

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.08.009

# PE 燃气阀门焊接工艺参数研究<sup>\*</sup>

贺建平, 刘敏秋, 李相义, 成升文, 黄虹宾

(深圳大学机电与控制工程学院, 深圳市模具先进制造技术重点实验室, 广东深圳 518060)

**摘要:** 针对聚乙烯(PE)燃气阀门的焊接质量问题, 研制了PE燃气阀门自动热熔焊接设备。基于该焊接设备, 以静液压强度为检验标准, 采用正交试验以及单因素试验方法研究了翻边压力、翻边时间、吸热时间、焊接压力及保压时间等工艺参数对焊接性能的影响。结果表明, 当翻边压力为0.17 MPa、翻边时间为61 s、吸热时间为110 s、保压时间为20 min时, 利用自制热熔焊接设备焊接的PE燃气阀门的焊接质量最高, 经80℃、4.0 MPa静液压试验检测, 其耐压时间为1074 h, 符合GB 15558.3-2008要求。

**关键词:** PE; 燃气阀门; 热熔焊接; 工艺参数; 正交试验

**中图分类号:** TQ320.67+4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-3539(2013)08-0042-05

## Research of the Process Parameters of the PE Gas Valve Welding

He Jianping, Liu Minqiu, Li Xiangyi, Cheng Shengwen, Huang Hongbin

(College of Mechatronics and Control Engineering, Shenzhen University;

Shenzhen Key Laboratory of Advanced Manufacturing Technology for Mold &amp; Die, Shenzhen 518060, China)

**Abstract:** A automatic hot-melt welding equipment for polyethylene(PE) gas valve was developed to solve the welding quality problems of PE gas valve. Based on the welding equipment, the influences of process parameters such as flange pressure, flange time, absorption time and pressure holding time on the welding quality were researched by orthogonal test and single-factor test methods with using hydrostatic strength test as the acceptance standard. The result show that when the flange pressure is 0.17 MPa, flange time is 61 s, absorption time is 110 s and pressure holding time is 20 min, the quality of the PE valve which welded by the equipment is the highest. The corresponding time of the 80℃ and 4.0 MPa hydrostatic test lasts for 1074 h and it is in line with national standards GB 15558.3-2008.

**Keywords:** PE; gas valve; hot-melt welding; process parameter; orthogonal test

与传统金属阀门相比, 聚乙烯(PE)阀门具有质量轻、耐腐蚀、使用寿命长、扭矩小、成本低、使用方便等特点, PE阀门在输送自来水、燃气以及在喷灌系统等领域得到日趋广泛的应用<sup>[1]</sup>。工业发达国家在20世纪40年代末已开始PE燃气管道系统的研究并在燃气工程中使用, 我国于20世纪80年代初期开始研究PE燃气管道系统, 于1995年颁发了PE燃气管材、管件的国家标准和工程技术规程<sup>[2-3]</sup>。

在PE燃气阀门生产并推广使用过程中, 其使用安全性是长期以来广大技术人员急需解决的难题。尤其在通燃气使用时, 若阀门的质量控制不佳, 则易造成漏气, 一方面致使资源浪费, 另一方面容易引起爆炸事故, 危害人身安全。静液压强度和密封性是检验阀门的重要标准。由于阀门内部结构不适宜直接成型, 目前, PE燃气阀门的加工生产工艺大多数采用先注塑再焊接的方法。先将阀门的各部分用注塑工艺生产出毛坯, 再对毛坯进行机械加工, 最

后将精加工后的零部件用焊接工艺制成整体。影响静液压强度和密封性的因素主要有阀体各部件生产成型中产生的缺陷(如变形和缩孔等)和阀体各部件之间焊接的接头。关于PE燃气阀门各部件注塑生产时的缩孔和变形难题, 梁业兴等<sup>[4]</sup>已通过正交试验获得最佳注塑参数, 基本上解决了该方面的技术难关。关于PE管道的焊接, 已有学者进行了相关研究并将研究成果成功应用于实际生产中。铁文安等<sup>[5]</sup>研究了PE管材热熔对接接头的性能, 郝维来等<sup>[6]</sup>研制了PE管热熔焊接系统, 冯艳艳等<sup>[7]</sup>介绍了城市燃气管道中PE管的焊接。但目前国内对PE燃气阀门焊接工艺的研究鲜有报道, 笔者基于国内某大型公司生产的DN75型PE燃气阀门, 研制

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金项目(60978039)

联系人: 贺建平, 硕士, 主要从事聚乙烯焊接工艺及自动化设备等研究

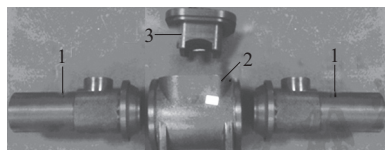
收稿日期: 2013-06-03

了 PE 燃气阀门自动热熔焊接机,研究了焊接参数与焊接接头质量的关系,得出了 PE 燃气阀门自动焊接的最佳工艺参数。

## 1 材料及结构

PE 燃气阀门采用的材料为北欧化工公司生产的 ME3440 黑色中密度聚乙烯,属于 PE80 管材材料的常用规格,是一种燃气管道专用材料,其具有优良的柔韧性、耐候性及长期热稳定性,成型收缩率为 1.5%~3.6%,熔融温度为 140℃,密度为 940 kg/m<sup>3</sup>。

DN75 型 PE 燃气阀门焊接部件实物图如图 1 所示。焊接设备将两端的端管和上端的上盖焊接至阀座上。端管与阀座的焊接面为锥面,焊接时,对两锥面的同轴度要求高,上盖与阀体的焊接面为平面。由于阀门用于燃气输送,所以对焊接质量具有很高的要求,结构上要求阀座与端管的焊接面具有良好的同轴度,焊接参数要求控制精确。



1—端管;2—阀座;3—上盖

图 1 焊接前 PE 燃气阀门焊接部件实物图

## 2 焊接工艺

### 2.1 工艺方法

对于 PE 材料,常见的焊接工艺有超声波焊接、旋转摩擦焊接、电磁感应焊接及热板热熔焊接。与其它焊接工艺相比,热板热熔焊接具有成本低、实现方便等特点,能够焊接体积硕大、结构复杂的塑料制品<sup>[7]</sup>。基于成本和 PE 燃气阀门的结构考虑,采用热板热熔焊接。

### 2.2 焊接工艺过程

PE 管道的热板热熔焊接工艺过程为翻边、吸热、焊接和保压。焊接的每一个过程对应的压力和时间及加热头的温度均为焊接的主要工艺参数,对焊接接头质量具有重要的影响<sup>[8]</sup>。PE 管道热板热熔焊接的压力与时间的关系如图 2 所示<sup>[9]</sup>。其中,切换过程为焊接面加热完成后到焊接之前的过程,此过程所占用的时间控制在 8 s 以内,若切换时间过长,两个焊接面的熔胶温度下降幅度过大,会影响焊接质量。对于 DN75 型 PE 燃气阀门的焊接,采用与焊接 PE 管道相同的热板热熔焊接工艺,另外,所讨论的压力值均为焊接面熔体的压力值,它与液

压系统输出指示表的压力值不同。需要按式 (1) 进行转换:

$$P_{\text{表}} = P_{\text{熔体}} \times (A_{\text{熔面}} / A_{\text{活塞}}) + P_{\text{拖动}} \quad (1)$$

式中:  $P_{\text{表}}$ ——液压系统输出指示表压力值, MPa;

$P_{\text{熔体}}$ ——焊接面熔体的压力值, MPa;

$A_{\text{熔面}}$ ——焊接面面积, mm<sup>2</sup>;

$A_{\text{活塞}}$ ——液压缸活塞的有效面积, mm<sup>2</sup>;

$P_{\text{拖动}}$ ——拖动系统克服摩擦阻力需要的压力, MPa。

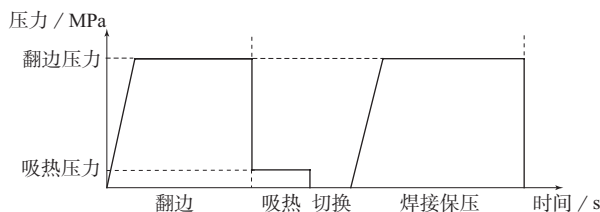


图 2 PE 管道热板热熔焊接过程中压力与时间的关系

### 2.3 焊接设备

目前,关于 PE 管道、燃气阀门的热板热熔焊接,国内尚无有关自动焊接设备的资料可供直接参考,市场上基本上没有能提供准确合格焊接参数的自动化设备。董先智<sup>[10]</sup>用视觉方法进行焊接面的位置定位,采用焊接工艺集成的方法,于同一台机械完成焊接过程。实际应用中,除结构外,还需考虑各阶段的压力、时间及行程位置的精确控制。此外,研制成本因素也应考虑其中。国内 PE 管道焊接设备均为手动焊接设备,若将手动焊接设备应用于 PE 燃气阀门焊接,对工作人员要求高,焊接参数受人为因素影响大,无法得到统一的参数,焊接质量参差不齐。为此,笔者研制了 PE 燃气阀门自动焊接设备。在焊接过程中,各阶段的压力由液压系统提供,采用闭环压力控制系统。

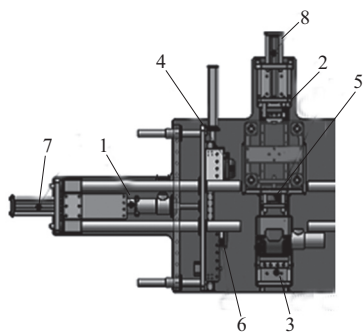
端管与阀座焊接面的空间定位(同轴度)精度由增加的铣削工艺保证,即在焊接加热前,用同轴双面 PE 铣刀对焊接面进行铣削处理,铣削后的焊接锥面达到同轴。

PE 燃气阀门自动焊接设备的 3D 图如图 3 所示。PE 燃气阀门自动焊接设备由 4 部分组成,分别是夹具、加热头、同轴双面铣刀和液压系统。液压系统的作用在于提供焊接过程中各个阶段的压力及行程的控制。

## 3 实验方案

### 3.1 PE 燃气阀门焊接质量检验标准

PE 燃气阀门的力学性能需符合 GB 15558.3—



1,2,3—夹具;4,5—加热头;6—同轴双面铣刀;7,8—液压系统

图 3 PE 燃气阀门自动焊接设备的 3D 图

2008 的要求。静液压强度试验是检验 PE 燃气阀门焊接性能最有效的方法。静液压强度试验依据 GB 15558.3-2008 的规定进行。限于篇幅,仅以 800℃,4.0 MPa 对应的静液压试验的耐压时间作为 DN75 型 PE 燃气阀门的焊接质量评价标准。

3.2 正交试验

(1) 因素和水平的确定。

影响 PE 燃气阀门焊接质量的因素有翻边压力、翻边时间、吸热时间、焊接压力、保压时间和热板温度等 6 种。根据 PE 管道的焊接情况,翻边压力值与焊接压力值相等<sup>[8]</sup>,且 PE 燃气阀门的焊接与 PE 管道焊接具有类似性,试验时,将翻边压力与焊接压力合并为同一因素。热板温度对应的经验值为 210℃,上下波动 10℃对焊接接头质量的影响不大,故在实验中,直接取热板温度为 210℃<sup>[11]</sup>。

试验的实测环境温度约为 20℃,PE 燃气阀门焊接面的壁厚为 15 mm。对于相同厚度的 PE80 材料管道,焊接参考工艺参数为:翻边压力 0.15 MPa,翻边时间 40 s,吸热时间 110 s,保压时间 20 min<sup>[10]</sup>。由于全面试验次数较多,且试验成本高,试验周期长,故采用正交试验方法。PE 燃气阀门的焊接工艺参数初步方案以 PE 管道焊接工艺参数为参考值。试验时,取翻边压力为 0.05~0.25 MPa,每隔 0.05 MPa 为一个水平;取翻边时间为 10~70 s,每隔 15 s 为一个水平;取吸热时间为 70~150 s,每隔 20 s 为一个水平;取保压时间为 10~30 min,每隔 5 min 为一个水平,则试验由 4 因素 5 水平组成,如表 1 所示。

(2) 正交试验方案及结果。

由于各个因素之间无交互作用,选取正交试验表  $L_{25}(5^6)$  进行试验。根据因素和水平确定结果,设计的正交试验方案及结果如表 2 所示。

表 1 因素水平表

| 水平 | 因素               |                |                |                  |
|----|------------------|----------------|----------------|------------------|
|    | 翻边压力 (A)/<br>MPa | 翻边时间 (B)/<br>s | 吸热时间 (C)/<br>s | 保压时间 (D)/<br>min |
| 1  | 0.05             | 10             | 70             | 10               |
| 2  | 0.1              | 25             | 90             | 15               |
| 3  | 0.15             | 40             | 110            | 20               |
| 4  | 0.2              | 55             | 130            | 25               |
| 5  | 0.25             | 70             | 150            | 30               |

表 2 正交试验方案及结果

| 试验<br>编号 | A      | B      | C      | D      | 80℃,4.0 MPa 静液压<br>强度试验耐压时间 /h |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------------------------------|
| 1        | 1      | 1      | 1      | 1      | 197.4                          |
| 2        | 1      | 2      | 2      | 2      | 265.1                          |
| 3        | 1      | 3      | 3      | 3      | 336.5                          |
| 4        | 1      | 4      | 4      | 4      | 350.3                          |
| 5        | 1      | 5      | 5      | 5      | 307.2                          |
| 6        | 2      | 1      | 2      | 3      | 600.7                          |
| 7        | 2      | 2      | 3      | 4      | 684.4                          |
| 8        | 2      | 3      | 4      | 5      | 713.8                          |
| 9        | 2      | 4      | 5      | 1      | 710.0                          |
| 10       | 2      | 5      | 1      | 2      | 680.3                          |
| 11       | 3      | 1      | 3      | 5      | 918.2                          |
| 12       | 3      | 2      | 4      | 1      | 927.1                          |
| 13       | 3      | 3      | 5      | 2      | 985.7                          |
| 14       | 3      | 4      | 1      | 3      | 1011.8                         |
| 15       | 3      | 5      | 2      | 4      | 1014.1                         |
| 16       | 4      | 1      | 4      | 2      | 775.9                          |
| 17       | 4      | 2      | 5      | 3      | 837.8                          |
| 18       | 4      | 3      | 1      | 4      | 842.2                          |
| 19       | 4      | 4      | 2      | 5      | 927.7                          |
| 20       | 4      | 5      | 3      | 1      | 886.3                          |
| 21       | 5      | 1      | 5      | 4      | 650.8                          |
| 22       | 5      | 2      | 1      | 5      | 686.5                          |
| 23       | 5      | 3      | 2      | 1      | 712.9                          |
| 24       | 5      | 4      | 3      | 2      | 803.8                          |
| 25       | 5      | 5      | 4      | 3      | 772.9                          |
| $K_1$    | 1456.5 | 3143.0 | 3418.2 | 3433.7 |                                |
| $K_2$    | 3389.2 | 3400.9 | 3520.5 | 3510.8 |                                |
| $K_3$    | 4856.9 | 3591.1 | 3629.2 | 3559.7 |                                |
| $K_4$    | 4269.9 | 3803.6 | 3540.0 | 3541.8 |                                |
| $K_5$    | 3626.9 | 3660.8 | 3491.5 | 3553.4 |                                |
| 极差 R     | 680.1  | 132.1  | 42.2   | 25.2   |                                |

(3) 正交试验结果方差分析。

由表 2 可知,14 和 15 号试验对应的耐压时间最长,分别为 1011.8 h 和 1014.1 h,达到国家检验标准 ( $\geq 1000$  h),其相应的组合为  $A_3B_4C_1D_3$  和  $A_3B_5C_2D_4$ 。极差 R 的大小反应了各因素的水平变化对试验指标的影响,R 越大,影响因素越大。由表 2 中的 R 得出各因素的主次顺序为:A(翻边压力)、B(翻边时间)、C(吸热时间)、D(冷却时间),最优水平组合为  $A_3B_4C_3D_3$ 。

(4) 因素水平与耐压时间趋势图分析。

因素水平与耐压时间趋势图如图 4 所示。由图 4 可知,对于翻边压力 ( $A$ ),耐压时间最高点对应的翻边压力为  $A_3$ ,即 0.15 MPa,最高点左侧呈陡峭上升趋势,右侧呈陡峭下降趋势。翻边时间 ( $B$ ) 的趋势与翻边压力相似,但趋势较平缓,耐压时间最高点对应于  $B_4$ ,即 55 s。吸热时间 ( $C$ ) 对应的耐压时间呈现为平缓的先上升后下降的趋势,耐压时间最高点对应于  $C_3$ ,即 110 s。保压时间 ( $D$ ) 对应的耐压时间呈现平缓的上升再到水平的趋势,耐压时间最高点为  $D_3$ ,即 20 min。可见吸热时间和保压时间对耐压时间的影响较小。

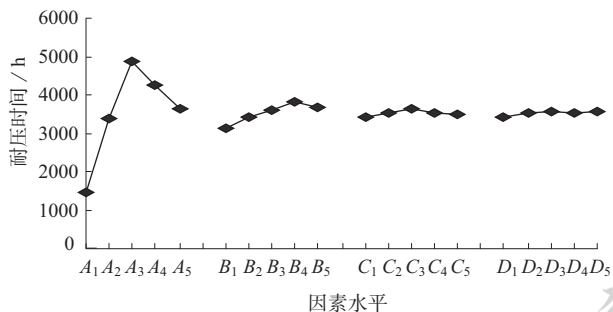


图 4 因素水平与耐压时间趋势图

适当的翻边压力能使焊接面产生合理厚度的熔膜,适当的焊接压力有利于焊接面分子间的相互扩散。当翻边压力过大或过小时,焊接面与热板的相互挤压力不适宜,在相同的时间内,产生的熔胶偏少或偏多,熔膜厚度不合理。当焊接压力偏小时,熔融的两个焊接面由于挤压力不够而得不到充分的接触,分子间相互扩散的数量少,进而影响焊接面分子间的穿插盘绕;当焊接压力过大时,在焊接阶段由于焊接面之间的压力过大,将融合面的熔膜过多溢出焊接面,使相互穿插盘绕的分子减小,焊接不充分。充分的翻边时间可以使热量顺利渗入焊接部位,使焊接面受热均匀。但翻边时间越长,融合面的 PE 料熔化得越多,造成熔膜过厚,冷却保压时由于应变大,产生较大的应力;翻边时间越短,熔膜厚度小于合理值,焊接时,穿插盘绕的分子数量少,影响焊接质量。吸热时间越长,焊接面的 PE 料熔融越均匀,对应的冷却变形越均匀,产生的内应力越小,焊接质量越高,但吸热时间过长,则易造成熔胶过多现象。保压时间对耐压时间的影响较小,正常情况下,保压时间越长,产品质量越高,但会影响生产效率。

### 3.3 单因素试验结果分析

正交试验得出了保证焊接质量的初步方案,为得到最佳焊接工艺参数,提高产品的合格率,保证

稳定性,在正交试验基础上进行单因素试验。由于吸热时间和保压时间对耐压时间的影响较小,结合参考值和正交试验结果,无需将两因素再进行单因素试验,采用正交试验得出的最优组合值,分别取为 110 s 和 20 min 即可。翻边压力和翻边时间为影响 PE 燃气阀门的主要因素,按照合理的取值范围对其进行取值:翻边压力取 0.11, 0.13, 0.15, 0.17, 0.19, 0.21 MPa, 当翻边时间为 55 s、吸热时间为 110 s、保压时间为 20 min 时,试验结果如图 5 所示。

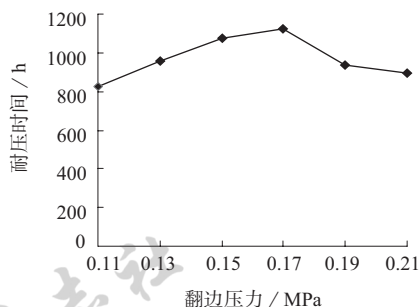


图 5 翻边压力对耐压时间的影响

由图 5 可以看出,随着翻边压力的增加,耐压时间呈先上升后下降趋势,在 0.17 MPa 处具有最大值。表明以 0.17 MPa 作为翻边压力,历时 55 s 的翻边过程所得到的熔膜厚度对于 PE 燃气阀门的热熔焊接最为合适。在此熔胶量和 110 s 的吸热时间条件下,以 0.17 MPa 为热熔焊接压力得到的焊接面,其 PE 分子间穿插盘绕效果最好。

图 6 为翻边时间对耐压时间的影响。

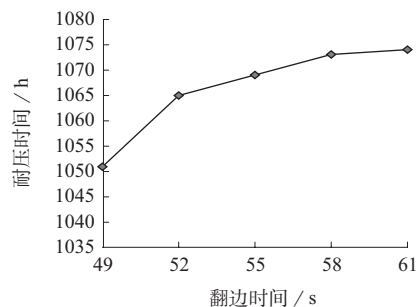


图 6 翻边时间对耐压时间的影响

由图 6 可以看出,随着翻边时间的增加,耐压时间呈单调上升趋势,但坡度由陡变平坦,在 61 s 处取得最大值。试验修正了正交试验翻边时间的最佳值,即在翻边压力为 0.17 MPa 的条件下,翻边时间为 61 s 时的熔胶量最佳。

当翻边压力为 0.17 MPa、翻边时间为 61 s、吸热时间为 110 s、保压时间为 20 min 时,阀门的焊接质量最高,对应 80℃, 4.0 MPa 静液压试验的耐

压时间为 1 074 h,达到了国家标准。PE 燃气阀门经静液压试验后焊接接口处均无裂痕,整体无变形,如图 7 所示。



图 7 经静液压试验后合格的 PE 燃气阀门

#### 4 结语

为得到高质量热熔焊接的 PE 燃气阀门,需精确控制焊接过程中各个阶段的时间和压力。根据正交试验和单因素试验结果,影响 PE 燃气阀门焊接质量的因素大小排序为:翻边压力、翻边时间、吸热时间和保压时间。当翻边压力为 0.17 MPa、翻边时间为 61 s、吸热时间为 110 s、保压时间为 20 min 时,阀门的焊接质量最高,对应 80℃,4.0 MPa 静液压试验的耐压时间为 1 074 h,达到了国家标准。

#### 参考文献

- [1] 朱利平. 塑料阀门在工业管道中的要求与应用 [J]. 化工设备与管道, 2006, 42(2): 57-61.  
Zhu Liping. Application of plastic valve in industrial piping and requirements in application [J]. Process Equipment & Piping, 2006, 42 (2): 57-61.
- [2] 方国金, 罗良. PE 燃气管道、PE 球阀在燃气工程中的应用 [J]. 中国井矿盐, 2011, 42(2): 30-31.  
Fang Guojin, Luo Liang. The application of PE gas pipers and PE ball valve in the gas project [J]. China Well and Rock Salt, 2011, 42(2): 30-31.
- [3] 彭雷. PE 球阀与金属阀门比较 [J]. 上海煤气, 2005(6): 18-20.  
Peng Lei. Comparison of polyethylene ball valve and steel valve [J]. Shanghai Gas, 2011(6): 18-20.
- [4] 梁业兴, 凌中水, 潘莹, 等. PE-MD 厚壁燃气管道阀门缩孔研究 [J]. 工程塑料应用, 2012, 40(7): 27-31.  
Liang Yexing, Ling Zhongshui, Pan Ying, et al. Research of shrinkage cavity of PE-MD thick gas pipe valves [J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(7): 27-31.
- [5] 铁文安, 杨冬莹, 孙芳莉, 等. 聚乙烯管材热熔对接接头性能的研究 [J]. 工程塑料应用, 2007, 35(10): 37-39.  
Tie Wenan, Yang Dongying, Sun Fangli, et al. Performance research of polyethylene pipe heat fusion joint [J]. Engineering Plastics Application, 2007, 35(10): 37-39.
- [6] 郝维来, 谢子殿. PE 管热熔焊接系统的研制 [J]. 电子技术应用, 2007, 33(7): 128-130.  
Hao Weilai, Xie Zidian. The development of PE tube hot melt welding system [J]. Application of Electronic Technique, 2007, 33(7): 128-130.
- [7] 冯艳艳, 何颖, 王众明. 城市燃气管道中 PE 管焊接 [J]. 石家庄职业技术学院学报, 2010, 22(2): 43-45.  
Feng Yanyan, He Ying, Wang Zhongming. Welding method of the PE gas pipe lines [J]. Journal of Shijiazhuang Vocational Technology Institute, 2010, 22(2): 43-45.
- [8] 林宝清, 张伟, 姚芳. 聚乙烯压力管道热板焊接方法 [J]. 塑料科技, 2003(1): 48-52.  
Lin Baoqing, Zhang Wei, Yao Fang. The process of hot plate welding of pe pressure pipe [J]. Plastics Science and Technology, 2003(1): 48-52.
- [9] 赵同智, 柴长富. 聚乙烯 (PE) 管道热熔对焊 [J]. 安装, 2003(1): 18-19.  
Zhao Tongzhi, Chai Changfu. The thermal capacity butt welding for polyethylene (PE) pipe [J]. Installation, 2003(1): 18-19.
- [10] 董先智. PE 阀门自动焊接机的开发设计 [J]. 制造技术与机床, 2011(3): 74-75.  
Dong Xianzhi. Design of PE-valve automatic welding machine [J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2011(3): 74-75.
- [11] 赵红. 聚乙烯管道焊接技术和评价方法 [J]. 中国塑料, 2011, 25(7): 48-53.  
Zhao Hong. Welding technology and evaluation method of polyethylene pipes [J]. China Plastics, 2011, 25(7): 48-53.

#### 塑料造粒机节能环保新方向

塑料造粒机主要用于加工废旧塑料薄膜、编织袋、农方便袋、盆、桶、饮料瓶等,适用于常见的大部分废旧塑料,是废旧塑料再生行业用途最广、使用最广泛、最受用户欢迎的塑料再生加工机械。

据海关统计,2013 年 1~2 月,我国累计出口塑料造粒机 477 台,同比增长 17.2%,金额 1 120 万美元,同比上涨 82.1%。同期累计进口 28 台,同比增长 27.3%,金额 1248 万美元,同比下降 60.8%。

在节能环保的时代背景下,废旧塑料回收利用呼声不断加大,塑料造粒机的需求也在不断增加,业内专家表示,由于

近年来全球石油化工行业发展异常迅猛,对塑料造粒机的需求快速增加,拥有广阔的发展前景。面对严峻的能源和环境问题,未来塑料造粒机越来越趋于大型化,且用户对机组的机械稳定性及节能降耗要求也越来越高。

塑料造粒过程中的环境污染是环境污染的重要来源。在应用最广的各类常规塑料造粒设备中,有四分之三以上是热风塑料造粒机,这类塑料造粒机对环境的污染非常严重。

减少 1 亿 t 标煤的能源消耗,在我国即可减少 6 400 万 t 以上的 CO<sub>2</sub> 和 SO<sub>2</sub> 排放,其环保效益十分明显。对塑料造粒机节能环保的要求已十分迫切,塑料造粒机的改造已成为亟待解决的重要课题。  
(工程塑料网)