

中 华 人 民 共 和 国 国 家 标 准

GB/T 44162—2024

炭素材料抗拉强度威布尔分布  
参数估计实施规范

Implementation specification for estimating Weibull distribution  
parameters of tensile strength for carbon materials

2024-07-24发布

2025-02-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发 布

# 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国钢铁工业协会提出。

本文件由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本文件起草单位：赛迈科先进材料股份有限公司、清华大学深圳国际研究生院、山西晋阳碳素有限公司、冶金工业信息标准研究院。

本文件主要起草人：杨辉、徐建平、许汉春、王晓远、吴建国、雷绍玉、段学良。

炭素材料抗拉强度威布尔分布  
参数估计实施规范

1 范围

本文件规定了炭素材料抗拉强度威布尔分布参数估计的实施步骤要求，描述了对应的证实方法。  
本文件适用于炭素材料抗拉强度的威布尔模数和威布尔特征强度的估计。炭素材料耐压强度及其他单轴强度性能的威布尔参数估计参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 3358.1 统计学词汇及符号 第1部分：一般统计术语与用于概率的术语
- GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定
- GB/T 8721 炭素材料抗拉强度测定方法
- GB/T 34987 威布尔分析

3 术语和定义

GB/T 3358.1界定的术语和定义适用于本文件。

4 实施步骤要求

4.1 获取试验数据要求

按照GB/T 8721或其他适用标准测得多个抗拉强度数据。  
注1:样本数量由使用本文件的相关方根据特定要求另行协商确定。  
注2:本文件不对试样取样进行规定，具体取样方式由使用本文件的相关方根据特定要求另行协商确定。

4.2 分析过程要求

4.2.1 当炭素材料抗拉强度连续变量(x) 满足两参数威布尔分布，其概率密度函数f(x) 如式(1)所示：

$$f(x) = \left(\frac{m}{S_c}\right) \left(\frac{x}{S_c}\right)^{m-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{S_c}\right)^m\right], x > 0 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

m——威布尔模数，无量纲，反映材料强度的离散性，数值越高，离散性越小；  
S<sub>c</sub>—— 威布尔特征强度，单位为兆帕(MPa)，反映材料强度的大小。  
抗拉强度(σ) 失效概率累积分布函数P；如式(2)所示：

$$P_f = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\sigma}{S_c}\right)^m\right], \sigma > 0 \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$\sigma$ ——炭素材料抗拉强度,单位为兆帕(MPa)。

4.2.2 在数据处理前应分析数据是否存在异常值。如异常值为样本强度本身特性,应保留该数据,如是测试等异常原因造成的偏差则应剔除。

4.2.3 将测得抗拉强度数据从小到大排列,数据序号依次为1, 2, 3, ..., i-1, i, ..., N。

4.2.4 每个数据分配一个排序的失效概率P, 如式(3)所示:

$$P_i(i) = \frac{i - 0.5}{N} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

i——序号;

N——试样的数量。

4.2.5 将式(2)取两次对数, 得到式(4):

$$\ln \ln \left( \frac{1}{1 - P_i} \right) = m \ln(\sigma) - m \ln(S_o) \dots\dots\dots (4)$$

4.2.6 令  $x = \ln(\sigma)$ ,  $y = \ln \ln \left( \frac{1}{1 - P_i} \right)$ , 式(4)相当于线性方程式(5):

$$y = mx - m \ln(S_o) \dots\dots\dots (5)$$

对4.1获取的测试数据进行线性拟合, 参照式(5)的线性方程, 得到式(6):

$$y = mx - m \ln(S_o) \dots\dots\dots (6)$$

式中:

m——威布尔模数m 的估计值, 无量纲;

S<sub>o</sub>——威布尔特征强度S<sub>o</sub>的估计值, 单位为兆帕(MPa)。

注: 对数据线性拟合的具体方式或工具, 本文件不做规定, 但需满足相关规定, 并与使用本文件的相关方协商一致。

4.2.7 如需获得在一定置信区间内的威布尔分布参数, 可应用以下公式对威布尔分布的估算值 $\hat{S}_o$ 进行修正, 如式(7)、式(8)所示:

$$\hat{m}_q = \frac{\hat{m}}{q} \dots\dots\dots (7)$$

$$\hat{S}_{qt} = \hat{S}_o \times \exp \left[ - \left( \frac{t}{\hat{m}} \right) \right] \dots\dots\dots (8)$$

式中:

q——威布尔模数修正系数;

t——威布尔特征强度修正系数;

m<sub>q</sub>——威布尔模数m 在一定置信区间的修正估计值, 单位为无量纲;

S<sub>qt</sub>——威布尔特征强度S<sub>o</sub>在一定置信区间的修正估计值, 单位为兆帕(MPa)。

当试样数量N≤120, 95% 可信度的威布尔分布下限值的修正系数q、t可以分别通过查附录A 得到; 当试样数量N>120, 可通过式(9)、式(10)计算得到95%可信度的威布尔分布下限值的修正系数:

$$q_{0.95} = \exp \left[ -0.596\ 69 + 0.040\ 572 \times \ln N + \frac{2.532\ 271}{\ln N} \right] \dots\dots\dots (9)$$

$$t_{0.95} = \left[ 0.864\ 83 + 0.565\ 442 \times N^{0.5} - \frac{0.955\ 68}{N^{0.5}} \right]^{-1} \dots\dots\dots (10)$$

4.2.8 结果保留小数点后两位, 数值修约按GB/T 8170规定进行。

4.2.9 根据需要, 可通过式(7)、式(8)计算其他置信区间的威布尔参数。经相关方认可, 利用统计分析软件计算得到的威布尔分布参数同样适用本文件。

4.2.10 通过以上步骤, 得出炭素材料抗拉强度威布尔分布参数及其估计值的报告。

5 证实方法

5.1 获取试验数据

参考GB/T 8721进行测定。

5.2 分析过程

参考GB/T 34987进行过程分析。

5.3 结果计算

以某石墨试样为例，测得36个抗拉强度数据，结合式(4)～式(6)，可计算得到表1数据。

表 1 分析数据列表

样品序号N	抗拉强度 $\sigma$ /MPa	$P_1(i)$	$x=\ln(a)$	$y=\ln\ln\{1/[1-P_1(i)]\}$
1	27.23	1.39%	3.30	—4.27
2	27.39	4.17%	3.31	—3.16
3	28.57	6.94%	3.35	—2.63
4	28.76	9.72%	3.36	—2.28
5	29.90	12.50%	3.40	—2.01
6	30.56	15.28%	3.42	—1.80
7	30.78	18.06%	3.43	—1.61
8	30.93	20.83%	3.43	—1.45
9	31.00	23.61%	3.43	—1.31
10	31.36	26.39%	3.45	—1.18
11	31.44	29.17%	3.45	—1.06
12	31.81	31.94%	3.46	—0.95
13	31.99	34.72%	3.47	—0.85
14	32.03	37.50%	3.47	—0.76
15	32.30	40.28%	3.48	—0.66
16	32.55	43.06%	3.48	—0.57
17	32.57	45.83%	3.48	—0.49
18	32.59	48.61%	3.48	—0.41
19	32.84	51.39%	3.49	—0.33
20	32.95	54.17%	3.49	—0.25
21	33.05	56.94%	3.50	—0.17
22	33.08	59.72%	3.50	—0.10
23	33.14	62.50%	3.50	—0.02
24	33.18	65.28%	3.50	0.06
25	33.22	68.06%	3.50	0.13

表 1 分析数据列表(续)

样品序号N	抗拉强度 $\sigma$ /MPa	$P_1(i)$	$x=\ln(o)$	$y=\ln\ln\{1/[1-P_1(i)]\}$
26	33.46	70.83%	3.51	0.21
27	33.58	73.61%	3.51	0.29
28	33.60	76.39%	3.51	0.37
29	33.93	79.17%	3.52	0.45
30	34.00	81.94%	3.53	0.54
31	34.08	84.72%	3.53	0.63
32	34.11	87.50%	3.53	0.73
33	34.12	90.28%	3.53	0.85
34	34.74	93.06%	3.55	0.98
35	34.81	95.83%	3.55	1.16
36	34.96	98.61%	3.55	1.45

将 $\ln(o)$  作为横坐标,  $\ln\ln[1/(1-P_1)]$  作为纵坐标数据进行线性拟合见图1, 计算得到: 威布尔模数 的估计值 $\hat{m}=19.54$ , 威布尔特征强度的估计值 $\hat{S}_e=33.10\text{MPa}$ 。

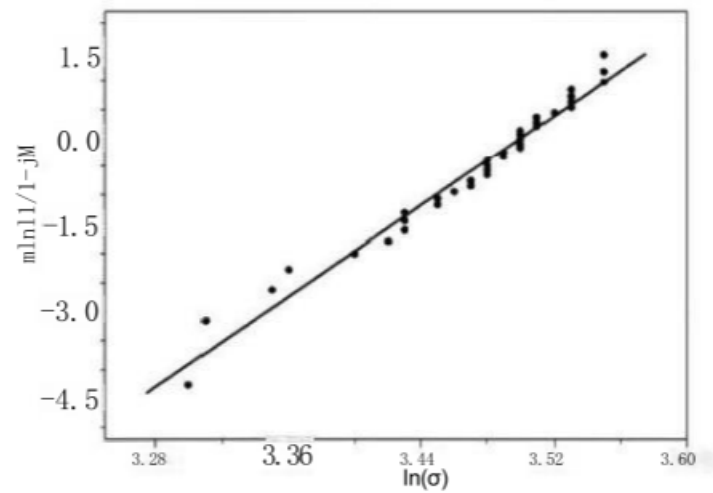


图 1 威布尔分布图

假设要得到95%可信度(置信区间5%-95%)的威布尔分布两参数下限值, 因为 $N=36<120$ , 可通过查附录A 得到95%置信度的威布尔模数修正系数 $q_{0.05}=1.294$ , 以及95%可信度的威布尔特征强度修正系数 $t_{0.95}=0.302$ 。通过如下式(11)、式(12)计算得到95%可信度的威布尔模数 $\hat{m}_{0.95}=15.10$ , 以及95%可信度的威布尔特征强度 $\hat{S}_{0.95}=32.59\text{MPa}$ 。

$$\hat{m}_{0.95} = \frac{\hat{m}}{q_{0.05}} = \frac{19.54}{1.294} = 15.10 \dots\dots\dots (11)$$

$$\hat{S}_{0.95} = \hat{S}_e \times \exp\left[-\left(\frac{t_{0.95}}{\hat{m}}\right)\right] = 33.10 \times \exp\left[-\left(\frac{0.302}{19.54}\right)\right] = 32.59\text{ MPa} \dots\dots\dots (12)$$

附 录 A  
(资料性)

威布尔分布几何参数下限值的修正系数 $q_{0.95}$ 和尺度参数修正系数

$t_{0.95}$  威布尔分布几何参数下限值的修正系数 $q_{0.95}$ 和尺度参数修正系数 $t_{0.95}$ 见表A.1。

表 A.1 修正系数 $q_{0.95}$ 和尺度参数修正系数  $t_{0.95}$

样本数量N	$q_{0.95}$	$t_{0.95}$	样本数量N	$q_{0.95}$	$t_{0.95}$
5	2.779	1.107	42	1.265	0.278
6	2.436	0.939	44	1.256	0.271
7	2.183	0.829	46	1.249	0.264
8	2.015	0.751	48	1.242	0.258
9	1.896	0.691	50	1.235	0.253
10	1.807	0.644	52	1.229	0.247
11	1.738	0.605	54	1.224	0.243
12	1.682	0.572	56	1.218	0.238
13	1.636	0.544	58	1.213	0.233
14	1.597	0.520	60	1.208	0.229
15	1.564	0.499	62	1.204	0.225
16	1.535	0.480	64	1.200	0.221
17	1.510	0.463	66	1.196	0.218
18	1.487	0.447	68	1.192	0.214
19	1.467	0.433	70	1.188	0.211
20	1.449	0.421	72	1.185	0.208
22	1.418	0.398	74	1.182	0.205
24	1.392	0.379	76	1.179	0.202
26	1.370	0.362	78	1.176	0.199
28	1.351	0.347	80	1.173	0.197
30	1.334	0.334	85	1.166	0.190
32	1.319	0.323	90	1.160	0.185
34	1.306	0.312	95	1.155	0.179
36	1.294	0.302	100	1.150	0.175
38	1.283	0.293	110	1.141	0.166
40	1.273	0.285	120	1.133	0.159

### 参 考 文 献

- [1] ASTM D7846 Standard Practice for Reporting Uniaxial Strength Data and Estimating Weibull Distribution Parameters for Advanced Graphites
- [2] ASTM E178 Standard Practice for Dealing With Outlying Observations
- [3] ASTM C1239 Standard Practice for Reporting Uniaxial Strength Data and Estimating Weibull Distribution Parameters for Advanced Ceramics



[www.bzxz.net](http://www.bzxz.net)

免费标准下载网