



中华人民共和国国家标准

GB/T 32491—2016

玻璃纤维增强热固性树脂管及 管件长期静水压试验方法

Test method for long-term hydrostatic pressure of glass fiber
reinforced thermosetting resin pipe and fittings

2016-02-24 发布

2017-01-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国建筑材料联合会提出。

本标准由全国纤维增强塑料标准化技术委员会(SAC/TC 39)归口。

本标准负责起草单位:北京玻璃钢研究设计院有限公司、武汉理工大学、同济大学、浙江东方豪博管业有限公司、河北可耐特玻璃钢有限公司。

本标准主要起草人:张立晨、杨节标、陈建中、周仕刚、苏跃辉、郜东河、李桐。



玻璃纤维增强热固性树脂管及 管件长期静水压试验方法

1 范围

本标准规定了玻璃纤维增强热固性树脂管及管件长期静水压试验的术语和定义、试验原理、试样、试验条件和试验设备、试验步骤、静水压设计基准或压力设计基准的确定和再认定、试验报告等。

本标准适用于薄壁玻璃纤维增强热固性树脂管及管件。

注：薄壁管是指外径与壁厚之比大于或等于 10 : 1, 该条件限制了管的内压, 根据环向应力方程式, 管道的设计内压大致上是静水压设计基准的 20%, 且与直径无关。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件, 仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件, 其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 5351 纤维增强热固性塑料管短时水压失效压力试验方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

自由端密封 free-end closure

一种固定在试样端头, 使试样在内压作用下除产生环向应力外, 还能产生轴向应力的密封装置或结构。

3.2

约束端密封 restrained-end closure

一种固定在试样端部的密封装置或结构, 它依靠一根穿过试样内部的棒或外部结构, 承受由内压引起的轴向推力, 从而把应力限制在试样的环向。

3.3

失效 failure

试验液体以任何形式通过试验管体流出, 如管壁断裂、局部泄漏、离密封端部大于一倍以上管直径的距离外有液体渗出。

注：对本标准, 尚未失效的试样, 根据 6.6 和 9.2 具体条件, 亦可作为失效。

3.4

环向应力 hoop stress

管状制品管壁内由内压而引起的圆周方向的拉伸应力。采用直空心圆筒试样测定环向应力, 按式(1)计算:

$$S = p(D - t_r) / (2t_r) \dots\dots\dots (1)$$

式中:

S —— 环向应力, 单位为兆帕(MPa);

- p —— 内压,单位为兆帕(MPa);
 D —— 增强层的平均外径,单位为毫米(mm);
 t_r —— 最小增强层厚度,单位为毫米(mm)。

注:复杂形状制品的环向应力根据压力进行评定。

3.5

静水压设计基准 hydrostatic design basis; HDB

对一组规格相同的玻璃纤维增强热固性树脂管或管件试样分别施加不同的静水内压,测出每个试样的失效时间,再由回归曲线外推至 50 年(4.38×10^5 h)后管壁的环向应力值。

3.6

静水压设计压力 hydrostatic design pressure; HDP

压力设计基准(PDB)乘以应用设计系数得出的静水压力值,在该压力下玻璃纤维增强热固性树脂管或管件能可靠地运行而不发生失效。

3.7

静水压设计应力 hydrostatic design stress; HDS

静水压设计基准(HDB)乘以应用设计系数得出的环向应力值,该应力由持续施加的内静水压力引起,在该应力下玻璃纤维增强热固性树脂管或管件能可靠地运行而不发生失效。

3.8

长期静水压强 long-term hydrostatic strength; LTHS

玻璃纤维增强热固性树脂管或管件在静水内压作用下,经过指定时间后管壁的环向拉伸强度值。

注:确定长期静水压强(LTHS)或长期静水压力(LTHP)的时间由产品标准确定,指定时间一般为 100 000 h 或 438 000 h。

3.9

长期静水压力 long-term hydrostatic pressure; LTHP

玻璃纤维增强热固性树脂管或管件在静水内压作用下,经过指定时间后管壁所能承受的最大内压值。

3.10

压力设计基准 pressure design basis; PDB

对一组规格相同的玻璃纤维增强热固性树脂管或管件试样分别施加不同的静水内压,测出每个试样的失效时间,再由回归曲线外推至 50 年(4.38×10^5 h)后管壁所能承受的静水压力值。

3.11

应用设计系数 service design factor

一个考虑到玻璃钢管安装有关的各个参数和安全程度的系数,其值小于或等于 1.00。HDB 乘以该系数可得到静水压设计应力 HDS,或者 PDB 乘以该系数可得到静水压设计压力 HDP。

3.12

平均外径 average outside diameter

根据 GB/T 5351 测得的外径值,减去管壁外表面非增强层厚度得到的结果。

3.13

最小增强层壁厚 minimum reinforced wall thickness

根据 GB/T 5351 测得的管壁厚度值,减去内衬层厚度和外表面非增强层厚度得到的结果。

4 试验原理

对若干规格相同的玻璃纤维增强热固性树脂管或管件试样(至少 18 个)分别施加不同的恒定静水

内压,测出每个试样的失效时间,通过线性回归分析方法,得到环向应力或压力的对数与失效时间对数的线性回归曲线,从而计算管或管件的长期静水压强度 LTHS、长期静水压压力 LTHP、静水压设计基准 HDB、压力设计基准 PDB 等。

5 试样、试验介质、试验条件和试验设备

5.1 试样

试样为玻璃纤维增强热固性树脂管或管件,或玻璃纤维增强热固性树脂管和管件的组合件,玻璃纤维增强热固性树脂管的尺寸应符合 GB/T 5351 的规定。

5.2 试验介质

试验介质为水。如经有关各方协商一致,也可采用其他液体介质。

5.3 试验环境

试验介质的温度在所选试验温度的 $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内。

5.4 试验设备

具有对试样均匀、连续施加静水内压,能保证试样内的压力值保持在预先确定的静水内压值的 $\pm 1\%$ 以内。

6 试验步骤

6.1 对试样编号,按 GB/T 5351 测量每个试样的平均外径和最小增强层壁厚。

6.2 将密封装置装卡在试样两端,装卡时应注意不损伤试样,试样端部密封方式宜采用约束端密封方式。

6.3 将装好试样的密封装置与试验设备相连,使试样充满水(或其他液体介质),排除空气。

6.4 连续、均匀加压至所选定的应力值或压力值。试验应力值或压力值的选择应确保获得表 1 规定的失效点分布。

表 1 失效点分布要求

失效时间 h	失效点数
10~1 000	至少 4 个
1 000~6 000	至少 3 个
6 000~10 000	至少 3 个
10 000 以上	至少 1 个
—	总计:至少 18 个

6.5 记录每个试样的失效时间,失效时间测至 $\pm 2\%$ 以内或 40 h,取其中较小者。

6.6 按 A.1 规定的方法,根据应力或压力(以 MPa 为单位)的对数和失效时间(以 h 为单位)的对数,分析试验结果。同时考虑以下情况:

- a) 如渗漏发生在距密封端一个直径之内,进行如下处理:
 - 如果处于 95%置信下限以上,当作失效点处理;

- 经重装并恢复试验后,使渗漏发生在距试验接头大于一个直径的区域内,记作失效点;
——报废,不记为失效点。
- b) 超过 10 000 h 仍未失效的试样,在确定回归线时,可作失效点对待。使用这类数据点可能导致较低或较高的 LTHS 或 LTHP。无论哪种情况,都应满足 6.6a) 关于较低置信度的要求。
- c) 在同一应力水平(± 1.38 MPa 内)或同一压力水平(± 0.138 MPa 内),若干点的平均失效时间小于 0.3 h 时,这些失效点不予采用。

7 试验条件静水压设计基准(HDB)

- 7.1 按附录 A 计算 LTHS,指定时间为 100 000 h 或 438 000 h。
- 7.2 按式(A.4)计算相关平方和 S_{xy} ,如 S_{xy} 大于 0,则数据是不可用的。
- 7.3 按式(A.7)计算相关系数 r ,如果 r 小于表 A.1 给出的最小值,则数据是不可用的。
- 7.4 如果需要,可按照表 2 确定静水压设计基准(HDB)等级。

表 2 静水压设计基准等级 单位为兆帕

静水压设计基准等级	LTHS 计算值范围	静水压设计基准等级	LTHS 计算值范围
17.2	16.5~20.7	86.2	83.0~105.9
21.7	20.8~26.3	110.0	106.0~130.9
27.6	26.4~33.0	138.0	131.0~169.9
34.5	33.1~40.9	172.0	170.0~209.9
43.4	41.0~52.9	217.0	210.0~259.9
55.2	53.0~65.9	276.0	260.0~320.0
68.9	66.0~82.9	—	—

8 压力设计基准(PDB)

- 8.1 将上述 7.1、7.2 和 7.3 中的应力替换为压力进行计算。
- 8.2 如需要,可按照表 3 确定压力设计基准(PDB)等级。

表 3 压力设计基准等级 单位为兆帕

压力设计基准等级	LTHP 计算值范围	压力设计基准等级	LTHP 计算值范围
0.63	0.605~0.760	3.15	3.03~3.83
0.80	0.765~0.990	4.00	3.84~4.79
1.00	0.995~1.18	5.00	4.80~6.04
1.25	1.19~1.51	6.30	6.05~7.68
1.60	1.52~1.98	8.00	7.69~9.58
2.00	1.99~2.38	10.0	9.59~11.8
2.50	2.39~3.02	12.5	11.9~15.3

9 HDB 或 PDB 的再认定

9.1 如一种管道产品已有 HDB 或 PDB,在材料、制造工艺、结构或内衬厚度有任何变更时,应按照9.2、9.3、9.4、9.5 和 9.6 的规定进行评估。

9.2 至少用两组试样确定失效点。在同一应力水平(± 1.38 MPa 以内)或同一压力水平(± 0.138 MPa 以内)下,每组试样数量不少于 3 个。获得的失效点按表 4 规定,包括 3 000 h 后仍未失效但超过已有 HDB 或 PDB 回归线的试样。

表 4 获得的失效点

每组平均失效时间 h	失效点
10~200	至少 3 个
大于 1 000	至少 3 个
总计	至少 6 个

9.3 仅用再认定获得的数据,按 A.4 规定计算回归线的 95%置信限和 95%预测限。

注:预测限针对的是单次测量的范围,而置信限针对的是回归线的范围;95%置信限,就意味着回归线的平均值有 2.5%的可能性落在置信上限(UCL)的上方,同时可能有 2.5%的可能性落在置信下限(LCL)的下方。95%的预测限,这也意味着单点数据值有 2.5%的可能性落在预测上限(UPL)的上方,同时也可能有 2.5%的可能性落在预测下限(LPL)的下方。

9.4 如果 9.2 的试验结果满足以下要求,原材料和制造工艺局部更改是可以接受的:

- a) 每个应力或压力水平下的平均失效点如落到或高于已有回归线 95%置信下限以上。
- b) 每个应力或压力水平下,最早的失效点落到或高于已有回归线 95%预测下限以上。
- c) 失效点分布在已有回归线附近,落在已有回归线以下的失效点数量不超过三分之二。

9.5 如果 9.2 的试验结果满足以下要求,可考虑用本条取代 9.4,原材料和制造工艺局部更改是可以接受的:

- a) 所有数据点落到已有回归线 95%置信下限以上。
- b) 至少两点的失效时间超过 3 000 h。

9.6 满足 9.4 或 9.5 的数据,可以与已有数据一起组成新的数据组,用新的数据组确定新的回归线和 HDB 或 PDB。

9.7 如果数据不能满足 9.4 或 9.5 的规定,认为材料和制造工艺发生重大变化,应重新进行试验,在试验期间,可取下述较低者作为临时的 HDB 或 PDB。

- a) 按附录 A 的规定,用 9.2 获得的数据外推至 438 000 h(50 年)的 95%置信下限值。
- b) 已有回归线在 50 年时的 95%置信下限。

10 静水压设计应力(HDS)或静水压设计压力(HDP)

将 HDB 或 PDB 乘以应用设计系数得到静水压设计应力(HDS)或静水压设计压力(HDP)。应用设计系数的选取应考虑以下条件:

- a) 考虑制造和试验参数,特别是尺寸、材料、铺层、制造工艺以及评定程序的正常变化;
- b) 考虑应用或使用,特别是安装、环境、温度、可能的危害、使用寿命以及所选择的可靠度。

注:应用设计系数由设计工程师在充分评估使用条件和考虑具体工程特性后选取。

11 试验报告

试验报告应包含以下内容：

- a) 注明依据本标准；
- b) 试样的全部信息,包含材料类型、来源、制造商名称；
- c) 试样尺寸,包括名义尺寸、平均和最小增强层壁厚、平均外径,如果产品有内衬,也包括内衬材料和内衬厚度；
- d) 端部密封形式；
- e) 试验温度；
- f) 所有试样的试验结果,内容包括应力或压力(以 MPa 为单位)、失效时间(以 h 为单位)、失效形式以及失效的部位；
- g) 那些在某应力或压力下多于 10 000 h 未破坏而被作为失效对待的试样应特殊注明；
- h) 确定的 LTHS 或 LTHP；
- i) r 的值；
- j) HDB 或 PDB；
- k) 试验中观察到的各种异常情况；
- l) 实验室名称和试验人员。

附 录 A (规范性附录)

长期静水压强或长期静水压压力的计算

A.1 概述

A.1.1 下面的分析都基于式(A.1)的关系式：

$$y = a + bx \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

y ——一个变量；

a ——在 y 轴上的截距；

b ——直线的斜率；

x ——其他的变量。

A.1.2 基于大量试验数据,线性回归分析方法(有时称为“协方差分析方法”)能求出斜率和相关系数。基于本附录所列公式的有关统计计算软件,可对附录 B 中的数据和结果进行确认。

A.1.3 本附录假定试样有 50 年的使用寿命。

A.2 数据分析步骤

用线性函数关系式来分析 n 组数据值(对应 y 和 x)求得如下信息：

- a) 直线斜率 b ；
- b) 在 y 轴上的截距 a ；
- c) 相关系数 r ；
- d) 预测平均值、平均值的 95%置信下限和预测区间。

A.3 变量的分配

x 取 $\lg t$, t 指时间,以小时(h)为单位。让 y 取 $\lg V$, V 指应力(或压力)值。

A.4 函数关系式和计算方法

A.4.1 基础统计符号

n ——观察数据值(V_i, t_i)的组数；

y_i —— $\lg V_i$, V_i 是观测点 i ($i=1, \dots, n$) 破坏时的应力(或压力)；

x_i —— $\lg t_i$, t_i 是观测点 i ($i=1, \dots, n$) 破坏时的时间,单位为小时(h)；

$\bar{y}$ —— y_i 的算术平均值,按式(A.2)计算：

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

$\bar{x}$ —— x_i 的算术平均值,按式(A.3)计算：

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

A.4.2 相关平方和

相关平方和按式(A.4)~式(A.6)计算:

$$S_{xy} = \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

$$S_{xx} = \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2 \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

$$S_{yy} = \frac{1}{n} \sum (y_i - \bar{y})^2 \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

注: 如果 $S_{xy} > 0$, 则判定该材料不适合采用此方法。

A.4.3 数据相关性

A.4.3.1 按式(A.7)计算相关系数 r :

$$r = \sqrt{\frac{(S_{xy})^2}{S_{xx} \times S_{yy}}} \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

A.4.3.2 如果 r 小于表 A.1 列出的与 n 有关的最小值, 则舍弃这些数值; 如果大于或等于表 A.1 中的最小值, 则继续 A.4.4。

表 A.1 r 的最小值

$(n-2)$	r 的最小值	$(n-2)$	r 的最小值
11	0.683 5	24	0.495 2
12	0.661 4	25	0.486 9
13	0.641 1	30	0.448 7
14	0.622 6	35	0.418 2
15	0.605 5	40	0.393 2
16	0.589 7	45	0.372 1
17	0.575 1	50	0.354 1
18	0.561 4	60	0.324 8
19	0.548 7	70	0.301 7
20	0.538 6	80	0.283 0
21	0.525 2	90	0.267 3
22	0.514 5	100	0.254 0
23	0.504 3	—	—

A.4.4 函数关系式

函数关系式 $y = a + bx$ 中的 a 和 b , 按式(A.8)~式(A.10)计算:

$$\lambda = \left(\frac{S_{yy}}{S_{xx}} \right)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

$$b = -\sqrt{\lambda} \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad \dots\dots\dots (\text{A.10})$$

注：由于 $y = \lg V, x = \lg t$ ，则 $V = 10^y, t = 10^x$ ，则 V 的有关 t 的隐式关系式为：

$$V = 10^{(a+b \times \lg t)}$$

A.4.5 方差计算

A.4.5.1 以破坏时间 t_L 的对数值作为 x_L ，见式(A.11)：

$$x_L = \lg t_L \quad \dots\dots\dots (\text{A.11})$$

A.4.5.2 按式(A.12)～式(A.14)计算 $i=1$ 到 $i=n$ 真值 x 的最佳值 ξ_i ，真值 y 的最佳值 Y_i 和 x 的误差方差 σ_{ξ}^2 ：

$$\xi_i = [\lambda x_i + b(y_i - a)]/2\lambda \quad \dots\dots\dots (\text{A.12})$$

$$Y_i = a + b\xi_i \quad \dots\dots\dots (\text{A.13})$$

$$\sigma_{\xi}^2 = [\sum (y_i - Y_i)^2 + \lambda \sum (x_i - \xi_i)^2] / [\lambda(n-2)] \quad \dots\dots\dots (\text{A.14})$$

A.4.5.3 按式(A.15)～式(A.17)计算下列参数：

$$\tau = b\sigma_{\xi}^2 / 2S_{xy} \quad \dots\dots\dots (\text{A.15})$$

$$D = 2\lambda b\sigma_{\xi}^2 / nS_{xy} \quad \dots\dots\dots (\text{A.16})$$

$$B = -D\bar{x}(1+\tau) \quad \dots\dots\dots (\text{A.17})$$

A.4.5.4 计算下列方差：

按式(A.18)计算 b 的方差 C ：

$$C = D(1+\tau) \quad \dots\dots\dots (\text{A.18})$$

按式(A.19)计算 a 的方差 A ：

$$A = D \left[\bar{x}^2(1+\tau) + \frac{S_{xy}}{b} \right] \quad \dots\dots\dots (\text{A.19})$$

按式(A.20)计算拟合直线在 x_L 的方差 σ_n^2 ：

$$\sigma_n^2 = A + 2Bx_L + Cx_L^2 \quad \dots\dots\dots (\text{A.20})$$

按式(A.21)计算 y 的误差方差 σ_{ϵ}^2 ：

$$\sigma_{\epsilon}^2 = 2\lambda\sigma_{\xi}^2 \quad \dots\dots\dots (\text{A.21})$$

按式(A.22)计算 y 在 x_L 的预测值 y_L 的总方差 σ_y^2 ：

$$\sigma_y^2 = \sigma_n^2 + \sigma_{\epsilon}^2 \quad \dots\dots\dots (\text{A.22})$$

A.4.5.5 按式(A.23)计算预测值 y_L 的标准差 σ_y ：

$$\sigma_y = (\sigma_n^2 + \sigma_{\epsilon}^2)^{0.5} \quad \dots\dots\dots (\text{A.23})$$

按式(A.24)的关系式求出 y 在 x_L 的预测值 y_L ：

$$y_L = a + bx_L \quad \dots\dots\dots (\text{A.24})$$

上式中的 a 和 b 是通过式(A.9)和式(A.10)求得。

A.4.6 计算置信区间

A.4.6.1 按式(A.25)计算 y_L 的 95%预测区间的下限 $y_{L,0.95}$ ：

$$y_{L,0.95} = y_L - t_v \sigma_y \quad \dots\dots\dots (\text{A.25})$$

式中：

y_L ——按式(A.24)计算，其中 x_L 按式(A.11)计算；

σ_y ——通过式(A.23)求得的值；

t_v —— $v=(n-2)$ 时的 t 分布值，见表 A.2。表 A.2 为显著性水平双侧 0.05(平均±2.5%)的 t 分布值。

表 A.2 t 分布值(显著性水平双侧 0.05)

自由度 ($n-2$)	t 值 t_{α}	自由度 ($n-2$)	t 值 t_{α}	自由度 ($n-2$)	t 值 t_{α}
1	12.706 2	34	2.032 2	67	1.996 0
2	4.302 7	35	2.030 1	68	1.995 5
3	3.182 4	36	2.028 1	69	1.994 9
4	2.776 4	37	2.026 2	70	1.994 4
5	2.570 6	38	2.024 4	71	1.993 9
6	2.446 9	39	2.022 7	72	1.993 5
7	2.364 6	40	2.021 1	73	1.993 0
8	2.306 0	41	2.019 5	74	1.992 5
9	2.262 2	42	2.018 1	75	1.992 1
10	2.228 1	43	2.016 7	76	1.991 7
11	2.201 0	44	2.015 4	77	1.991 3
12	2.178 8	45	2.014 1	78	1.990 8
13	2.160 4	46	2.012 9	79	1.990 5
14	2.144 8	47	2.011 7	80	1.990 1
15	2.131 5	48	2.010 6	81	1.989 7
16	2.119 9	49	2.009 6	82	1.989 3
17	2.109 8	50	2.008 6	83	1.989 0
18	2.100 9	51	2.007 6	84	1.988 6
19	2.093 0	52	2.006 6	85	1.988 3
20	2.086 0	53	2.005 7	86	1.987 9
21	2.079 6	54	2.004 9	87	1.987 6
22	2.073 9	55	2.004 0	88	1.987 3
23	2.068 7	56	2.003 2	89	1.987 0
24	2.063 9	57	2.002 5	90	1.986 7
25	2.059 5	58	2.001 7	91	1.986 4
26	2.055 5	59	2.001 0	92	1.986 1
27	2.051 8	60	2.000 3	93	1.985 8
28	2.048 4	61	1.999 6	94	1.985 5
29	2.045 2	62	1.999 0	95	1.985 3
30	2.042 3	63	1.998 3	96	1.985 0
31	2.039 5	64	1.997 7	97	1.984 7
32	2.036 9	65	1.997 1	98	1.984 5
33	2.034 5	66	1.996 6	99	1.984 2

表 A.2 (续)

自由度 ($n-2$)	t 值 t_{α}	自由度 ($n-2$)	t 值 t_{α}	自由度 ($n-2$)	t 值 t_{α}
100	1.984 0	124	1.979 3	148	1.976 1
102	1.983 5	126	1.979 0	150	1.975 9
104	1.983 0	128	1.978 7	200	1.971 9
106	1.982 6	130	1.978 4	300	1.967 9
108	1.982 2	132	1.978 1	400	1.965 9
110	1.981 8	134	1.977 8	500	1.964 7
112	1.981 4	136	1.977 6	600	1.963 9
114	1.981 0	138	1.977 3	700	1.963 4
116	1.980 6	140	1.977 1	800	1.962 9
118	1.980 3	142	1.976 8	900	1.962 6
120	1.979 9	144	1.976 6	1 000	1.962 3
122	1.979 6	146	1.976 3	...	1.960 0

A.4.6.2 按式(A.26)计算 V 的相应 95% 预测下限:

$$V_{L,0.95} = 10^{y_L - 0.95} \dots\dots\dots (A.26)$$

A.4.6.3 时间为 t_L 时, V 的预测平均值 V_L 按式(A.27)计算:

$$V_L = 10^{y_L} \dots\dots\dots (A.27)$$

式中:

y_L ——由式(A.24)计算得出。

A.4.6.4 设定式(A.22)中的 $\sigma_y^2 = \sigma_n^2$, 将产生一个直线的置信区间, 而不是一个未来观察值的预测区间。

附 录 B
(资料性附录)
数据分析及计算举例

B.1 数据分析

B.1.1 环向应力与失效时间的函数关系

B.1.1.1 在试图预测材料的长期静水压强度时,采用环向应力进行数据分析,可以补偿试样尺寸变化对结果的影响,减少数据的分散。通常,特定产品的 HDS 值一旦确定,由于对各种产品的几何尺寸有所补偿,该值可有效地预测管状产品的长期工作压力。

B.1.1.2 环向应力只适用于形状简单的管状试样,如管和形状简单的管件。

B.1.2 内压与失效时间的函数关系

将内压作为独立变量,本标准的应用范围可扩大到几何形状复杂、难以进行环向应力计算的其他产品的使用寿命预测。

B.2 计算举例

B.2.1 基础数据

采用的数据见表 B.1。舍入误差和采用不同统计计算软件,计算结果可能不完全一致。所采用的统计计算软件应确保 B.2.5 的计算偏差在±0.1%以内。

表 B.1 举例计算的基础数据

数据点	时间 h	应力 MPa	时间的 对数值	应力的 对数值	数据点	时间 h	应力 MPa	时间的 对数值	应力的 对数值
1	9	37.92	0.954 24	1.578 87	12	589	33.10	2.770 12	1.519 83
2	13	37.92	1.113 94	1.578 87	13	669	32.41	2.825 43	1.510 68
3	17	37.92	1.230 45	1.578 87	14	684	34.48	2.835 06	1.537 57
4	17	37.92	1.230 45	1.578 87	15	878	31.72	2.943 49	1.501 33
5	104	35.85	2.017 03	1.554 49	16	1 299	33.10	3.113 61	1.519 83
6	142	35.85	2.152 29	1.554 49	17	1 301	32.41	3.114 28	1.510 68
7	204	35.85	2.309 63	1.554 49	18	1 430	33.10	3.155 34	1.519 83
8	209	35.85	2.320 15	1.554 49	19	1 710	33.10	3.233 00	1.519 83
9	272	34.48	2.434 57	1.537 57	20	2 103	33.10	3.322 84	1.519 83
10	446	34.48	2.649 33	1.537 57	21	2 220	31.03	3.346 35	1.491 78
11	466	34.48	2.668 39	1.537 57	22	2 230	30.34	3.348 30	1.482 02

表 B.1 (续)

数据点	时间 h	应力 MPa	时间的 对数值	应力的 对数值	数据点	时间 h	应力 MPa	时间的 对数值	应力的 对数值
23	3 816	32.41	3.581 61	1.510 68	28	8 900	31.72	3.949 39	1.501 33
24	4 110	32.41	3.613 84	1.510 68	29	10 900	31.03	4.037 43	1.491 78
25	4 173	31.72	3.620 43	1.501 33	30	10 920	31.03	4.038 22	1.491 78
26	5 184	30.34	3.714 66	1.482 02	31	12 340	31.03	4.091 32	1.491 78
27	8 900	31.72	3.949 39	1.501 33	32	12 340	31.03	4.091 32	1.491 78

B.2.2 平方和

$$S_{xx} = 0.798\ 120$$

$$S_{yy} = 8.768\ 10 \times 10^{-4}$$

$$S_{xy} = -0.024\ 815$$

B.2.3 相关系数

$$r = 0.938\ 038$$

B.2.4 函数关系

$$\lambda = 1.098\ 594 \times 10^{-3}$$

$$b = -3.314\ 50 \times 10^{-2}$$

$$a = 1.620\ 689$$

B.2.5 计算方差

$$D = 4.837\ 83 \times 10^{-6}$$

$$B = -1.467\ 67 \times 10^{-5}$$

$$C(b \text{ 的方差}) = 5.008\ 26 \times 10^{-6}$$

$$A(a \text{ 的方差}) = 4.663\ 19 \times 10^{-5}$$

$$\sigma_a^2(x \text{ 的误差方差}) = 4.042\ 960 \times 10^{-5}$$

$$\sigma_e^2(y \text{ 的误差方差}) = 1.159\ 0 \times 10^{-4}$$

B.2.6 置信区间

$n = 32$ 时 t 值为 2.042 3, 其预测平均值和置信区间下限、预测区间下限见表 B.2。

表 B.2 置信区间

时间 h	预测平均值 MPa	置信区间下限 MPa	预测区间下限 MPa
1	41.75	40.43	39.32
10	38.69	37.84	36.60

表 B.2 (续)

时间 h	预测平均值 MPa	置信区间下限 MPa	预测区间下限 MPa
100	35.84	35.37	34.01
1 000	33.21	32.91	31.54
10 000	30.77	30.33	29.19
100 000	28.51	27.84	26.96
438 000	27.15	26.35	25.60