

JB

中华人民共和国机械行业标准

JB/T 6881—93

泵可靠性测定试验

1993-07-13 发布

1994-07-01 实施

中华人民共和国机械工业部 发 布

泵可靠性测定试验

1 主题内容与适用范围

本标准规定了泵可靠性测定试验的指标选择、抽样规定、故障判据、试验程序以及试验数据处理方法等。

可靠性测定试验是测定泵可靠性特征值的试验。目的是确定泵实际达到的可靠性水平,以便把这些资料记入技术文件。

本标准适用于需要了解可靠性指标量值的泵产品,并对试验室和现场两种可靠性试验方式均适用。

2 引用标准

GB 3187 可靠性基本名词术语及定义

GB 5080.4 设备可靠性试验 可靠性测定试验的点估计和区间估计方法(指数分布)

3 可靠性指标及定义

3.1 平均寿命(mean life)

a. 平均无故障工作时间(mean time between failures—MTBF)

泵运行中相邻两故障间工作时间的均值。

b. 失效前平均工作时间(mean time to failure—MTTF)

泵从开始运行到发生不便于修理的故障时工作时间的均值。

c. 平均检修寿命(mean overhaul life—MOL)

泵运行到需要解体检查修理时工作时间的均值。

3.2 平均修复时间(mean time to repair—MTTR)

泵从发现故障到恢复规定功能所需时间的均值。

3.3 有效度(availability— $A(t)$)

泵在规定的时间内具有或维持其规定功能的概率。

3.4 可靠度(reliability— $R(t)$)

泵在规定的条件下和规定时间内,完成规定功能的概率。

上述各项指标的观测值求法按 GB 3187 中的规定。

4 可靠性指标的选择

4.1 可以修复的泵产品可靠性指标应选用平均无故障工作时间(MTBF)和平均检修寿命(MOL)。

4.2 某些原则上虽然可修复但是进行修理很不方便或很困难甚至是不可能修复的泵,可以当成不可修复产品处理(如深井泵和某些船用泵等),其可靠性指标选用失效前平均工作时间(MTTF)。

4.3 当有条件收集到泵维修数据的情况时,除 4.1 条或 4.2 条外,可靠性指标可同时选用平均修复时间(MTTR)和有效度($A(t)$)。

工程上习惯称有效度为可用率,当故障间隔时间和维修间隔时间均服从指数分布时,有效度为:

$$A(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

4.4 当考核泵的零、部件时(如叶轮、机械密封等),除选用以上指标外,可靠性指标还可选用可靠度 $R(t)$ 。

5 抽样规定

5.1 抽样的目的是为了减少试验台量,节约费用,但必须保证样品的试验结果能够代表整批泵的水平。

5.2 泵的可靠性测定试验用于下述情况:

- a. 研制的模型或样机;
- b. 批量生产。

总体必须在本质上是同一的,也就是说同一总体的泵是以相同的方法和稳定的工艺条件生产装配的,以保证可靠性试验具有代表性。如果可以证明泵的可靠性水平与泵的规格无关,方可将同型号不同规格的泵作为一个总体处理。

受试泵必须从所代表的总体中,按随机方式一次计数抽样。

5.3 现场可靠性试验应注意选点:

- a. 用户的使用条件应与设计说明条件一致;
- b. 尽量优先选择被考核产品使用量大的用户;
- c. 如选择多家用户,应注意考查具有相同或基本相同的使用条件。

5.4 试验室试验应抽取同年生产的同一规格型号的泵不少于 3 台。

现场试验应从同时期运行的同一规格型号的泵中抽样,样本量不少于 5 台,对于年产量超过 150 台的同种规格型号泵抽样量不少于 15 台。

5.5 对现场试验的泵产品,为尽可能多的暴露故障,样本量不一定要多,但需保证足够的试验时间,同时要保证受试泵的投运时间不应相差太大。

5.6 现场试验时,一般情况下应优先选择完全样本试验,即试验到每台抽样受试泵的检修寿命期为止。对于平均检修寿命较长的泵($MOL \geq 3$ 年),可选择不完全样本试验。

6 故障判据

6.1 故障

凡是不能按订货数据单要求的运行工况完成其规定功能,或其性能指标劣化至允许范围以外的一切现象就是故障。

6.2 表现形式

在额定扬程下流量达不到规定值或满足不了用户的使用值,不正常的外部泄漏、振动烈度大、润滑不良、局部过热、不正常的频繁更换易损件等都属故障。

6.3 分类

I 类故障——危及人身和设备安全,造成重大经济损失的故障。如断抽、炸裂等。

II 类故障——主要零、部件严重损坏,需解体检修的故障。如叶轮裂纹、更换机械密封和轴承等。

III 类故障——泵功能下降,可用更换易损件和附带工具在较短时间内便于维修并容易排除的故障。如换填料等。

N 类故障——不影响泵的功能和使用要求且无需停机而轻易排除的故障。如标牌脱落、轻微泄漏等。

6.4 判据

6.4.1 由于 I、II、III 类故障引起的非计划停机均判为一次故障。

6.4.2 有计划停机检修不计入故障次数,按计划更换易损件也不计入故障次数。

6.4.3 N 类故障以及其他由于泵本机以外的原因引起的从属故障,如:仪表失灵、误操作等均需记录但

不计入故障次数。

6.4.4 故障类别的判定应以最终造成后果的严重程度为依据。

6.4.5 由于各种泵的结构不同,同一名称的故障所致后果及排除的难易程度会有较大差别,因此要根据具体情况确定故障类别。

6.4.6 现场使用中如发现泵的若干个参数偏离了规定的范围,而且不能证明它们是同一个原因引起的,则每一个参数的偏离都认为是受试泵的一次故障,有几个原因就认为是几次故障,若是由同一原因引起,则认为是一次故障。

7 受试产品的要求

7.1 受试产品应按第5章的规定抽样。

7.2 受试产品必须是检验通过的合格品,而且在完成性能参数试验之后应进行解体,只有当未发现零、部件有什么不正常的痕迹时才允许进行可靠性试验。

7.3 可靠性试验可以在专门的试验台上进行,也可以在使用现场进行,但运行工况应在设计规定的工作范围内,运行环境应符合被试泵的使用说明文件的有关规定。

7.4 试验室试验应在规定工况下进行,并要配计时器,允许采用加速试验方法,但必须证明所用方法不改变失效模式和失效机理且加速系数足够准确。

7.5 在使用现场实际工作负荷下进行试验时,其设备应具备下列条件:

- a. 可以测定泵的扬程、流量、功率,测定精度不要求太高,方法不限;
- b. 可以测量为判断泵的运转是否正常必需测定的量,如轴承温度、外部泄漏量、某些部位的压力或压力差等;
- c. 事故保护或监测装置齐备。

7.6 应对允许更换的部件和零件作出计划。

8 试验程序

8.1 试验记录

从给定的泵产品总体中,随机抽取规定数量的样品投入规定的试验过程,记录和逐次累积所有受试泵的相关试验时间、故障间隔时间和相关失效数,并记入表1中。

8.2 相关试验时间

受试泵相关试验时间根据 GB 5080.4 的规定(见图1)确定。

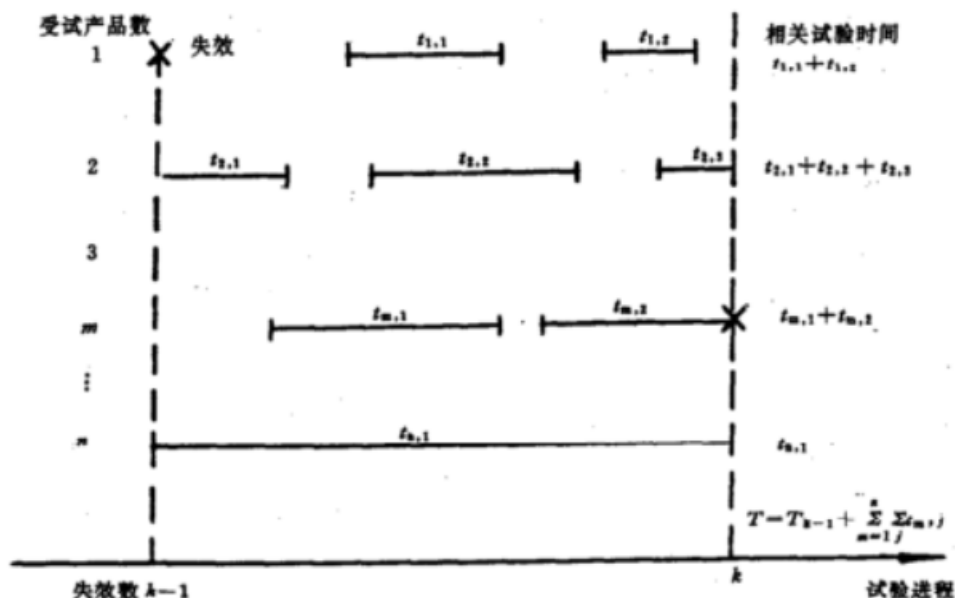


图1 受试泵相关试验时间

8.3 累积相关试验时间的计算

当能测得每台受试泵的相关试验时间时,发生第 k 次失效的累积相关试验时间 T 为:

$$T = \sum_{m=1}^n t_{m,k} \text{ 或 } T = \sum_{i=1}^r t_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中: n ——受试泵台数;

$t_{m,k}$ ——在受试泵中,序号为 m 的泵直到第 k 个失效发生时的相关试验时间;

r ——相关失效数(故障次数);

t_i ——第 i 个故障间隔时间。

在定时试验中,累积相关试验时间 T^* 为:

$$T^* = \sum_{m=1}^n t_m \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中: t_m ——序号为 m 的受试产品直到规定点的试验时间。

8.4 试验监测时间

整个试验期间生产厂都必须派专人观测相应的受试泵的相关试验时间,试验结束时观测相关失效数。

如果不能连续地进行监测,则必须规定监测之间的时间间隔,使之必须短到不致在本质上影响试验结果。

一般情况下,监测间隔应小于 $0.2 m_0$,其中 m_0 为规定的可接受平均无故障工作时间。

8.5 试验记录

应给每一台受试泵建立一份试验记录,并按先后顺序在规定时间和每次失效之后进行数据记录。

8.5.1 由现场的一般维修人员按现场使用的维修表格收集数据。

8.5.2 由现场操作人员按表 1 收集数据。

8.5.3 由试验人员按监测间隔定期收集数据,记入表 1。

8.5.4 凡是试验人员认为与试验有关的事件均应记录。

9 参数估计和分布假设

9.1 一个点估计值是单个数值,用于表示一个统计参数的未知真值。例如平均无故障工作时间、有效度等。

9.2 置信限规定了在估计值周围的置信区间,这个区间以确定的概率(即置信度)包含着被估计参数的真值。

泵应取单侧置信度 $\gamma=0.7$ 。

9.3 泵整机寿命在没有验证属于何种分布时,选用指数分布。零、部件寿命选用威布尔分布。当已有足够数据可以拟合分布曲线时,以数据拟合的分布为准。

10 试验方案

可靠性试验包括试验室和现场两种方式,可根据具体条件自选一种方式进行试验。

10.1 完全样本试验——试验进行到每台投试泵都到了检修寿命期为止。

10.2 不完全样本试验:

a. 定时截尾试验——试验进行到试前规定的试验时间 T^* 时就停止的试验。

当样本量较大,尤其是试验室试验可以选用定时截尾试验方案。

b. 定数截尾试验——试验进行到试前规定的失效数 r 就停止的试验。

当用户限制泵的故障发生次数时,可选用定数截尾试验方案。

11 数据处理

11.1 可靠性试验的数据处理包括图分析和数值分析两种方法。对于小样本($n \leq 20$),应采用数值分析

方法。对于大样本($n > 20$),除采用数值分析方法以外还可采用图分析法。另外无论是大样本还是小样本如果有计算机编程能力时,应采用随机截尾处理方法。

a. 图分析法——利用各种概率纸(如正态、威布尔、对数正态概率纸)对可靠性试验所获得的数据进行描点、估计分布参数和可靠性特征值的方法;

b. 数值分析法——利用概率模型和统计模型进行可靠性指标估计的数学方法;

c. 随机截尾法——对于不符合完全样本或不完全样本中定时或定数截尾试验方案,所获得的可靠性试验数据(如产品中途退出试验或既有故障又有无故障的现场试验数据的情况)所采取的一种特殊处理方法。

11.2 通过试验得到的数据,按泵的型号规格和不同的环境条件区分各自母体,记入表 1 中。供整理的原始数据是:

试验泵的台数 n ;

总故障数 r ;

每台泵第 i 次故障的工作时间 T_i ;

故障间隔时间 $t_i = T_i - T_{i-1}$;

累积相关试验时间 $T = \sum_{i=1}^r t_i$ 。

其中 T_i 和 T_{i-1} ,分别为第 i 次和第 $i-1$ 次故障发生时已运行的总工作时间。

11.3 指数分布——当泵产品的寿命服从指数分布时,得到 MTBF 指标后,就可相应得到其他指标(如失效率 λ ,可靠度 R 等)的点估计值:

$$\overline{\text{MTBF}} = \frac{T}{r} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\overline{\text{MTBF}}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\bar{R}(t) = \exp\left(-\frac{t}{\overline{\text{MTBF}}}\right) \quad \dots\dots\dots (5)$$

区间估计(置信度 $\gamma = 1 - \alpha = 0.7$)。

定数截尾单侧置信下限:

$$\overline{\text{MTBF}} \geq \frac{2T}{X_{\alpha}^2(2r)} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\exp\left(\frac{-tX_{\alpha}^2(2r)}{2T}\right) \leq \bar{R}(t) \leq 1 \quad \dots\dots\dots (7)$$

定时截尾单侧置信下限:

$$\overline{\text{MTBF}} \geq \frac{2T}{X_{\alpha}^2(2r+2)} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\exp\left(\frac{-tX_{\alpha}^2(2r+2)}{2T}\right) \leq \bar{R}(t) \leq 1 \quad \dots\dots\dots (9)$$

其中 $X^2(\nu)$ 分布见表 2。

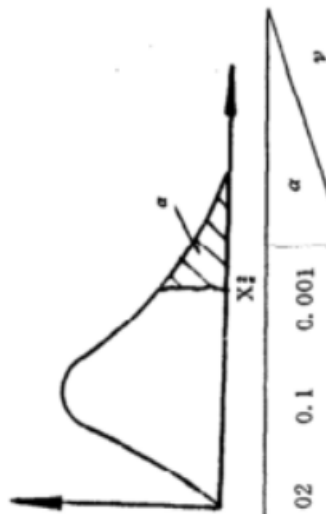


表 2 χ^2 分布表

$P(X > X_1) = \alpha$

ν	α	0.99	0.98	0.95	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.1	0.001	α
1		0.0157	0.01628	0.01393	0.0158	0.0642	0.148	0.455	1.074	1.642	2.706	3.841	5.412	6.635	10.828	1
2		0.0201	0.0404	0.103	0.211	0.446	0.713	1.386	2.408	3.219	4.605	5.991	7.824	9.210	13.816	2
3		0.115	0.185	0.352	0.584	1.005	1.424	2.366	3.665	4.642	6.251	7.815	9.837	11.345	16.266	3
4		0.297	0.429	0.711	1.064	1.649	2.195	3.357	4.878	5.989	7.779	9.488	11.668	12.277	18.467	4
5		0.554	0.752	1.145	1.610	2.343	3.000	4.351	6.064	7.289	9.236	11.070	13.388	15.088	20.515	5
6		0.372	1.134	1.635	2.204	3.070	3.828	5.348	7.231	8.558	10.645	12.592	15.033	16.812	22.458	6
7		1.239	1.564	2.167	2.833	3.822	4.671	6.346	8.383	9.803	12.017	14.067	16.622	18.475	24.322	7
8		1.546	2.032	2.733	3.490	4.594	5.527	7.344	9.524	11.030	13.362	15.507	18.168	20.090	26.125	8
9		2.088	2.532	3.325	4.168	5.380	6.393	8.343	10.656	12.242	14.684	16.919	19.679	21.666	27.877	9
10		2.558	3.059	3.940	4.865	6.179	7.267	9.342	11.781	13.442	15.987	18.307	21.161	23.209	29.588	10
11		3.053	3.609	4.575	5.578	6.989	8.148	10.341	12.899	14.631	17.275	19.675	22.618	24.725	31.264	11
12		3.571	4.178	5.226	6.304	7.807	9.034	11.340	14.011	15.812	18.549	21.026	24.054	26.217	32.909	12
13		4.107	4.765	5.892	7.042	8.634	9.926	12.340	15.119	16.985	19.812	22.362	25.472	27.688	34.528	13
14		4.660	5.368	6.571	7.790	9.467	10.821	13.339	16.222	18.151	21.064	23.685	26.873	29.141	36.123	14
15		5.229	5.985	7.261	8.547	10.307	11.721	14.339	17.322	19.311	22.307	24.996	28.259	30.578	37.697	15

续表 2

ν	α	0.99	0.98	0.95	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.1	0.001	α	ν
16		5.812	6.614	7.962	9.312	11.152	12.624	15.338	18.418	20.465	23.542	26.296	29.633	32.000	39.252		16
17		6.408	7.255	8.672	10.085	12.002	13.531	16.338	19.511	21.615	24.769	27.587	30.995	33.409	40.790		17
18		7.015	7.906	9.390	10.865	12.857	14.440	17.338	20.601	22.760	25.989	28.869	32.346	34.805	42.312		18
19		7.633	8.567	10.117	11.651	13.716	15.352	18.338	21.689	23.900	27.204	30.144	33.687	36.191	43.820		19
20		8.260	9.237	10.851	12.443	14.578	16.266	19.337	22.775	25.038	28.412	31.410	35.020	37.560	45.315		20
21		8.897	9.915	11.591	13.240	15.445	17.182	20.337	23.858	26.171	29.615	32.671	36.343	38.932	46.797		21
22		9.542	10.600	12.338	14.041	16.314	18.101	21.337	24.939	27.301	30.813	33.924	37.659	40.289	48.268		22
23		10.196	11.293	13.091	14.848	17.187	19.021	22.337	26.018	28.429	32.007	35.172	38.568	41.638	49.728		23
24		10.856	11.992	13.848	15.659	18.062	19.943	23.337	27.096	29.553	33.196	36.415	40.270	42.980	51.179		24
25		10.524	12.697	14.611	16.473	18.940	20.867	24.337	28.172	30.675	34.382	37.652	41.566	44.314	52.618		25
26		12.198	13.409	15.379	17.252	19.820	21.792	25.336	29.246	31.795	35.563	38.885	42.856	45.642	54.052		26
27		12.879	14.125	16.151	18.114	20.703	22.719	26.336	30.319	32.912	36.741	40.113	44.140	46.963	55.476		27
28		13.565	14.847	16.928	18.929	21.588	23.647	27.336	31.391	34.027	37.916	41.337	45.419	48.278	56.893		28
29		14.256	15.574	17.708	19.768	22.475	24.577	28.336	32.461	35.139	39.087	42.557	46.693	49.588	58.301		29
30		14.953	16.306	18.493	20.559	23.364	25.503	29.336	33.530	36.250	40.256	43.773	47.962	50.892	59.703		30

实例:某型号泵的寿命认为是服从指数分布,抽取 5 台进行寿命试验,发生 10 次故障时,即停止试验,其故障间隔时间分别为 330、480、905、1260、1910、2498、2704、3614、4100、5311 h。

a. 试进行平均寿命的点估计和单侧置信区间估计:

$$\text{按式(1): } T = \sum_{i=1}^{10} t_i = 330 + 480 + 905 + 1260 + 1910 + 2498 + 2704 + 3614 + 4100 + 5311 = 23112 \text{ h}$$

$$\text{按式(3): } \overline{\text{MTBF}} = \frac{T}{r} = \frac{23112}{10} = 2311.2 \text{ h}$$

$$\text{按式(4): } \bar{\lambda} = \frac{1}{\overline{\text{MTBF}}} = \frac{1}{2311.2} = 0.433 \times 10^{-3} \text{ 1/h}$$

由 $\gamma=0.7$, 则 $\alpha=1-0.7=0.3$ 。查表 2 得 $X^2(2r)=X^2(2 \times 10)=22.775$

$$\text{按式(6)计算单侧置信下限: } \overline{\text{MTBF}} \geq \frac{2 \times 23112}{22.775} = 2029.6 \text{ h}$$

b. 当泵运行 $t=1500 \text{ h}$, 试进行可靠度的点估计和单侧置信区间估计:

$$\text{按式(5): } \bar{R}(1500) = \exp\left(\frac{-1500}{2311.2}\right) = 0.522$$

$$\text{按式(7)计算单侧置信下限: } \exp\left(\frac{-1500 \times 22.775}{2 \times 23112}\right) = 0.477 \leq \bar{R}(1500)$$

11.4 正态分布和威布尔分布

11.4.1 根据原始数据用下列公式计算可靠性特征值:

平均无故障工作时间和平均检修寿命的观测值:

$$\overline{\text{MTBF}} = \frac{\sum_{i=1}^r t_i}{r} \dots\dots\dots(10)$$

$$\overline{\text{MOL}} = \frac{\sum_{j=1}^n \text{OL}_j}{n} \dots\dots\dots(11)$$

平均无故障工作时间和平均检修寿命的试验均方根差:

$$S_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^r (t_i - \overline{\text{MTBF}})^2}{r-1}} \dots\dots\dots(12)$$

$$S_L = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (\text{OL}_j - \overline{\text{MOL}})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(13)$$

平均无故障工作时间和平均检修寿命的试验变异系数:

$$\nu_T = \frac{S_T}{\overline{\text{MTBF}}} \dots\dots\dots(14)$$

$$\nu_L = \frac{S_L}{\overline{\text{MOL}}} \dots\dots\dots(15)$$

11.4.2 根据变异系数的不同,分别采用正态分布($\nu \leq 0.35$ 时)或威布尔分布($\nu > 0.35$ 时)。

11.4.3 按以下公式计算泵的平均无故障工作时间和平均检修寿命。

采用正态分布时:

$$\overline{\text{MTBF}} = \overline{\text{MTBF}} - \frac{t_\alpha}{\sqrt{r}} S_T \dots\dots\dots(16)$$

$$\overline{\text{MOL}} = \overline{\text{MOL}} - \frac{t_\alpha}{\sqrt{n}} S_L \dots\dots\dots(17)$$

式中: $\frac{t_\alpha}{\sqrt{r}}$ 和 $\frac{t_\alpha}{\sqrt{n}}$ 由表 3 中选取。

采用威布尔分布时:

$$\overline{\text{MTBF}} = K_b \sqrt{\frac{r_3}{r} \sum_{i=1}^r t_i^b} \quad \dots\dots\dots(18)$$

$$\overline{\text{MOL}} = K_b \sqrt{\frac{r_3}{n} \sum_{j=1}^n \text{OL}_j^b} \quad \dots\dots\dots(19)$$

式中: r_3 由表 3 中选取; K_b 与 b 值由表 4 或图 2 中选取。

表 3 正态分布系数 $\frac{t_a}{\sqrt{n}}$ 和 r_3 的值

n (n 或 r)	$\frac{t_a}{\sqrt{n}}$	r_3	n (n 或 r)	$\frac{t_a}{\sqrt{n}}$	r_3
3	0.6125	0.70	15	0.224	0.83
4	0.489	0.73	16	0.217	0.83
5	0.421	0.75	17	0.210	0.84
6	0.376	0.76	18	0.203	0.84
7	0.342	0.77	19	0.198	0.85
8	0.317	0.78	20	0.193	0.85
9	0.296	0.79	21	0.187	0.85
10	0.279	0.80	22	0.182	0.85
11	0.265	0.80	23	0.178	0.86
12	0.253	0.81	24	0.174	0.86
13	0.242	0.81	25	0.171	0.86
14	0.232	0.82			

表 4 威布尔分布系数

ν	b	K_b	ν	b	K_b
0.365	3.0	0.893	0.837	1.2	0.941
0.420	2.5	0.887	0.910	1.1	0.965
0.444	2.4	0.887	1.00	1.0	1.0
0.461	2.3	0.886	1.11	0.9	1.05
0.480	2.2	0.886	1.26	0.8	1.13
0.498	2.1	0.886	1.46	0.7	1.27
0.523	2.0	0.886	1.74	0.6	1.50
0.547	1.9	0.887	2.24	0.5	2.0
0.575	1.8	0.889	3.14	0.4	3.32
0.605	1.7	0.892	5.29	0.3	8.86
0.640	1.6	0.897	15.83	0.2	120

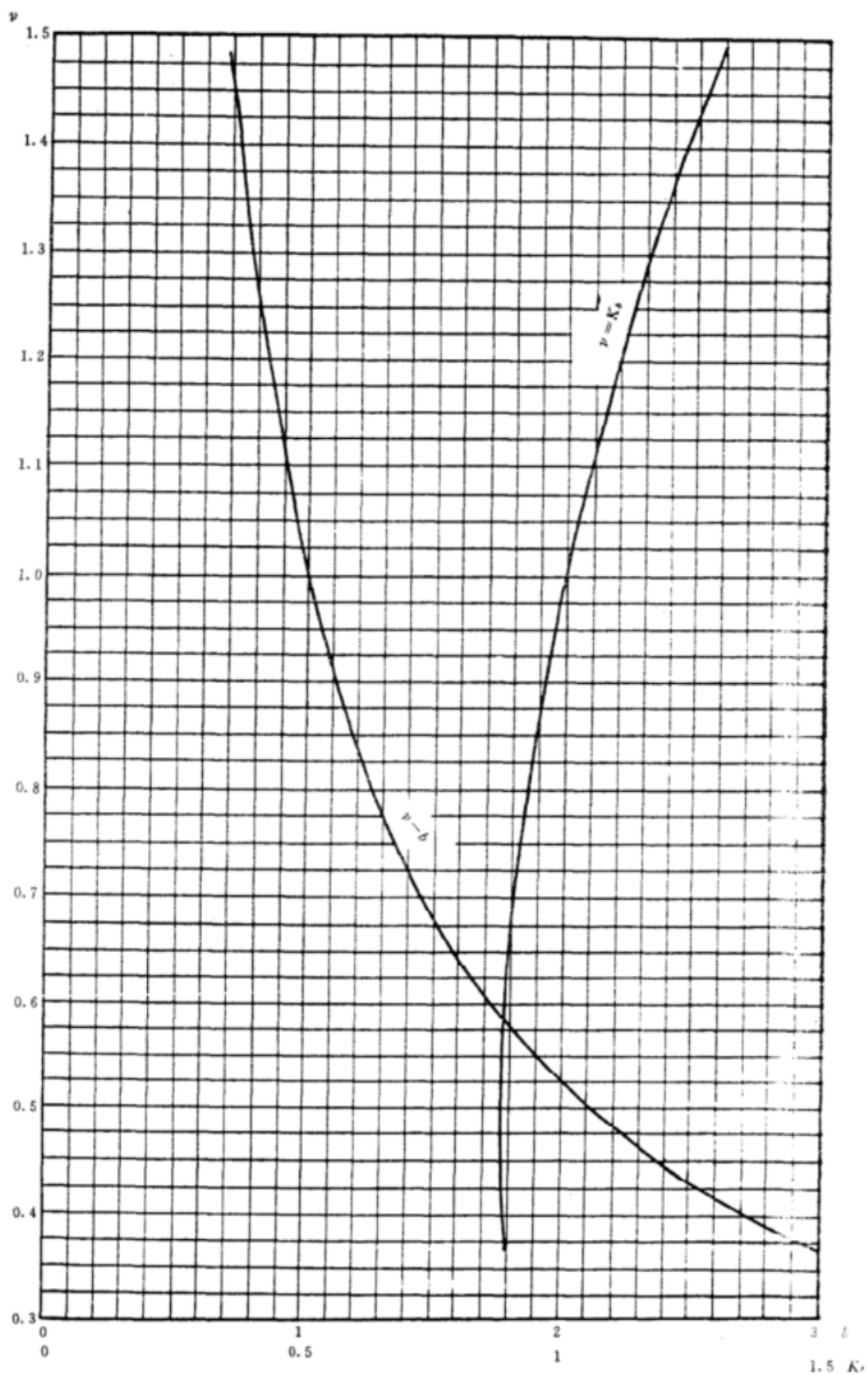


图 2 威布尔分布系数

11.4.4 计算平均修复时间的方法与 11.1,11.4.2 和 11.4.3 条的规定类同,只是泵的修复时间包括故障诊断、修理准备及修理实施时间之和。

11.4.5 当已知平均修复时间后,有效度 $A(t)$ 值就可以按观测值公式或根据参数分布规律求得。

11.4.6 可靠度指标可按式(5)、式(7)、式(9)或用图估法求得。

11.4.7 通过以上计算得到的可靠性指标,记入技术文件时应圆整成整数。

平均无故障工作时间和平均检修寿命以及失效前平均工作时间和平均修复时间由最接近的 R 级数系(100、120、160、200、250、320、400、500、630、800、1000……)中选取。

11.4.8 有效度和可靠度由最接近的 R 40 级数系(0.5、0.53、0.56、0.60、0.63、0.67、0.71、0.75、0.80、0.85、0.90、0.95)中选取。

11.5 试验报告

试验报告必须完整到足以为最后评定产品提供可靠的依据,一般应包括下列内容:

- a. 试验大纲,包括试验方案、试验计划、试验仪器、抽样规定等;
- b. 原始数据记录;
- c. 数据分析报告;
- d. 故障分析报告;
- e. 可靠性保证措施报告;
- f. 试验结果总结报告;
- g. 建议措施报告;
- h. 可靠性增长报告。

12 计算实例

一组试验泵产品共五台,按试验结果,确定其平均寿命。试验数据如表 5。

表 5

泵 号	故障时的 总运行时间 T h	故 障 号		相邻两次故障间的 运行时间 t_i h
		分 号	总 号	
1	634	1	3	634
	1054	2	7	420
	1796	3	10	742
	2492	4	15	696
	OL=3939	5	19	1447
2	551	1	2	551
	765	2	4	214
	2148	3	14	1384
	OL=2512	4	16	364
3	512	1	1	512
	1022	2	6	510
	3014	3	17	1992
	OL=4155	4	20	1141
4	1126	1	8	1126
	1672	2	9	546
	OL=2121	3	13	449
5	856	1	5	856
	1907	2	11	1051
	2032	3	12	125
	OL=3023	4	18	991

按第 11 章所列相关公式计算被试泵的 MTBF 和 MOL。
试验泵的台数 $n=5$ ；总故障数 $r=20$ ；累积相关试验时间 $T=15750\text{ h}$ 。
确定无故障工作时间的分布。
按式(10)计算平均无故障工作时间的观测值：

$$\overline{\text{MTBF}} = \frac{\sum_{i=1}^r t_i}{r} = \frac{15750}{20} = 788\text{ h}$$

按式(12)计算无故障工作时间的试验均方根差：

$$S_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^r (t_i - \overline{\text{MTBF}})^2}{r - 1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{20} (t_i - 788)^2}{19}}$$

为计算 S_T 列表 6 如下：

表 6

故 障 号 r	$t_i - \overline{\text{MTBF}} = t_i - 788$	$(t_i - 788)^2$
1	-276	76176
2	-237	56169
3	-154	23716
4	-574	329476
5	68	4624
6	-278	77284
7	-368	135424
8	338	114244
9	-242	58564
10	-46	2116
11	263	69169
12	-663	439569
13	-339	114921
14	595	354025
15	-92	8464
16	-424	179776
17	1204	1449616
18	203	41209
19	659	434281
20	353	124609

$$\sum_{i=1}^{20} (t_i - 788)^2 = 4093432\text{ h}$$
$$S_T = \sqrt{\frac{4093432}{19}} = 464\text{ h}$$

按式(14)计算试验变异数：

$$\nu_T = \frac{S_T}{\overline{MTBF}} = \frac{464}{788} = 0.589$$

因为 $\nu_T > 0.35$, 根据 11.4.2 条规定采用威尔布分布, 按式(18)计算平均无故障工作时间:

$$\overline{MTBF} = K_b \sqrt{\frac{r_3}{r} \sum_{i=1}^r t_i^b}$$

r_3 由表 3 中选取, 当 $r=20$ 时, $r_3=0.85$

K_b 由表 4 选取或由图 2 查得, 当 $\nu_T=0.589$ 时, $b=1.75$, $K_b=0.89$

为计算列表 7 如下:

表 7

t	$t_i^{1.75}$	t	$t_i^{1.75}$	t	$t_i^{1.75}$	t	$t_i^{1.75}$
643	79430	551	62664	510	54733	449	43796
420	38966	214	11974	1992	593959	856	135466
742	105489	1383	313645	1141	224001	1051	194001
696	94311	364	30334	1126	218873	125	4673
1447	339484	512	55109	546	61672	991	175037

$$\sum_{i=1}^{20} t_i^{1.75} = 2837617$$

$$\overline{MTBF} = 0.89 \sqrt{\frac{0.85}{20}} \times 2837617 = 713 \text{ h}$$

确定检修寿命的分布。

按式(11)计算平均检修寿命的观测值:

$$\overline{MOL} = \frac{\sum_{j=1}^n OL_j}{n} = \frac{15750}{5} = 3150 \text{ h}$$

按式(13)计算检修寿命的试验均方根差:

$$S_L = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (OL_j - \overline{MOL})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^5 (OL_j - 3150)^2}{4}}$$

为计算 S_L 列表 8 如下:

表 8

泵号 n	OL_j	$OL_j - 3150$	$(OL_j - 3150)^2$
1	3939	789	622512
2	2512	-638	407044
3	4155	1005	1010025
4	2121	1029	1058841
5	3023	-127	1629

$$\sum_{j=1}^5 (OL_j - 3150)^2 = 3114560$$

$$S_L = \sqrt{\frac{3114560}{5-1}} = \sqrt{778640} = 882 \text{ h}$$

按式(15)计算试验变异系数:

$$v_L = \frac{S_L}{\overline{MOL}} = 882/3150 = 0.28$$

因为 $v_L < 0.35$, 根据 11.4.2 条规定采用正态分布, 按式(17)计算平均检修寿命:

$$\overline{MOL} = \overline{MOL} - \frac{t_\alpha}{\sqrt{n}} \times S_L = 3150 - \frac{t_\alpha}{\sqrt{n}} \times 882$$

$n=5$ 时由表 3 取 $\frac{t_\alpha}{\sqrt{n}} = 0.421$

$$\overline{MOL} = 3150 - 0.421 \times 882 = 2780 \text{ h}$$

记入技术文件时, MTBF 可圆整为 800 h, MOL 可圆整为 2500 h。

附加说明:

本标准由沈阳水泵研究所提出并归口。

本标准由沈阳水泵研究所负责起草。

本标准主要起草人史殿魁。

中 华 人 民 共 和 国
机 械 行 业 标 准
泵可靠性测定试验
JB/T 6881-93

机械工业部机械标准化研究所出版发行
机械工业部机械标准化研究所印刷
(北京 8144 信箱 邮编 100081)

版权专有 不得翻印

开本 880×1230 1/16 印张 $1\frac{1}{4}$ 字数 30,000
1994 年 4 月第一版 1994 年 4 月第一次印刷
印数 00,001-1000 定价 9.00 元
编号 1173