

钢骨架增强塑料复合管长期性能分析

刘红卫

罗琳

(山东警察学院, 济南 250014) (中国石油大学, 东营 257061)

摘要 结合聚乙烯管材长期性能评定方法——SEM 标准回归法, 通过对钢骨架增强塑料复合管材进行长期静液压强度试验, 并建立合理的数学模型, 预测了钢骨架增强塑料复合管所能承受的静液压能力和长期使用寿命。

关键词 钢骨架增强塑料复合管 SEM 标准回归法 长期静液压强度

钢骨架增强塑料复合管是由内外两层塑料(如高密度聚乙烯 HDPE)与中间的钢层经过特殊工艺复合而成, 它具有高强度、长寿命、耐腐蚀、抗静电、清洁无毒、耐候性强(使用温度为 $-50 \sim 90^{\circ}\text{C}$)、阻燃性及气密性好、美观、安装方便等特点, 可广泛应用于天然气、石油、城市供水、海底液体介质、矿井水气、部分化学介质的输送等领域。但此类管材问世较短, 目前尚无完全的工程实际来证明其工程寿命。笔者结合聚乙烯(PE)管材长期性能评定方法来对钢骨架增强塑料复合管的长期性能进行评定。

1 PE 管材长期性能评定

1.1 PE 管材长期强度评价方法

PE 是一种粘弹性材料, 具有蠕变性能, 即使是在室温及相对较低的应力条件下, 经过一段时间后也会发生变形。PE 管材长期强度随时间、温度和应力变化而改变。因此, PE 管材的设计与使用存在如下两个问题: ①在限定的时间内, 给定温度下管材所能承受的最大应力(或压力); ②在限定的温度下, 管材承受某一确定应力(或压力)时的使用寿命。

为了解决上述问题, 经过几十年的发展和完善, 目前国外已形成并确定了评价塑料管材长期静液压强度的标准方法——SEM 标准回归法, 即 ISO9080。该方法是预测热塑性塑料管材长期强度的标准统计方法, 是在获得系列管材静液压试验破坏数据的基础上, 根据三参数或四参数模型进行数据回归。具体方法如下: 选择两个或两个以上温度(相邻温度至少相差 10°C)进行试验, 每一试验温度至少得到 30 个试验破坏数据, 并应规则地分布在至少 5 个内压水平上。至少有 4 个观察值在 7000 h 以上, 至少有一个观察值在 9000 h 以上。

当获得合格的试验数据后, 便可以采用三参数或四参数模型对试验数据进行线性回归。即采用标准的多元线性回归分析方法, 得到计算管材长期强度的多元线性回归方程, 再由多元线性回归方程计

算出长期静液压强度(σ_{LTHS})及其置信下限(σ_{LPL})。同时可将试验数据绘在 $\lg \sigma - \lg t$ 图上, 作出 σ_{LTHS} 和 σ_{LPL} 的线性回归曲线。

塑料管材长期强度的要求, 是将评价的起点和着重点放在原料上。虽然试验采用的是小口径的管材, 但通过 SEM 法获得的长期强度指标实际上是作为管材原材料的性能指标。这样管材材料的长期强度就可以非常好地以科学方法获得或进行评估。而管材生产厂家一般不添加其它材料, 使得原材料的长期力学性能转移到管材制品; 同时, 也使得对管材材料长期性能评价具有了实实在在的意义。

1.2 PE 管材静压设计基准

美国试验与材料学会标准 ASTM D1598 - 1997 给出了热塑性管材静压设计基准的标准试验方法。其基本原理是: 按照 ASTM D1598 - 1997 标准试验方法, 获得破坏点的基本试验数据, 在此基础上作出应力 - 破坏时间回归曲线, 并以时间为基准, 推断与该时间对应的应力值(实际上是时间与应力的对数曲线)。这种方法适用于已知的热塑性管材及实际应用的温度与介质。

利用 SEM 法对塑料管材长期强度进行预测过程中, 只考虑了应力和时间的关系, 并未考虑到应变与时间的关系。管材应变问题在 ASTM D2837 - 1997 中得到了考虑。该标准认为未经使用的新材料必须满足如下要求: 管材在 23°C 、额定静液压下 10000 h 后, 周向膨胀不超过 5% (约相当于 20°C 下 50 年后 5% 的膨胀率)。

2 钢骨架增强塑料复合管长期性能评定

2.1 长期强度试验与评定方法的确定

钢骨架增强塑料复合管是一种新型的综合性能优良的绿色管道。它具有双面防腐、耐压的特性。为更合理地确定管材的许用载荷, 并为管材长期使

用的安全性提供理论依据,必须按照有关标准对管材的长期性能进行分析与研究。

根据上述分析,按照 ASTM D1598 - 1997 和 ASTM D2837 - 1997 标准,由美国芝加哥 Bodycote Broutman 实验室于 1998 年 9 月开始,对公称直径为 50 mm 的钢骨架增强塑料(HDPE) 复合管进行长期静液压强度试验。在试验的基础上,按照 ISO9080 标准对钢骨架增强塑料复合管的长期静液压强度进行评价。利用高温下管材短时间的静液压应力破坏试验结果,用标准外推法对管材的长期静液压强度进行测定,确立了管材输送介质温度、压力、管材破坏时间之间的关系式。根据此关系式可预测管材 50 年甚至更长时间的抵抗静液压应力的能力。

2.2 长期强度评定

(1) 数学模型的建立

SEM 标准回归法是预测管材长期强度的标准统计方法,在获得钢骨架增强塑料复合管长期静液压试验破坏数据基础上,采用(1) 式的四参数模型进行计算:

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

式中: t —破坏时间, h;

c_1 、 c_2 、 c_3 、 c_4 —参数;

T —介质温度, K;

σ —静液压强度, MPa。

使用下列矩阵记号:

$$X = \begin{matrix} 1 & \frac{1}{T} & \lg \sigma & \frac{\lg \sigma}{T} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & \frac{1}{T_N} & \lg \sigma_N & \frac{\lg \sigma_N}{T_N} \end{matrix} ; y = \begin{matrix} \lg t_1 \\ \lg t_N \end{matrix} ; c = \begin{matrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{matrix}$$

式中: N ——观察值总数。

则(1) 式可写为:

$$y = Xc \tag{2}$$

参数的最小二乘法点估计值为:

$$\hat{c} = (X^T X)^{-1} X^T y \tag{3}$$

残差方差估计值(s^2) 为:

$$s^2 = (y - X\hat{c})^T (y - X\hat{c}) / (N - q) \tag{4}$$

式中: q ——模型中参数的个数, 4。

$\lg t$ 的 97.5% 预测概率预测下限为:

$$\lg t = \hat{c}_1 + \hat{c}_2 \frac{1}{T} + \hat{c}_3 \lg \sigma + \hat{c}_4 \frac{\lg \sigma}{T} - t_{\alpha} s \sqrt{1 + x^T (X^T X)^{-1} x} \tag{5}$$

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

记号 x 表示向量, 即 $x = 1 \quad \frac{1}{T} \quad \lg \sigma \quad \frac{\lg \sigma}{T}$ 。

作预测的反向运算, 从(5) 式计算出 σ 得到

σ_{LPL} :

$$\lg \sigma_{LPL} = \frac{-\beta \pm \sqrt{\beta^2 - 4 \alpha \gamma}}{2 \alpha} \tag{6}$$

式中: α 、 β 、 γ ——中间参数, 当 $\alpha > 0$ 时, 根号前取减号, 反之取加号。

(2) 试验数据

表 1 ~ 表 3 为不同环境(管内均为水, 管外均为空气) 下的测试结果。

表 1 (23 ±2) °C 下的测试结果

压力 /MPa	时间 /h	备注
15.86	<19	良好
15.51	119	良好
15.17	5	良好
15.17	1891	良好
14.82	595	良好
14.82	1900	良好
14.48	1970	良好
14.48	1980	密封泄露
14.48	2547	良好
14.48	2849	良好
14.13	3187	良好
14.13	6288	在试
11.17	30158	在试

表 2 (60 ±2) °C 下的测试结果

压力 /MPa	时间 /h	备注
12.76	895	良好
11.72	4679	密封泄漏
11.17	2867	密封泄漏
11.17	9161	密封泄漏
12.24	6654	良好
12.07	9888	在试
10.14	23034	在试

表 3 (80 ±2) °C 下的测试结果

压力 /MPa	时间 /h	备注
12.07	0.017 ~0.019	爆破
11.03	0.017 ~0.019	爆破
10.14	0.1	良好
10.14	1.1	良好
9.89	521	良好
9.89	529	良好
9.65	1712	良好
10.14	11103	在试
9.89	11103	在试
9.65	11103	在试
8.96	11103	在试

(3) 数据分析

将实验数据代入 (1) ~ (4) 式, 得到各参数的估计值如表 4 所示。

表 4 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 (6) 式, 便得到应力、破坏时间、温度之间的函数关系式。表 5 给出一定温度及破坏时间下, 钢骨架增强塑料复合管所能承受的最大静液压强度。

表 5 最大静液压强度					MPa
温度 / °C	时间 / a				
	0.5	1	10	50	
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	

从表 5 可看出, 利用测试结果, 通过外推法预测它在使用温度为 20℃、静液压应力为 11.9 MPa 时, 使用年限可达 50 年以上。图 1 示出不同温度下静液压强度与管材破坏时间的关系。

根据时温等效原理, 运用 Arrhenius 公式 $t(T) = Ae^{E/RT}$, 利用高温、短时间内作出的静液压应力与时间的数据预测低温或长时间的使用情况。标准提供了外推时间因子 (k_e)。根据实验数据, 结合温度 60℃、静液压应力 10.3 MPa 的使用寿命, 得到低温下管材的使用寿命, 如表 6 所示。

ANALYSIS ON LONG-TERM CAPABILITY OF STEEL SKELETAL COMPOUND PLASTIC PIPE

Liu Hongwei
(Shandong Police College, Jinan 250014, China) (China University of Petroleum, Dongying 257061, China)

Luo Lin

ABSTRACT Combined with SEM regression method which is used for assessing long-term performance of polyethylene tubing, the hydrostatic pressure capability and long-range service life of the steel skeletal compound plastic pipe are predicted through long-term hydrostatic pressure test and constructing a reasonable mathematical model.

KEYWORDS steel skeletal compound plastic pipe, SEM regression method, long-term hydrostatic pressure

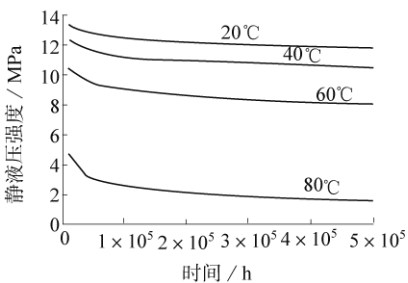


图 1 σ_{LPL} 的回归曲线

表 6 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

3 结论

在长期静液压强度试验基础上, 利用 SEM 标准回归法对钢骨架增强塑料复合管所能承受的静液压能力和长期使用寿命进行了分析。由分析结果可以预测该种管材在温度 20℃、静液压强度 11.9 MPa 状态下, 其使用寿命可达 50 年以上, 为该尺寸规格的钢骨架塑料复合管的安全使用提供了重要的参考依据。同时, 对于通过静液压爆破试验、短期静液压强度试验所选定的许用载荷和安全系数的进一步的修正与确定提供了科学的评估方法。

参考文献

[1] 黄锐. 塑料工程手册 (下册). 北京: 机械工业出版社, 2000.

[2] 周振丰, 张文铖. 焊接冶金与金属焊接性. 北京: 机械工业出版社, 1987.

欢迎订阅 2006 年《工程塑料应用》增刊(总第 205 期)

由中国机械工程学会、中国机械工程学会特种加工分会、全国快速成形技术学术委员会等单位主办, 华南理工大学等单位承办的“第四届全国快速成形与快速制造学术会议”于 2006 年 11 月在华南理工大学召开。应华南理工大学等承办单位的委托, 《工程塑料应用》杂志社以 2006 年增刊形式编辑、出版了本次会议的论文专辑。该期刊物编入连续期刊号(总第 205 期), 已于 11 月 20 日出版。该增刊共收录 39 篇优选会议论文, 内容涉及快速成

形新工艺、新设备, 快速成形软件与数据处理技术等, 定价为 20 元/册。欢迎读者通过邮局或银行汇款订阅。

邮局汇款:
收款单位: 山东省济南市 108 信箱杂志社 邮编: 250031

银行汇款:
户 名: 中国兵器工业集团第五三研究所
开户银行: 济南市工商银行经十一路支行
帐 号: 1602001229014425546