

# 钢骨架塑料复合管长期静液压性能的评定

孙红镔<sup>1,2</sup> 马文琦<sup>1,2</sup> 孙 军<sup>3</sup>

(1. 哈尔滨工业大学, 哈尔滨 150001; 2. 大庆石油管理局博士后工作站, 大庆 163453; 3. 大庆供水公司, 大庆 163451)

**摘要** 利用高温下管材短时间的静液压应力破坏试验结果, 用外推法对钢骨架塑料复合管的长期静液压强度进行了测定, 确立了管道输送介质温度  $T$ 、压力  $\sigma$ 、管道破坏时间  $t$  之间的关系式。根据此关系式可预测管道几十年甚至上百年的抵抗静液压应力的能力, 为该种新型管道的安全使用提供了一定的依据。

**关键词** 钢骨架塑料复合管 外推法 长期静液压强度

钢骨架塑料复合管是一种综合性能优良的新型绿色管材。它以钢丝为增强骨架、塑料为基体, 具有双面防腐、耐压的特性, 目前已广泛应用于油田、化工、采矿、给排水等行业。由于钢骨架塑料复合管问世才几年, 因此有必要对它的长期性能进行预测。

由于钢骨架塑料复合管中钢丝骨架的存在, 增加了该管材的强度, 与同规格的纯塑料管相比, 其承载力要大大提高(已有试验证明)。但由于目前还没有建立相应的测评方法, 因此笔者借鉴纯塑料管材的长期静液压强度测定方法——外推法, 利用所得到的长期静液压强度来预测钢骨架塑料复合管(基体为高密度聚乙烯)的使用寿命, 为钢骨架塑料复合管的安全使用提供了有价值的参考依据。

## 1 数学模型的建立

采用四参数模型来表示静液压强度、破坏时间、温度之间的关系:

$$\lg t = c_1 + c_2 \frac{1}{T} + c_3 \lg \sigma + c_4 \frac{\lg \sigma}{T} \quad (1)$$

式中:  $t$ ——破坏时间, h;  
 $T$ ——热力学温度, K;  
 $\sigma$ ——静液压强度, MPa;  
 $c_i$ ——参数,  $i = 1, 2, 3, 4$ 。

若使用下列矩阵:

$$X = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{T} & \lg \sigma_1 & \frac{\lg \sigma_1}{T} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \frac{1}{T_N} & \lg \sigma_N & \frac{\lg \sigma_N}{T_N} \end{pmatrix}$$
$$y = \begin{pmatrix} \lg t_1 \\ \vdots \\ \lg t_N \end{pmatrix} \quad c = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{pmatrix}$$

式中:  $N$ ——观察值总数。

则(1)式可写为:

$$y = Xc \quad (2)$$

参数的最小二乘法点估计值为:

$$c = (X'X)^{-1}X'y \quad (3)$$

式中:  $X'$ —— $X$  的转置矩阵, 下同。

残差方差估计值为:

$$s^2 = (y - Xc)'(y - Xc)/(N - q) \quad (4)$$

式中:  $q$ ——模型中参数的个数,  $q = 4$ 。

在温度  $T$ 、应力  $\sigma$  一定时, 破坏时间  $t$  的对数  $\lg t$  的预测平均值为:

$$\lg t = c_1 + c_2 \frac{1}{T} + c_3 \lg \sigma + c_4 \frac{\lg \sigma}{T} \quad (5)$$

破坏时间  $t$  的对数  $\lg t$  的 97.5% 概率预测下限为:

$$\lg t = c_1 + c_2 \frac{1}{T} + c_3 \lg \sigma + c_4 \frac{\lg \sigma}{T} - t_{\alpha, s} [1 + x'(X'X)^{-1}x]^{1/2} \quad (6)$$

式中:  $t_{\alpha, s}$ ——自由度为 4 的学生氏  $t$  分布与 97.5% 概率水平相应的分位数;

$$x = \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{1}{T} \\ \lg \sigma \\ \frac{\lg \sigma}{T} \end{pmatrix}$$

作预测的反向运算, 从(5)式解出  $\sigma$  得到最大静液压强度 ( $\sigma_{LTHS}$ ), 从(6)式解出  $\sigma$  得最大静液压强度置信下限 ( $\sigma_{LPL}$ ):

$$\lg \sigma_{LTHS} = \frac{\lg t - c_1 - c_2 \frac{1}{T}}{c_3 + c_4 \frac{1}{T}} \quad (7)$$

$$\lg \sigma_{LPL} = \frac{-\beta \pm \sqrt{\beta^2 - 4\alpha\gamma}}{2\alpha} \quad (8)$$

其中:  $\alpha = (\frac{1}{3} + \frac{1}{4} \frac{1}{T})^2 -$

$t_{st}^2 \cdot s^2 (K_{33} + 2K_{43} \frac{1}{T} + K_{44} \frac{1}{T^2})$

$\beta = 2(\frac{1}{1} + \frac{1}{2} \frac{1}{T} - \lg t)(\frac{1}{3} + \frac{1}{4} \frac{1}{T}) -$

$2t_{st}^2 \cdot s^2 [K_{31} + (K_{41} + K_{32}) \frac{1}{T} + K_{42} \frac{1}{T^2}]$

$\gamma = (\frac{1}{1} + \frac{1}{2} \frac{1}{T} - \lg t)^2 -$

$t_{st}^2 \cdot s^2 (K_{11} + 2K_{21} \frac{1}{T} + K_{22} \frac{1}{T^2} + 1)$

式中  $K_{ij}$  是矩阵  $K = (X'X)^{-1}$  中  $i$  行、 $j$  列的元素。当  $\alpha > 0$  时, 根号前取减号, 当  $\alpha < 0$  时, 根号前取加号。

2 实验方法

委托美国 Broutman 独立实验室, 按 ASTM D 1598-92 标准(恒定内压下塑料管破裂时间的测试方法)进行钢骨架塑料复合管长期静液压强度的测试实验。ASTM D 1598-92 标准是在美国被广泛应用的长期静液压强度标准试验方法, 它利用高温、短时间内作出的静液压应力与时间曲线向低温或长时间外推, 即可方便地推算出不同时间和温度条件下的  $\sigma_{LTHS}$  和  $\sigma_{LPL}$ 。

实验条件如下: ①以内径 50 mm 的管材为试验样件; ②4 种测试温度 (23 ± 2) °C、(60 ± 2) °C、(80 ± 2) °C、(93.4 ± 2) °C; ③测试管内介质为水, 管外为空气; ④测试压力的偏离量控制在给定实验压力的 ±2% 范围内; ⑤假定蠕变在测试中是不可预见、不可控制因素。

3 数据分析

3.1 应力预测

将实验数据代入(1)~(4)式, 得到各参数的估计值如表 1 所示。

| 表 1 参数估计值 |       |       |       |        |        |          |
|-----------|-------|-------|-------|--------|--------|----------|
| 参数        | $c_1$ | $c_2$ | $c_3$ | $c_4$  | $s$    | $t_{st}$ |
| 估计值       | -201  | 76544 | 162   | -61692 | 0.3846 | 0.2201   |

将得到的各参数值代入(5)、(6)式, 便得到应力、破坏时间、温度之间的函数关系式。表 2 给出一定温度及破坏时间下, 钢骨架塑料复合管所能承受的最大静液压强度  $\sigma_{LTHS}$  和最大静液压强度置信下限  $\sigma_{LPL}$ 。

图 1、图 2 分别是根据表 2 作出的  $\sigma_{LTHS}$  和  $\sigma_{LPL}$  的回归曲线。

表 2 一定温度和破坏时间下的  $\sigma_{LTHS}$  和  $\sigma_{LPL}$  MPa

| 项目              | 温度 / °C | 时间 / a  |         |         |         |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                 |         | 0.5     | 1       | 10      | 50      |
| $\sigma_{LTHS}$ | 20      | 14.5603 | 14.3436 | 13.6466 | 13.1796 |
|                 | 40      | 13.7418 | 13.4717 | 12.6120 | 12.0439 |
|                 | 60      | 12.1742 | 11.8142 | 10.6930 | 9.9731  |
|                 | 80      | 9.0413  | 14.3436 | 7.1287  | 6.2742  |
| $\sigma_{LPL}$  | 20      | 13.7540 | 13.4788 | 12.5460 | 11.9003 |
|                 | 40      | 12.7547 | 12.4287 | 11.3259 | 10.5676 |
|                 | 60      | 10.9193 | 10.5144 | 9.1074  | 8.1466  |
|                 | 80      | 5.8612  | 4.9149  | 2.5933  | 1.6279  |

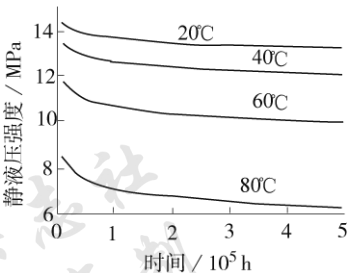


图 1  $\sigma_{LTHS}$  的回归曲线

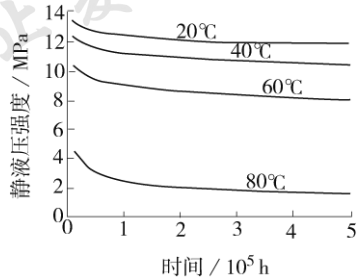


图 2  $\sigma_{LPL}$  的回归曲线

由表 2 和图 1、图 2 可知: ①对于内径 50 mm 的钢骨架塑料复合管, 在使用温度 20 °C、静液压应力为 11.9 MPa 时, 使用年限可达 50 a 以上。与同规格的纯塑料管相比, 其在相同使用年限下的静液压强度明显提高, 这说明该复合管有较高的耐压强度。②钢骨架塑料复合管的使用温度为 60 ~ 70 °C, 当温度进一步提高将造成承载能力的明显下降。图 3 是使用年限为 50 a 时, 钢骨架塑料复合管温度与承载强度拟合曲线。从图 3 可看出, 在使用温度范围内, 温度每升高 10 °C, 强度降低 8%。当温度超过使用范围后, 温度每升高 10 °C, 强度降低将达 30%。③图 1、图 2 曲线的曲率变化均匀, 不存在拐点。这说明该种钢骨架塑料复合管没有脆性破坏, 实际工程应用中也证明了这一结论, 与纯塑料管相比这是很明显的优势。

3.2 外推时间极限

根据时温等效原理, 可运用 Arrhenius 公式  $t(T) = Ae^{-E/RT}$ , 利用高温、短时间内作出的静液压

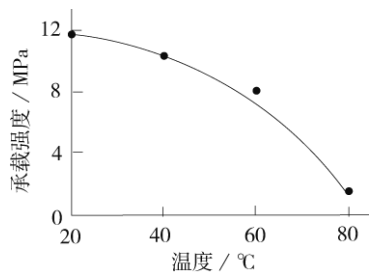


图 3 温度与承载强度关系曲线

应力与时间的数据预测低温或长时间的使用情况。GB/T 18252-2000 提供了不同温差  $\Delta T$  时的外推时间因子  $k_e$  值。根据内径 50 mm 的钢骨架塑料复合管的实验数据, 结合温度 60℃、静液压应力  $\sigma = 10.3$  MPa 的使用寿命(最长实验时间  $t_{max} = 23\,034$  h), 得到 20℃和 40℃下管材的使用寿命  $t_e$ , 结果如表 3 所示。

表 3 20℃和 40℃下管材使用寿命预测

| $T/^\circ\text{C}$ | $\Delta T/^\circ\text{C}$ | $k_e$ | $t_e/a$ |
|--------------------|---------------------------|-------|---------|
| 20                 | 40                        | 50    | 131.5   |
| 40                 | 20                        | 6     | 15.7    |

4 结论

利用外推法对钢骨架塑料复合管(基体为高密度聚乙烯)的耐静液压能力和长期使用寿命进行了分析和预测, 为钢骨架塑料复合管的安全使用提供了有价值的参考依据。预测结果表明, 该种管道在温度 20℃、静液压应力 11.9 MPa 状态下, 其使用寿命可达 50 a 以上。

参考文献

1 中国科技大学高分子物理教研室. 高聚物的结构与功能. 北京: 科学出版社, 1983.  
2 何曼君, 陈维孝, 董西侠. 高分子物理. 上海: 复旦大学出版社, 1991.

EVALUATION OF THE LONG-TERM HYDROSTATIC STRENGTH OF STEEL REINFORCED PLASTICS PIPE

Sun Hongyi<sup>1,2</sup>, Ma Wenqi<sup>1,2</sup>, Sun Jun<sup>3</sup>

(1. Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2. Postdoctoral Workstation of Daqing Oil Administrative Bureau, Daqing 163453, China; 3. Daqing Gongshui Company, Daqing 163451, China)

**ABSTRACT** The steel reinforced plastics pipe is a new-style pipe with higher integrative properties. Its technical process is introduced, and the long-term hydrostatic strength of pipe is determined by extrapolation using the failure data. The relation is provided among temperature  $T$ , hydrostatic strength  $\sigma$  and failure time  $t$ . These results provide some reference for the safe application of the steel reinforced plastics pipes.

**KEYWORDS** steel reinforced plastics pipe, extrapolation, long-term hydrostatic strength

智能化成为塑机发展方向

随着塑料制品加工业的进一步成熟, 它对塑料机械产业也提出了越来越高的要求。专家预测, 智能化将成为塑机开发的新方向。

近年来, 国内专业化生产发展迅速, 如上料装置、螺杆、机筒、减速器和快速换网装置等零部件都能自行生产。并且, 产品品种向多样化发展, 如各种注塑机、挤出机和吹塑机等。特别是注塑机, 大型、超大型的产品相继问世。

但是, 生产齿轮箱、线轴、导尿管等微小而复杂的塑料制品的注塑机却是中国市场的一大缺口。近年来, 在欧美地区出现的水辅注塑、柔环等先进技术和全自动注塑机等都是中国所急需而又严重缺乏的。因而, 有关专家指出, 高精密的塑机是研发目标; 融入更多的电子技术、网络技术, 能实现自动调控的机械将会成为未来市场的主角。(晓邱)

塑料土工网设备研制成功

一种新型建筑增强材料专用加工设备——STW-30 型塑料土工网成套生产线目前在山东省莱州市沙河洪达机械厂研制成功。

该设备可用来生产塑料网格制品, 制品可直接用于工程建设的铺设增强衬体。生产线采用变频电脑控制, 自动化程度高, 集自动上料、加热挤出、网格成型、牵引卷取功能于一体, 最大幅宽为 3 m, 网格尺寸可随意变化。

用该设备生产的网格制品强度高、网格均匀、连结实牢固、生产成本低、使用寿命长、适用性广, 可广泛用于高速公路、铁路、机场、水利建设等工程项目, 以及大型养殖场制作围栏。该设备整机产量高、耗能低, 完全实现国产化生产, 可替代进口设备, 通过更换模具可生产养殖网, 无公害蔬菜网。

(于明忠)

北京建成新型塑料增韧母料生产线

北京中超海奇科技有限公司建成纳米  $\text{CaCO}_3$  塑料增韧母料工业化生产线, 产品在国内多家 PVC 异型材厂应用, 并已出口到新加坡等地。

传统的弹性体增韧改性方法在提高材料韧性的同时会使材料的刚性降低。而采用该生产线生产的纳米  $\text{CaCO}_3$  塑料增韧母料, 在提高塑料韧性的同时可保持其刚性。纳米  $\text{CaCO}_3$  塑料增韧料也可应用于 ABS 板材, 可提高冲击强度、弯曲弹性模量和硬度。(李木)