

罗正鸿,徐伟,朱勇

(厦门大学化学工程与生物工程系,福建 厦门 361005)

**摘要:**铁系烯烃聚合催化剂具有超高聚合活性,存在易合成、成本低、污染少以及所催化制备的聚烯烃(聚乙烯)具有更宽的相对分子质量分布等优点,显示出良好的工业应用前景。按铁系催化剂用于不同烯烃(单体)聚合的技术进展对铁系催化剂在烯烃聚合中的研究状况进行综述,包括铁系催化剂催化乙烯聚合与齐聚、铁系催化剂用于丙烯聚合、用于苯乙烯原子转移自由基聚合等。

**关键词:**后过渡金属;铁系催化剂;烯烃聚合

**中图分类号:**TQ316;TQ314.242

**文献标识码:**A

**文章编号:**0253-4320(2006)S2-0014-05

## Advances in iron catalysts for olefin polymerization

LUO Zheng-hong, XU Wei, ZHU Yong

(Department of Chemical and Biochemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** As a new post-transition metal catalyst for olefin polymerization, iron catalyst has many advantages including high catalyst activity, easy-synthesis, low-cost, low-pollution and the polymer prepared with wide molecule weight distribution, which showed a good foreground in industrial application. The latest progresses in iron-based catalyst for ethylene polymerization, ethylene oligomerization, propylene polymerization, styrene atom transfer radical polymerization was summarized.

**Key words:** post-transition metal; iron catalyst; olefin polymerization

1995年,美国 Du Pont 公司与北卡罗莱纳大学的 Brookhart 等<sup>[1]</sup>合作,开发出以镍、钯二亚胺配合物为催化剂的一类新型聚烯烃催化剂体系。与 Ziger-Natta 催化剂、茂金属催化剂使用钛、锆、钒、铬等前过渡金属不同,新催化剂主要使用第 8 族后期过渡金属元素为催化剂中心原子,具有一些以往催化剂不具备的特性,这些催化剂也称为“后过渡金属催化剂”。

“后过渡金属催化剂”由于具有更宽的活性中心探索空间、更好的聚合物性能调节能力、更高的聚合活性、比茂金属催化剂更易合成的优点,近几年得到快速的发展<sup>[2-3]</sup>。1998年,英国 BP 公司资助英国帝国大学(Imperial College)的 Gibson 等<sup>[4]</sup>和 Du Pont 公司资助北卡罗莱纳大学的 Brookhart<sup>[5]</sup>各自独立发现了铁、钴系单活性中心后过渡金属催化剂。铁、钴体系催化剂是聚烯烃催化剂研究上的最新进展之一,美国 Rice 大学 Barton 教授称之为自德国 Kaminsky 发现茂金属/甲基铝氧烷(MAO)高活性催化剂后在聚烯烃领域取得的一次真正进步<sup>[6]</sup>。与茂金属催化剂相比,在相似聚合条件下,后过渡金属催化剂中

的铁系催化剂具有相当的或更高的聚合活性,具有易合成、成本低、污染少等优点;同时由该类型催化剂催化制备的聚乙烯具有更宽的相对分子质量分布,排除了曾经阻碍茂金属聚合物发展的加工问题,因此具有良好的工业应用前景。

本文综述了铁系催化剂在烯烃聚合方面的研究与发展进展。由于铁系催化剂在催化不同烯烃(单体)聚合时所表现出来的性能并不完全相同,该类催化剂在不同烯烃(单体)聚合方面的应用技术水平也不尽相同。因此,本文按铁系催化剂在不同烯烃(单体)聚合方面的技术进展分别进行综述。

## 1 铁系催化剂用于乙烯聚合和齐聚

## 1.1 乙烯聚合

1998年,Gibson<sup>[4]</sup>和 Brookhart<sup>[5]</sup>所在的研究小组分别发现了铁、钴乙烯聚合催化剂及一种以 2,6-二亚胺吡啶为配体的铁或钴的氯化物为主催化剂、烷基铝或硼的化合物为助催化剂的新型催化剂体系 1(催化剂结构见图 1)。该催化剂特点为:铁、钴系络合物分子结构大致呈 C<sub>s</sub> 对称,对称面为金属原子和

收稿日期:2006-09-01

基金项目:厦门大学固体表面物理化学国家重点实验室开放课题(No. 200505)

作者简介:罗正鸿(1972-),男,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为聚合反应工程,0592-2187190,luozh@xmu.edu.cn。

2个卤素原子形成的平面;芳香环所在的平面和吡啶环所在的平面基本上是垂直的;通过对配体上的骨架修饰和反应条件调节,可以控制反应的催化活性。

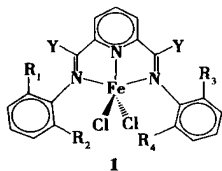


图1 催化剂结构<sup>[4-5]</sup>

Gibson等<sup>[7]</sup>通过研究发现,2,6-二[1-(2,4,6-三甲基苯亚胺)乙基]吡啶的氯化亚铁络合物分子的立体结构是三角双锥结构,而2,6-二[1-(2,6-二异丙基苯亚胺)乙基]吡啶的氯化亚铁络合物分子的立体结构则呈四方锥结构,该类催化剂催化乙烯聚合活性特别高,可高达0.206 g/(mmol·Pa·h)。在聚合条件相同情况下,其活性高过茂金属催化剂,产生高浓度聚乙烯,分子量分布宽,重均相对分子质量高达611 000。

有关二亚胺吡啶配体经过修饰得到高活性乙烯聚合催化剂的研究已有许多报道<sup>[8-10]</sup>。高活性的乙烯聚合催化剂2、3、4都是通过改变配体结构,使得空间位阻改变,从而提高催化剂的催化活性的(图2),但其具体机理尚未有研究报道。

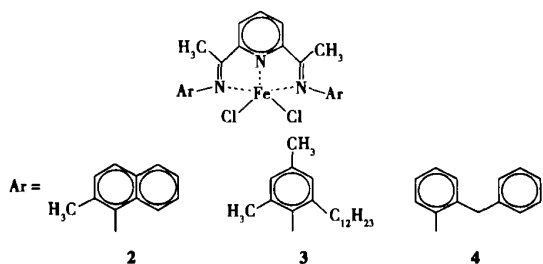


图2 催化剂结构<sup>[8-10]</sup>

钱长涛等<sup>[11]</sup>报道了吡啶二亚胺芳环取代基为卤素的乙烯聚合催化剂,由于卤素原子是给电子体,其电荷效应使得催化剂具有很高的活性,氯代和溴

代的催化剂能使乙烯的催化产物为高度线性聚合物,氟代催化剂得到的乙烯聚合产物为低聚物。Paulino等<sup>[12]</sup>也报道了2,6-二[1-(4-溴-2,6-二甲基苯亚胺)乙基]吡啶的氯化亚铁络合物催化剂具有很高的催化活性,他们认为:溴代产生的电子效应对该催化剂的催化活性起主要作用,因而相应催化剂的催化活性要高于2,6-二[1-(2,6-二甲基苯亚胺)乙基]吡啶的氯化亚铁络合物催化剂的催化活性。

Semikolenova等<sup>[13]</sup>制备了以SiO<sub>2</sub>为载体的SiO<sub>2</sub>/LFeCl<sub>2</sub>+AlR<sub>3</sub>(L为二亚胺吡啶配体,R为烷基)和SiO<sub>2</sub>/MAO/LFeCl<sub>2</sub>固相催化剂,它们比均相催化剂具有更高、更稳定的催化活性,在聚合温度为70℃条件下催化乙烯聚合得到的聚乙烯产品形态更好。

Gibson等<sup>[14]</sup>制备出以咪啶和阴离子咪唑为母体的氯化亚铁络合物(图3)。络合物5、络合物6是以咪啶为母体,聚合活性可达96 g/(mmol·Pa·h)。在相同条件下络合物6的催化活性是络合物5的3倍,研究认为,这是由于络合物5在当时条件下分解的缘故。但相对于吡啶为母体的催化剂来说,其催化活性较低。络合物7是以咪唑为母体,但它在MAO作为助催化剂的情况下并没有显示催化性能,可能是因为配体的空间位阻过大,活化中心没有被暴露出来。

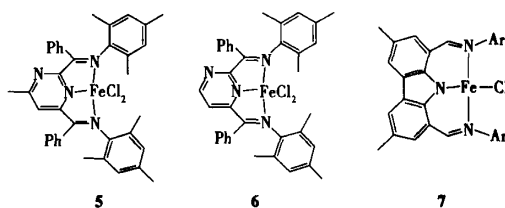


图3 催化剂结构<sup>[14]</sup>

Gibson等<sup>[15]</sup>还报道了用醚和硫醚作为取代基位于亚胺碳原子上络合物8~11(图4),其中络合物11表现出很高的活性,达到0.35 g/(mmol·Pa·h),相对的却只有络合物8没有催化活性。络合物11的

(上接第13页)

的战略瓶颈。另外,由于化石燃料长期广泛使用,全球变暖、环境恶化正逐步威胁人类的生存,我国已经核准旨在延缓全球变暖的京都议定书,这是我国向全世界作出的郑重承诺。随着我国经济实力的增强,国际社会要求我国减排化石燃料有害废气的压力会愈来愈重。目前,我国城市化进程加快,不少大、中型城市的大气污染,正在由单纯的煤烟型污染

向煤烟型与机动车排气污染混合型的方向变化,且有继续加剧的趋势。我国汽车单车污染物排放是国际同类先进机动车的几倍,甚至近10倍,对大气的污染贡献率超过50%。因此,集中优势力量发展清洁高效的氢能源也许是我国抢先进入氢经济,摆脱百年来科技和战略落后,走可持续健康发展的最佳切入点。氢能是未来人类最理想的能源,氢能研究的舞台是广阔的,研究开发氢能将有作为。

催化活性高于络合物 10 的活性。对这一现象 Gibson 的解释是,助催化剂被可逆地附着在杂环原子上导致催化剂不稳定,可能经历配体的分裂或者活性铁-烷基生长物质的分解。大空间位阻的苯硫醚保护硫原子被助催化剂攻击,而显示出很高的催化活性,而且硫原子比氧原子更软,使得苯硫醚更难与具有硬原子铝助催化剂结合。

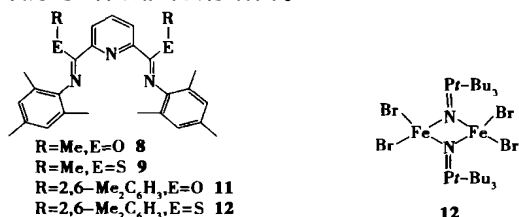


图 4 催化剂结构<sup>[15-16]</sup>

除了吡啶二亚胺配体外,Stephan 等<sup>[16]</sup>还报道了膦亚胺配体和溴化铁络合形成铁-膦亚胺络合物 12 (见图 4),以 MAO 和 Ph<sub>3</sub>C[B(C<sub>6</sub>F<sub>5</sub>)<sub>4</sub>]为助催化剂组成单活性中心催化剂,可催化乙烯聚合,催化活性可达  $5.5 \times 10^{-4}$  g/(mmol·Pa·h),重均相对分子质量可达 547 100,分子质量分布指数为 1.71。

### 1.2 乙烯低聚

吡啶二亚胺的苯环取代基对催化剂的催化性能有显著影响,通过减少苯环取代基的空间位阻可以使乙烯催化产物变成低聚物。Brookhart<sup>[17]</sup>、Schmidt 等<sup>[18]</sup>分别报道了以 2-甲基苯胺、2,3-二甲基苯胺、2,4-二甲基苯胺为吡啶二亚胺配体的芳环,低聚活性分别为  $5.0 \times 10^9$ 、 $1.62 \times 10^6$ 、 $1.37 \times 10^6$  g/(g·h),烯烃的选择性大于 99%,符合 Schulz-Flory 分布,分布指数值为 0.70~0.85。

Bluhm 等<sup>[19]</sup>报道了一类络合物 13~16(图 5)表现出乙烯的齐聚活性,产物为 C<sub>4-18</sub>,TOF 为 1 000~43 000,烯烃选择性为 0.28~0.88,符合 Schulz-Flory 分布,分布指数较小,链增长慢,分布指数值为 0.30~0.39。这一分布指数正好和钱长涛等<sup>[20]</sup>报道的氟代吡啶二亚胺铁络合物 17(见图 5)催化乙烯齐聚的分布指数相一致,它的分布指数为 0.33、0.34。

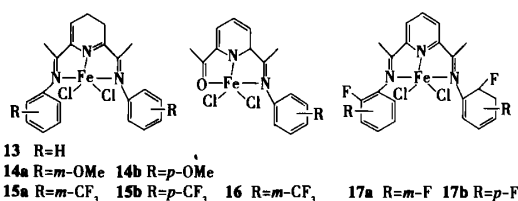


图 5 催化剂结构<sup>[19-20]</sup>

孙文华等<sup>[21]</sup>合成了对称络合物 18 和不对称络合物 19(图 6),但有趣的是络合物 18 不具有催化特性,络合物 19 却显示出乙烯齐聚活性。文献指出,配体的电子共轭效应对催化活性起重要作用。在 40、100 kPa 的乙烯压力下,活性为  $6.6 \times 10^5$  g/(mol·h),产物主要为 C<sub>4-10</sub>,烯烃的选择性为 99.4%。

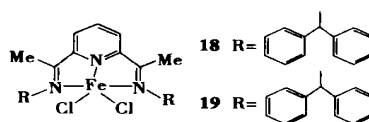
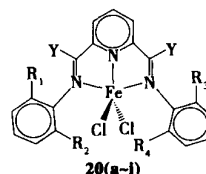


图 6 催化剂结构<sup>[21]</sup>

在吡啶二亚胺铁催化剂中,吡啶二亚胺铁络合物(LFeCl<sub>2</sub>)与三烷基铝(AIR<sub>3</sub>)或者 MAO 组成有效的催化剂能催化乙烯聚合或齐聚。文献[22]根据<sup>1</sup>H NMR 结果指出,在 LFeCl<sub>2</sub>+AIR<sub>3</sub>/MAO 的甲苯溶液中形成了某些新中间体,键的主要形式是 Fe—R—Al,这些中间体是催化剂活性中心,乙烯在这里进行链增长。文献[23]通过电子顺磁共振谱和穆斯堡尔谱指出,加入 MAO 后,2 价铁被氧化成 3 价铁,但无论是 2 价铁还是 3 价铁催化剂,都具有类似的活性,所得聚乙烯都具有类似的结构,认为活性中心是相同的,但迄今为止关于铁的氧化态问题仍然存在争议<sup>[24]</sup>。

## 2 丙烯聚合

Brookhart 等<sup>[25]</sup>用吡啶二亚胺铁络合物 20(见图 7)催化丙烯聚合,通过凝胶色谱(GPC)对聚丙烯分子质量进行测定,发现用所有络合物制备的聚丙烯分子质量都偏低,数均相对分子质量为 600~7 000,

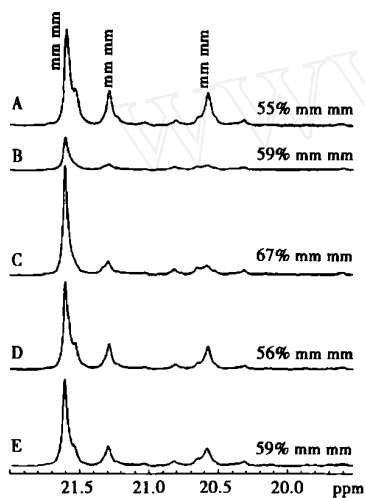


络合物编号	取代基种类
a	R <sub>1</sub> = R <sub>2</sub> = R <sub>3</sub> = R <sub>4</sub> = iPr, Y = CH <sub>3</sub>
b	R <sub>1</sub> = R <sub>2</sub> = R <sub>3</sub> = R <sub>4</sub> = CH <sub>3</sub> , Y = CH <sub>3</sub>
c	R <sub>1</sub> = R <sub>2</sub> = tBu, R <sub>3</sub> = R <sub>4</sub> = H, Y = CH <sub>3</sub>
d	R <sub>1</sub> = tBu, R <sub>2</sub> = H, R <sub>3</sub> = R <sub>4</sub> = CH <sub>3</sub> , Y = CH <sub>3</sub>
e	R <sub>1</sub> = tBu, R <sub>2</sub> = H, R <sub>3</sub> = R <sub>4</sub> = iPr, Y = CH <sub>3</sub>
f	R <sub>1</sub> = R <sub>3</sub> = iPr, R <sub>2</sub> = R <sub>4</sub> = CH <sub>3</sub> , Y = CH <sub>3</sub>
g	R <sub>1</sub> = R <sub>2</sub> = iPr, R <sub>3</sub> = R <sub>4</sub> = CH <sub>3</sub> , Y = CH <sub>3</sub>
h	R <sub>1</sub> = R <sub>3</sub> = iPr, R <sub>2</sub> = R <sub>4</sub> = CH <sub>3</sub> , Y = H
i	R <sub>1</sub> = R <sub>2</sub> = R <sub>3</sub> = iPr, R <sub>4</sub> = CH <sub>3</sub> , Y = CH <sub>3</sub>

图 7 催化剂结构<sup>[25]</sup>

分子质量分布为单峰窄分布,多分散系数约为 2.0,符合单活性中心催化剂制备的聚烯烃的分子质量分布规律。聚合物分子质量的决定因素是配位体的立体构型,芳环上取代基空间位阻大时,所得聚合物分子质量大。

利用 $^{13}\text{C}$  NMR对制备的聚丙烯进行分析,发现络合物 a/MMAO 制备的聚丙烯 mmmm 五元组含量约为 55%,相当于丙烯等规插入率 0.86。在谱图(见图 8)中,除 mmmm 五元组峰以外,还有由于链增长插入差错产生的共振峰,这些差错由丙烯单体插入形成的 r 二元组造成。由于谱图中五单元组 [mmmr]、[mrrm] 的峰强度比值为 1:1,所以可以断定吡啶二亚胺铁络合物催化剂的丙烯聚合链增长过程由链末端机理控制。



A—催化剂 a; B—催化剂 e; C—催化剂 f; D—催化剂 g; E—催化剂 i

图 8 聚丙烯 $^{13}\text{C}$  NMR谱图五元组的甲基峰

### 3 苯乙烯原子转移自由基聚合

原子转移自由基聚合(ATRP)是实现活性聚合的一种颇为有效的途径,它是在 1995 年由美国 Carnegie-mellon 大学的王锦山、Matyjaszewski<sup>[26]</sup>及日本京都大学(Kyoto University)的 Sawamoto<sup>[27]</sup>几乎同时提出的。ATRP 的独特之处在于使用了有机卤代物作引发剂,并用过渡金属催化剂使链增长,自由基被可逆钝化呈休眠状态,有效抑制了自由基之间的双基终止反应,其相对分子质量可控制在 1 000 ~ 100 000,其分子质量分布为 1.05 ~ 1.50。ATRP 集自由基聚合与活性聚合的优点于一体,既可以像自由基那样进行本体、悬浮、溶液和乳液聚合,又可以像可控聚合那样合成置顶结构的聚合物。

Gibson 等<sup>[28-29]</sup>报道了以 双亚胺、亚胺吡啶、

氨基吡啶为配体的铁系催化剂用于苯乙烯的 ATRP 反应。2,6-二异丙基苯取代亚胺吡啶铁络合物 21 (见图 9),易发生链转移反应,ARTP 的可控性下降。大位阻的环十二烷基取代亚胺吡啶络合物 22 (见图 9),有效阻止了链转移反应,反应中自由基浓度随时间增加呈线性增加,其多分散系数为 1.34,数均相对分子质量为 23 300。

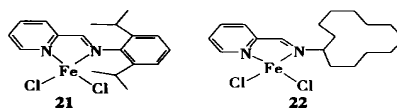


图 9 催化剂结构<sup>[28-29]</sup>

### 4 结语

铁系催化剂因其高活性、低成本、易合成的特点越来越受到研究人员的青睐,但至今铁系催化剂的配体还都局限于吡啶二亚胺或者类吡啶二亚胺配体,这两者和铁的深层次关系还有待研究,目前尚未得到一个普遍使用的规律来指导高活性铁系催化剂的设计,其内在的决定性因素还未被揭示完全,这方面的理论研究及其突破会给铁系催化剂甚至后过渡金属催化剂的发展带来新的思路和契机。同时,铁系催化剂由于其自身显著特点,也为烯烃聚合提供了新的发展空间,给人们在生产工艺和新材料开发方面带来更多的机会;相信铁系催化剂将来必定能成为聚烯烃中最重要的催化剂之一。

### 参考文献

- [1] Johnson L K, Killian C M, Brookhart M. New Pd( )- and Ni( )-based catalysts for polymerization of ethylene and  $\alpha$ -olefins[J]. J Am Chem Soc, 1995, 117: 6414 - 6415.
- [2] Iltel S D, Johnson L K. Late-metal catalysts for ethylene homo- and copolymerization[J]. Chem Rev, 2000, 100: 1169 - 1203.
- [3] Gibson V C, Spitzmesser S K. Advances in non-metallocene olefin polymerization catalysis[J]. Chem Rev, 2003, 103: 283 - 315.
- [4] Britovsek G J P, Gibson V C, Kimberley B S. Novel olefin polymerization catalysts based on iron and cobalt[J]. Chem Commun, 1998(7): 849 - 850.
- [5] Small B L, Brookhart M. Highly active iron and cobalt catalysts for the polymerization of ethylene[J]. J Am Chem Soc, 1998, 120: 4049 - 4050.
- [6] 胡友良. 烯烃聚合催化剂和聚合反应[J]. 高分子通报, 1999, 12(3): 121 - 127.
- [7] Britovsek G J P, Bruce M, Gibson V C. Iron and cobalt ethylene polymerization catalysts bearing 2,6-bis(imino)pyridyl ligands: synthesis, structures, and polymerization studies[J]. J Am Chem Soc, 1999, 121: 8728 - 8740.

- [8] Ma Z, Wang H, Qiu J M, *et al.* A novel highly active iron/2,6-bis(imino)pyridyl catalyst for ethylene polymerization macromol [J]. Rapid Commun, 2001, 22:1280 - 1283.
- [9] Ivanchev S S, Tolstikov G A, Badaev V K. New bis(arylimino)pyridyl complexes as components of catalysts for ethylene polymerization [J]. Kinet Catal, 2004, 45:176 - 182.
- [10] Abur-Surrah A S, Lappalainen K, Piironen U. New bis(imino)pyridine-iron(II) and cobalt(II)-based catalysts: Synthesis, characterization and activity towards polymerization of ethylene [J]. J Organomet Chem, 2002(648):55 - 61.
- [11] Chen Y F, Chen R F, Qian C T. Halogen-substituted 2,6-bis(imino)pyridyl iron and cobalt complexes: Highly active catalysts for polymerization and oligomerization of ethylene [J]. Organometallics, 2003, 22:4312 - 4321.
- [12] Paulino I S, Schuchardt U. A new iron catalysts for ethylene polymerization [J]. J Mol Catal A, 2004, 211:55 - 58.
- [13] Semikolenova N V, Zakharov V A, Talsi E P. Study of the ethylene polymerization over homogeneous and supported catalysts based on 2,6-bis(imino)pyridyl complexes of Fe(II) and Co(II) [J]. J Mol Catal A, 2002, 182/183:283 - 294.
- [14] Britovsek G J P, Gibson V C, Hoar O D. Iron and cobalt ethylene polymerization catalysts: Variations on the central donor [J]. Inorg Chem, 2003, 42:3454 - 3465.
- [15] Smit T M, Tomov A K, Gibson V C. Dramatic effect of heteroatom backbone substituents on the ethylene polymerization behavior of bis(imino)pyridine iron catalysts [J]. Inorg Chem, 2004, 43:6511 - 6512.
- [16] LePichon L, Stephan D W, Gao X L, *et al.* Iron phosphinimide and phosphinimine complexes: Catalysts precursors for ethylene polymerization [J]. Organometallics, 2002, 21:1362 - 1366.
- [17] Small B L, Brookhart M. Iron-based catalysts with exceptionally high activities and selectivities for oligomerization of ethylene to linear  $\alpha$ -olefins [J]. J Am Chem Soc, 1998, 120:7143 - 7144.
- [18] Schmidt R, Hammon U, Gottfried S. Iron(II)-based catalysts for ethylene oligomerization [J]. J Appl Polym Sci, 2003, 88:476 - 482.
- [19] Bluhm M E, Folli C, Döring M. New iron-based bis(imino)pyridine and acetylaminopyridine complexes as single-site catalysts for oligomerization of ethylene [J]. J Mol Catal A: Chem, 2004, 212:13 - 18.
- [20] Chen Y F, Qian C T, Sun J. Fluoro-substituted 2,6-bis(imino)pyridyl iron and cobalt complexes: High activity ethylene oligomerization catalysts [J]. Organometallics, 2003, 22:1231 - 1236.
- [21] Ma Z, Sun W H, Li Z L. Ethylene polymerization by iron complexes with symmetrical and unsymmetrical ligands [J]. Polym Int, 2002, 51:994 - 997.
- [22] Bryliakov K P, Semikolenova N V, Zakharov V A. Active intermediate of ethylene polymerization over 2,6-bis(imino)pyridyl iron complex activated with aluminum trialkyls and methylaluminoxane [J]. Organometallics, 2004, 23:5375 - 5378.
- [23] Britovsek G J P, Clentsmith G K B, Gibson V C. The nature of the active site in bis(imino)pyridine iron ethylene polymerization catalysts [J]. Catal Commun, 2002, 3:207 - 211.
- [24] Bryliakov K P, Semikolenova N V, Zudin V N. Ferrous rather than ferric species are the active sites in bis(imino)pyridine iron ethylene polymerization catalysts [J]. Catal Commun, 2004, 5:45 - 48.
- [25] Small B L, Brookhart M. Polymerization of propylene by a new generation of iron catalysts: Mechanisms of chain initiation, propagation, and termination [J]. Macromolecules, 1999, 32:2120 - 2130.
- [26] Wang J S, Matyjaszewski K. Controlled/ 'living' radical polymerization. Halogen atom transfer radical polymerization promoted by a Cu(II)/Cu(I) redox process [J]. Macromolecules, 1995, 28:7901 - 7910.
- [27] Kato M, Kamigaito M, Sawamoto M. Polymerization of methyl methacrylate with the carbon tetrachloride/dichlorotris(triphenylphosphine)ruthenium(II)/methylaluminum(2,6-ditert-butylphenoxide) initiating system: Possibility of living radical polymerization [J]. Macromolecules, 1995, 28:1721 - 1723.
- [28] Gibson V C, O'Reilly R K, Reed W. Four-coordinate iron complex bearing  $\beta$ -diimine ligands: efficient catalysts for atom transfer radical polymerisation (ATRP) [J]. Chem Commun, 2002(20):1850 - 1851.
- [29] Gibson V C, O'Reilly R K, Wass D F. Iron complexes bearing iminopyridine and aminopyridine ligands as catalysts for atom transfer radical polymerization [J]. Dalton Trans, 2003(24):2824 - 2830.

## 马钢研发出国内首个最高强度级别的螺纹钢新产品

2006年9月8日,在马钢第三钢轧总厂棒材生产线成功开发出目前国内最高强度级别 G500B 16 mm 的螺纹钢新产品。该产品是属于英标系列的产品,屈服强度高,高达 500 MPa;马钢将冶炼新技术和轧钢穿水冷却新工艺有机结合起来,成功研发出这一国内首个最高强度级别的螺纹钢新产品。

为使马钢棒材产品早日进入欧洲市场,配合目前英国 CARES 认证机构产品的认证工作,积极开发英标 G500B 16 mm 的螺纹钢新产品。由于该产品在国内生产尚属首次,500 MPa 强度级别又是目前国内最高级别,因此冶炼和轧钢生产都存在较大难度。在马钢第三钢轧总厂和公司生产、技术、质检等相关部门协作下,在炼钢

中成功研发出 B500B 新钢种的原料后,即投入了新产品的开发生产,使 G500B 16 mm 的螺纹钢新产品的开发从冶炼到轧钢的整个生产过程大获成功。

据悉,目前国内建筑用螺纹钢产品大都是 HRB335、HRB400 强度级别较低的产品,这些产品强度级别较低在建筑上使用量较大。马钢通过穿水冷却新工艺开发的高强度 G460B 以及在 G460B 品种的基础上开发的国内最高强度级别 G500B 螺纹钢新产品,不仅对打开以英国为主的欧洲市场,对今后国内在该产品的推广应用上,特别是国内建筑行业在减少钢材用量,科学合理利用资源和节约能源以及环保都将起到积极的推动作用。