



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 21975—2008

---

## 起重及冶金用三相异步电动机 可靠性试验方法

Method of test for reliability of three-phase induction motors for crane and  
metallurgical application

2008-06-13 发布

2009-03-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言 .....	I
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语、定义及符号 .....	1
4 抽样 .....	2
5 试验准备工作 .....	2
6 加速试验 .....	2
7 试验数据处理 .....	3
附录 A (规范性附录) 随机数表及抽样数表编制方法 .....	5
附录 B (规范性附录) 样本量的确定 .....	7
附录 C (规范性附录) 电动机负载级别 .....	8
附录 D (资料性附录) 试例 .....	9

## 前 言

本标准的附录 A、附录 B、附录 C 为规范性附录,附录 D 为资料性附录。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国旋转电机标准化技术委员会起重冶金和屏蔽电机标准化分技术委员会(SAC/TC 26/SC 3)归口。

本标准起草单位:佳木斯防爆电机研究所、佳木斯电机股份有限公司、无锡市宏泰起重电机股份有限公司、南京特种电机厂有限公司、中国长江航运集团电机厂、大连伯顿冠力电机有限公司。

本标准主要起草人:章力源、李冬平、薛荣辉、胡建兴、唐庆华、李建东、于淑华。

# 起重及冶金用三相异步电动机 可靠性试验方法

## 1 范围

本标准规定了起重及冶金用三相异步电动机可靠性试验室试验方法、试验数据处理及可靠性评定。本标准适用于起重及冶金用三相异步电动机(以下简称电动机)可靠度、可靠寿命、平均寿命评定。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB 755—2000 旋转电机 定额和性能(idt IEC 60034-1:1996)

GB/T 2423.3—1993 电工电子产品基本环境试验规程 试验 Ca:恒定湿热试验方法(eqv IEC 60068-2-3:1984)

GB 10068—2000 轴中心高为 56 mm 及以上电机的机械振动 振动的测量、评定及限值(idt IEC 60034-14:1996)

JB/T 9615.1—2000 交流低压电机散嵌绕组匝间绝缘试验方法

JB/T 9615.2—2000 交流低压电机散嵌绕组匝间绝缘试验限值

JB/T 10104—1999 YZ 系列起重及冶金用三相异步电动机技术条件

JB/T 10105—1999 YZR 系列起重及冶金用绕线转子三相异步电动机技术条件

## 3 术语、定义及符号

下列术语、定义及符号适用于本标准。

### 3.1 术语及定义

#### 3.1.1

**漏判风险** leak judgment risk rate

由于抽样的原因,把本来不合格的一批产品误判为合格产品批而加以接受,导致用户蒙受损失的概率。用  $\beta$  表示。

#### 3.1.2

**正反转次数** number of forward-and reversal-direction rotation

当电动机按接近其额定转速向某一方向旋转,由于电源相序的变更使其转速经“零”后向另一方向旋转至接近其额定转速,该全过程计为正反转一次。

#### 3.1.3

**完全寿命试验** complete life test

加速试验至全部样本失效为止的寿命试验。

#### 3.1.4

**定时截尾寿命试验** timing end-off life test

事先给定某一时间(正反转次数),一批产品寿命试验至该时间即告结束;根据在此期间内的故障数

来判断产品可靠性的试验。

### 3.2 符号

- $R$ ——可靠度；  
 $t_r$ ——可靠寿命；  
 $t_s$ ——试验时间；  
 $N$ ——批产品中的总量；  
 $n$ ——样本量；  
 $r$ ——故障数；  
 $X$ ——正反转次数；  
 $C$ ——合格判定数；  
 $\psi$ ——试验条件下的加速试验系数；  
 $T$ ——平均寿命；  
 $\beta$ ——漏判风险。

## 4 抽样

- 4.1 试验样机应从生产厂成批生产的,并经检验合格的产品中随机抽样,抽样采用随机数表见附录 A(规范性附录)。
- 4.2 试验样机应是工艺相同,制造时间相近的同一型号电动机。抽样方案是根据可靠寿命  $t_r$  和它对应的可靠度  $R$ 、漏判风险  $\beta$  以及产品合格判定数  $C$  进行拟定。为了减少样本量,可使试验时间  $t_s$  大于可靠寿命  $t_r$ 。确定抽样数量可按附录 B(规范性附录)进行。

## 5 试验准备工作

- 5.1 试验前应检查电动机的质量情况,并应符合被试产品标准的规定(如 JB/T 10104—1999、JB/T 10105—1999)。
- 5.2 在定子绕组端部或机壳吊攀孔处和轴承外套(非风扇端)安装经过校正过的测温元件。在轴承内填充耐润滑脂,其填充数量应按有关技术文件规定。
- 5.3 测量定、转子绕组(绕线转子)在实际冷却状态下的直流电阻。
- 5.4 测量定、转子绕组(绕线转子)的绝缘电阻。
- 5.5 电动机空载运行 10 min,并测量惯性运行时间,做好试验记录。

## 6 加速试验

- 6.1 将被试样机施加一定的应力水平(机械的、电的、热的及湿热的)进行试验。试验要求选取的各个应力水平都高于正常工作条件下的应力水平。
- 6.2 试验是在额定电压下(允许偏差 $\pm 10\%$ )以空载下正反转运行方式进行。
- 6.3 在空载状态下测得的电动机振动速度有效值应符合表 1 的规定(见 GB 10068—2000)。如果达不到表 1 的规定,则应对转动部分人为地加入不平衡量,使其达到表 1 的规定。

表 1

机 座 号	100~132	>132~225	>225~400
振动速度有效值/(mm/s)	1.8	2.8	3.5

- 6.4 定、转子绕组温度是通过调整电动机每小时正反转次数的方式达到,但每小时正反转次数不少于 360 次。电动机定、转子绕组及轴承的试验温度应符合表 2 的规定。

表 2

绕 组			轴 承
绝缘等级(热分级)	允许极限温度/℃	试验温度/℃	试验温度(不大于)/℃
F(155)	155	180	120
H(180)	180	200	135

注 1: 做上述试验时,不允许改变电动机的结构(如取下风扇增大气隙)。额定功率大于 10 kW 的电动机,允许在转子电路中接入电阻。此电阻值应使起动转矩接近最大转矩。为保证同型号的电动机发热相同,允许堵死风扇罩通风孔。

注 2: F 级绝缘电动机适用于环境空气温度不超过 40 ℃ 的场所, H 级绝缘电动机适用于环境空气温度不超过 60 ℃ 的场所(见 GB 755—2000)。

- 6.5 试验前须校准电阻法和热传感器法测量的温度差,然后用热传感器法连续监测试验温度,试验温度差为±3 ℃。此外,须用电阻法测量绕组平均温度及用温度计法测量轴承温度,每昼夜至少一次。
- 6.6 一个试验周期内的总作用时间(电的、热的、机械的、湿热的)为 14 个昼夜。当电动机的温度达到表 2 规定的试验温度的一半时,为试验周期的起始时间,开始记录正反转次数。
- 6.7 每个试验周期结束后,按 GB/T 2423.3—1993 的规定进行恒定湿热试验,历时 24 h。
- 6.8 在第一个周期的湿热试验结束,电动机从湿热箱内取出后按 JB/T 9615.1—2000 的规定进行匝间耐电压试验,其试验限值按 JB/T 9615.2—2000 的规定。
- 6.9 按 6.7 和 6.8 试验结束后,使电动机空载运行 10 min,检查其运行情况,并测量电动机惯性运行时间。当惯性运行时间减少到原测定时间的 1/2 以下时,应更换轴承润滑脂。
- 6.10 在试验过程中,当试验样机的正反转次数低于  $0.3 \times 10^6$  出现故障时,则认为早期故障(早期失效),允许再更换一台新样机进行试验,重新记录试验时间。如果重新更换的试验样机正反转次数仍未达到  $0.3 \times 10^6$  又出现故障时,则应查明原因,采取措施解决后再进行下一步试验。
- 6.11 采用定时截尾试验时,试验进行到预先规定的正反转次数即可终止;如果采用完全寿命试验时,将试验一直进行到全部样机出现故障时为止。

7 试验数据处理

- 7.1 电动机失效时间的概率分布为指数分布。
- 7.2 电动机加速试验时间 X 以兆次正反转次数计算。X 按式(1)计算:

$$X = t_r \cdot K / \psi = t_s / \psi \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$\psi$ ——加速试验系数可根据电动机负载繁重程度按表 3 选取。电动机负载级别见附录 C(规范性附录)。

$K = t_s / t_r$  为试验时间增长系数(见附录 B(规范性附录)中的表 B.2)。

表 3

负载级别	使用条件的加速试验系数 $\psi$ / (年/兆次正反转)	
	起重用电动机	冶金用电动机
$K_L$	4.0	—
$K_N$ (基准负载)	2.0	2.6
$K_H$	1.3	1.6
$K_S$	1.15	1.4

7.3 如果在定时截尾所规定的时间  $X$  内,发生故障(失效)的电动机数量  $r \leq C$  时,则说明符合预先规定的可靠度。

7.4 如果在定时截尾所规定的时间  $X$  内,发生故障(失效)的电动机数量  $r > C$  时,则应重新确定一个  $r$  等于  $C$  的试验时间  $X'$ ,可验证可靠寿命  $t_r$ 。按式(2)计算:

$$t_r = \phi X' / K \quad \dots\dots\dots (2)$$

7.5 平均寿命  $X$ (以正反转次数计算的平均无故障工作时间)按式(3)计算:

$$X = \sum_{i=1}^n X_i / n (\text{兆次正反转}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$n$ ——被试样机总台数;

$X_i$ ——第  $i$  台电动机故障前的工作时间(兆次正反转)。

7.6 平均寿命的置信上限值与下限值的确定,按式(4)、式(5)计算:

$$\text{上限值: } X_u = Q_u \cdot X (\text{兆次正反转}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{下限值: } X_L = Q_L \cdot X (\text{兆次正反转}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中的  $Q_u$ 、 $Q_L$  是置信度等于 0.9 时的置信界限系数,按表 4 选取。

表 4

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q_u$	9.5	3.7	2.73	2.29	2.05	1.90	1.80	1.72	1.66
$Q_L$	0.43	0.51	0.57	0.60	0.62	0.65	0.66	0.68	0.69
$n$	10	11	12	13	14	15	20	25	30
$Q_u$	1.61	1.57	1.53	1.50	1.48	1.46	1.37	1.33	1.29
$Q_L$	0.70	0.708	0.717	0.725	0.738	0.74	0.77	0.79	0.80

7.7 以年计算的平均寿命的置信上限值与下限值,按式(6)、式(7)计算:

$$\text{上限值: } T_u = \phi \cdot X_u (\text{年}) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{下限值: } T_L = \phi \cdot X_L (\text{年}) \quad \dots\dots\dots (7)$$

## 附 录 A

(规范性附录)

## 随机数表及抽样数表编制方法

利用表 A.1 随机数表编制抽样数表。

被试的一批产品应当按顺序排列起来,并假定从 0 编到  $N-1$ ,从随机数表中取数量与一批被试产品数量相符合标记数。例如一批被试产品数  $N$  为 1001~10 000 则取四位数。若被试产品数量  $N$  为 101~1 000,则取三位数,这三位数是用去掉表上(四位数)左边或右边一个数字的方法取得的。

挑选符合表列数码的样品,直至  $n$  台编制成一个抽样表。这时大于  $N-1$  的数或重复的数去掉。

表中数字的选择顺序可按任一规则选择。例如:从表中选任一数向下顺序经任一数向上连续选择。

表 A.1

2 182	1 666	7 373	4 982	2 368	0 079	8 768	8 409	2 949	4 751
1 549	8 441	3 351	3 079	0 026	5 609	9 172	4 284	2 793	1 333
5 118	4 796	7 035	2 010	3 449	7 070	3 543	3 812	8 478	3 696
6 348	3 420	6 583	7 520	4 909	4 748	0 896	3 758	6 368	9 968
3 309	4 853	4 021	8 644	3 980	1 093	8 312	0 310	1 512	0 178
2 050	3 603	1 812	4 020	6 573	9 818	4 719	8 187	8 589	8 807
6 817	6 736	4 591	9 037	2 949	5 690	7 934	8 875	9 796	0 520
8 310	3 044	0 433	1 322	7 664	0 943	8 798	6 149	5 385	2 884
7 505	7 670	1 848	5 173	2 146	2 166	5 084	9 117	0 199	7 127
5 637	5 325	9 367	5 935	3 191	6 702	2 902	6 365	7 014	6 121
8 251	3 537	5 139	5 050	1 516	3 208	4 252	1 361	8 838	6 770
6 129	7 391	0 429	2 836	5 284	9 692	1 021	2 415	6 337	6 060
1 311	4 847	2 317	3 561	4 533	1 211	1 918	0 260	7 193	7 603
5 151	2 477	3 250	7 859	1 764	3 230	7 073	1 890	4 899	6 533
4 245	4 289	9 301	4 788	3 937	5 969	3 070	6 557	9 925	1 969
3 395	7 157	1 084	0 561	8 388	2 613	9 025	2 836	8 493	8 207
6 542	9 575	7 896	7 029	4 986	4 161	6 224	4 184	2 633	2 736
8 068	1 543	2 019	3 678	9 248	7 061	3 847	9 508	4 528	1 226
3 370	3 863	4 713	4 726	7 010	1 575	3 209	9 070	0 644	3 614
9 306	0 691	3 221	3 010	5 948	5 318	1 959	4 783	1 810	2 020
2 166	2 583	6 878	3 080	6 318	0 312	7 739	9 374	4 788	4 350
6 844	3 518	1 638	7 438	6 106	7 406	4 238	4 279	6 206	1 899
1 479	7 233	3 827	9 134	1 023	3 310	2 487	3 926	2 233	8 260
6 432	6 329	1 364	1 015	3 892	1 289	8 504	0 911	2 001	5 804
0 485	7 584	6 030	2 040	8 568	5 930	3 361	6 743	5 995	4 194
3 603	9 141	3 778	1 939	2 596	8 792	5 513	5 583	6 103	9 872
6 736	5 786	4 356	9 390	7 245	5 485	4 035	2 643	3 089	4 991
3 044	9 355	5 064	6 508	6 771	6 655	7 354	1 903	6 909	9 976
7 670	6 721	2 387	4 220	9 357	1 590	3 309	2 555	9 334	3 869
5 325	7 972	3 664	8 187	2 040	9 122	9 301	4 741	0 683	0 253
3 537	8 129	6 485	3 472	3 915	7 575	7 513	0 431	9 659	8 204
7 391	3 452	6 919	3 520	1 417	6 632	8 145	7 080	3 287	3 336
2 066	3 343	8 506	9 336	8 366	2 452	1 224	0 260	4 158	3 735
5 120	2 905	3 163	6 449	2 833	3 736	2 412	9 066	8 663	5 408
4 058	0 542	7 260	9 652	0 310	5 659	4 145	2 452	3 340	5 504
6 494	8 057	7 173	5 735	3 592	5 945	6 473	7 475	9 696	2 861
2 268	6 361	7 078	7 995	8 010	2 760	8 276	6 593	3 346	7 244
6 350	5 108	3 033	3 546	0 827	8 015	4 970	1 574	1 636	6 966
5 611	7 390	2 421	9 873	9 796	6 245	3 108	9 344	4 513	0 218
3 539	6 208	9 450	7 613	4 591	6 667	2 966	0 873	0 582	7 541



表 A.1 (续)

5 841	0 528	4 948	3 849	4 894	2 195	1 160	4 756	6 503	1 341
7 645	6 476	1 022	3 393	5 062	7 012	6 355	5 557	2 070	5 013
2 173	0 511	7 104	6 753	6 484	1 816	5 453	8 893	3 695	4 625
2 070	8 506	9 126	4 729	1 798	4 378	2 940	2 861	4 690	5 711
3 668	4 930	9 203	0 248	8 489	5 108	7 369	7 804	6 732	3 310
2 040	4 353	8 415	4 506	3 644	9 128	7 183	8 966	8 292	9 768
7 784	0 734	7 174	2 648	6 464	5 803	8 205	2 398	5 607	0 046
9 748	9 925	4 961	6 179	0 922	8 314	2 891	9 541	2 529	6 572
2 971	3 390	4 915	8 231	6 403	4 839	2 512	0 938	0 233	7 302
5 901	5 420	9 443	8 654	5 492	4 212	3 052	4 238	4 210	6 860

**附 录 B**  
(规范性附录)  
**样本量的确定**

根据  $\beta$  和  $R$  查表 B.1 和 B.2 确定样本量。

表 B.1

$R$ 或 $R(t_s)$		0.95	0.93	0.91	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70
$\beta$	$c$	$n$							
0.1	0	45	32	24	22	14	10	8	7
	1	76	54	42	37	24	18	14	11
0.2	0	31	22	17	15	10	7	6	5
	1	59	42	32	29	19	14	11	9
0.3	0	23	17	13	11	8	6	—	—
	1	48	34	26	24	16	12	9	8
0.4	0	17	13	10	8	7	5	—	—
	1	41	29	23	21	14	10	8	7

注:如果  $R$  与表中值不一致时,则  $n'$  值可用内插法确定,即按式(B.1)计算:

$$n' = (1 - R)/(1 - R') \cdot n \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$n'$ ——当可靠度为  $R(t_s)$  时的样本量;

$R'$ ——最接近  $R(t_s)$  的表中可靠度数值。

表 B.2

$R$	0.95	0.93	0.91	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70
$K$	$R(t_s)$							
0.1	0.994 9	0.992 8	0.990 6	0.989 5	0.983 9	0.977 9	0.971 6	0.965 0
0.5	0.974 7	0.964 4	0.953 9	0.948 7	0.922 0	0.894 4	0.866 0	0.836 7
1.0	0.950 0	0.930 0	0.910 0	0.900 0	0.850 0	0.800 0	0.750 0	0.700 0
1.2	0.940 3	0.916 6	0.893 0	0.881 2	0.823 2	0.765 1	0.708 1	0.651 8
1.5	0.925 9	0.896 9	0.868 1	0.853 8	0.783 7	0.715 5	0.649 5	0.595 7
2.0	0.902 5	0.864 9	0.828 1	0.810 0	0.722 5	0.640 0	0.562 5	0.470 0
2.5	0.879 6	0.834 0	0.790 0	0.768 2	0.666 0	0.572 4	0.487 1	0.410 0

注:如果  $t_s/t_r$  等于  $K$  值,与表值不一致,则  $R(t_s)$  可用插值法计算[按式(B.2)计算]。

$$R(t_s) = R(K't_r) - \{[R(K't_r) - R(K''t_r)]/(K' - K'')\} \cdot (K - K') \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

$K'$ ——略小于  $K$  的表中值;

$K''$ ——略大于  $K$  的表中值;

$R(K't_r)$ ——对应  $K'$  的可靠度;

$R(K''t_r)$ ——对应  $K''$  的可靠度。

附 录 C  
(规范性附录)  
电动机负载级别

根据电动机负载状况按表 C.1 确定负载级别。

表 C.1

负载级别	在使用条件下 每小时等效 起动次数	利用系数			负载持续率/ %	环境温度/ ℃
		负载能力 $K_f$	时 间			
			年 $K_y$	天 $K_d$		
$K_L$	60	1.00	—	—	—	25
		0.75	—	—	—	
		0.50	0.25	0.33	15	
		0.25	0.50	0.67	15	
		0.10	1.00	1.00	25	
$K_N$ (基准负载)	120	1.00	1.00	0.67	15	25
		0.75	0.50	0.33	25	
		0.50	0.50	0.67	25	
		0.25	1.00	1.00	40	
		0.10	1.00	1.00	60	
$K_H$	240	1.00	1.00	0.67	25	25
		1.00	1.00	0.33	40	
		0.75	0.75	0.67	40	
		0.50	1.00	1.00	40	
		0.25	1.00	1.00	60	
$K_S$	300~600	1.00	1.00	1.00	40	45
		0.75	1.00	1.00	60	
		0.50	1.00	1.00	60	
		0.25	1.00	1.00	60	
		1.00	1.00	1.00	60	

注:  $K_y$ ——电机年利用系数(式 C. 1);

$K_y = \text{每年电动机工作日} / 365 \dots\dots\dots (\text{C. 1})$

$K_d$ ——电动机日利用系数(式 C. 2);

$K_d = \text{每日工作小时} / 24 \dots\dots\dots (\text{C. 2})$

$K_f$ ——电动机负载能力利用系数(式 C. 3);

$K_f = Q_v / Q_n \dots\dots\dots (\text{C. 3})$

式中:

$Q_v$ ——每班平均负载;

$Q_n$ ——每班额定负载。

附录 D  
(资料性附录)  
试 例

D.1 对某电机厂 YZR 系列电动机进行可靠性验证试验,根据产品标准的规定及该产品可靠性考核细则,确定如下参数。

可靠寿命  $t_r=2.5$ (年)  
可靠度  $R=0.93$   
漏判风险  $\beta=0.3$   
合格判定数  $C=0$   
电动机负载  $K_N$  为基准负载。

D.2 抽样

根据附录 B(规范性附录)表 B.1 的数值,当  $\beta=0.3, R=0.93, C=0$  时,样本量  $n$  应为 17,为减少样本量,拟延长试验时间  $t_s$ ,取  $t_s=1.3, t_r=3.25$ (年)。

按附录 B(规范性附录)表 B.2,当  $R=0.93$  时,  $K=1.3$ , 则

$$\begin{aligned} R(t_s) &= R(1.2t_r) - \{[R(1.2t_r) - R(1.5t_r)]/(1.5 - 1.2)\} \times (1.3 - 1.2) \\ &= 0.916\,6 - [(0.916\,6 - 0.896\,9)/0.3] \times 0.1 \\ &= 0.91 \end{aligned}$$

按附录 B(规范性附录)中表 B.1 及表 B.2 求得样本量为:

$$\begin{aligned} n &= [(1 - 0.91)/(1 - 0.93)] \cdot n' \\ &= (0.09/0.07) \cdot n' \\ n' &= 17/1.3 = 13 \end{aligned}$$

根据工厂成品库存情况,按附录 A(规范性附录)抽样数表随机抽取 YZR160M-6,11 kW-6P,F 级绝缘共 13 台。

D.3 加速试验及数据处理

D.3.1 电动机加速试验时间(按正反转启动次数计)  $X$ :

$$X = t_s/\psi = t_r \cdot K/\psi = 2.5 \times 1.3/2 \times 10^{-6} = 1.625 \times 10^6 \text{ (次正反转)}$$

$\psi$  为加速试验系数,按表 3 查取,对中载起重用电动机取  $\psi=2.0$ (年/ $10^6$  次)。

D.3.2 试验数据如表 D.1。

表 D.1

序 号	平均寿命 $X_i$ (兆次正反转)	电动机工作号	发生故障原因
1	3.549	3CY116-11	轴承故障
2	1.822	3CY116-20	转子破压
3	2.249	3CY116-19	转子匝间短路
4	2.762	3G2011-2-5	定子线圈短路
5	2.268	3CY116-19	转子集电环引线断
6	1.945	3CY116-15	轴承的支架脱落
7	4.439	3G2011-2-5	轴承的支架脱落
8	2.183	3CY116-2	集电环烧损

表 D.1 (续)

序 号	平均寿命 $X_i$ (兆次正反转)	电动机工作号	发生故障原因
9	4.195	3CY116-18	轴承的支架脱落
10	2.024	3CY116-13	轴承滚道损坏
11	2.426	3G2011-2-2	转子破压
12	2.923	3CY116-8	转子短路扫堂
13	3.901	3CY116-12	风扇的松动

所有投入试验的电动机,加速试验正反转次数  $X_i$  都大于 1.625。因此证明拟定的  $C$  等于 0,可靠度  $R$  等于 0.93 是可达到的。

### D.3.3 平均寿命为:

$$X = \sum_{i=1}^n X_i / n = (3.549 + 1.822 + 2.249 \cdots + 3.901) / 13 = 2.822 (\text{兆次正反转})$$

平均寿命置信上限与下限如下:

$$X_u = Q_u \cdot X = 1.50 \times 2.822 = 4.233 (\text{兆次正反转})$$

$$X_L = Q_L \cdot X = 0.725 \times 2.822 = 2.046 (\text{兆次正反转})$$

式中:

$$Q_u = 1.50;$$

$$Q_L = 0.725; \text{取于表 4。}$$

平均寿命的置信上、下限值:

$$\text{上限值 } T_u = \psi \cdot X_u = 2.0 \times 4.233 = 8.466 (\text{年})$$

$$\text{下限值 } T_L = \psi \cdot X_L = 2.0 \times 2.046 = 4.092 (\text{年})$$