

中华人民共和国国家标准

设备可靠性试验 恒定失效率假设下的失效率与 平均无故障时间的验证试验方案

UDC 621.3-192.001
.4:001.5
:519.2
GB 5080.7-86
IEC 605-7-1978

Equipment reliability testing
Compliance test plans for failure rate
and mean time between failures
assuming constant failure rate

1 范围

本部分假定相邻失效间时间（对可修复设备）或失效前时间（对不可修复设备）的统计分布是服从指数分布的，即失效率为常数。

在上述条件下，本部分的统计试验方案适用于以平均无故障时间、失效前平均时间及失效率为可靠性特征的可靠性验证试验。

本部分结合GB 5080.1-86《设备可靠性试验 总要求》一起使用。

本部分等同采用IEC 605-7《设备可靠性试验 第7部分：恒定失效率假设下的失效率与平均无故障时间的验证试验方案》。

2 有关的可靠性特征

本部分的基本可靠性特征是平均无故障时间。时间是指所有受试设备的累积相关试验时间。时间可置换为距离、循环次数或其它适用于受试设备的量或单位。失效数是指试验过程中出现的累积相关失效数。具体的可靠性试验应对可以计人的相关试验时间及相关失效数加以明确的规定。

试验方案中的符号“ m ”代表基本的可靠性特征。

失效前平均时间及失效率等可靠性特征按下述规则换算为平均无故障时间。因此，本部分的试验方案完全适用于这些特征。

可靠性特征为平均无故障时间MTBF时：

$$MTBF = m$$

可靠性特征为（首次）失效前平均时间 m_p 或MTTF时：

$$m_p = MTTF = m$$

可靠性特征为失效率 λ 时：

$$\frac{1}{\lambda} = m$$

3 统计试验方案及一般试验程序

3.1 试验方案的类型

试验方案有二种类型：

截尾序贯试验方案，见第4章；

定时（定数）截尾试验方案，见第5章。

详细的可靠性试验规范应指出采用何种类型的试验方案, GB 5080·1—86 7.3.1款给出了选择试验方案类型的指南。类型的选择还取决于技术方面所具备的条件,如试验过程中监测受试产品性能的可能性(见GB 5080·1—86的9.1条)及可用于试验的总时间。

第4章及第5章给出了各试验方案,方案是以图表形式表示的,并以图的形式同时给出了相应的工作特性曲线(接收概率相对于实际的平均无故障时间)及作出判定的期望相关试验时间。

3.2 一般试验程序

从给定的产品总体中随机地抽取规定数量的设备,投入规定的试验过程,并按GB 5080·1—86的9.5和9.2条记录和逐次累积所有受试产品的相关试验时间和相关失效数。可修复产品失效时,失效产品应按GB 5080·1—86第10.1条进行修复并投入试验。相关试验时间的计算与受试产品经历的时间(总时间)是无关的。相关试验时间和相关失效数应累积到按所选择的序贯试验方案能作出判定为止,或按所选择的定时定数截尾试验方案达到截尾条件为止。累积相关试验时间的理解应以GB 3187—82《可靠性基本名词术语及定义》为准。其计算方法如本部分3.3条所示。

3.3 累积相关试验时间的计算

各受试产品的相关试验时间可用受试产品上各自的计时器记录时,第 k 次失效时的累积相关试验时间应是所有计时器读数之和。即

$$T_k = \sum_{m=1}^n t_{k,m}$$

式中: n ——受试产品总数;

$t_{k,m}$ ——到第 k 次失效时,受试产品中第 m 号受试产品的相关试验时间的读数。

在判定点上未出现失效时的累积相关试验时间 T^* 为:

$$T^* = \sum_{m=1}^n t_m^*$$

式中: t_m^* ——到判定点时,第 m 号受试产品的相关试验时间的读数。

若用其它方法记录相关试验时间,则第 k 次失效时的累积相关试验时间 T_k 应用下述迭代公式计算。它包括到第 $k-1$ 次失效的累积相关试验时间及第 $k-1$ 次失效到第 k 次失效间的累积相关试验时间。

$$T_k = T_{k-1} + \sum_{m=1}^n \sum_j t_{m,j}$$

式中: n ——受试产品总数;

$t_{m,j}$ ——第 $k-1$ 次失效后受试产品中第 m 号受试产品的第 j 个周期的相关试验时间。

第 $k-1$ 次失效或其它技术或管理原因可能引起间断,不同受试产品的间断次数可能各不相同。

图1进一步说明了相关试验时间的周期编号。

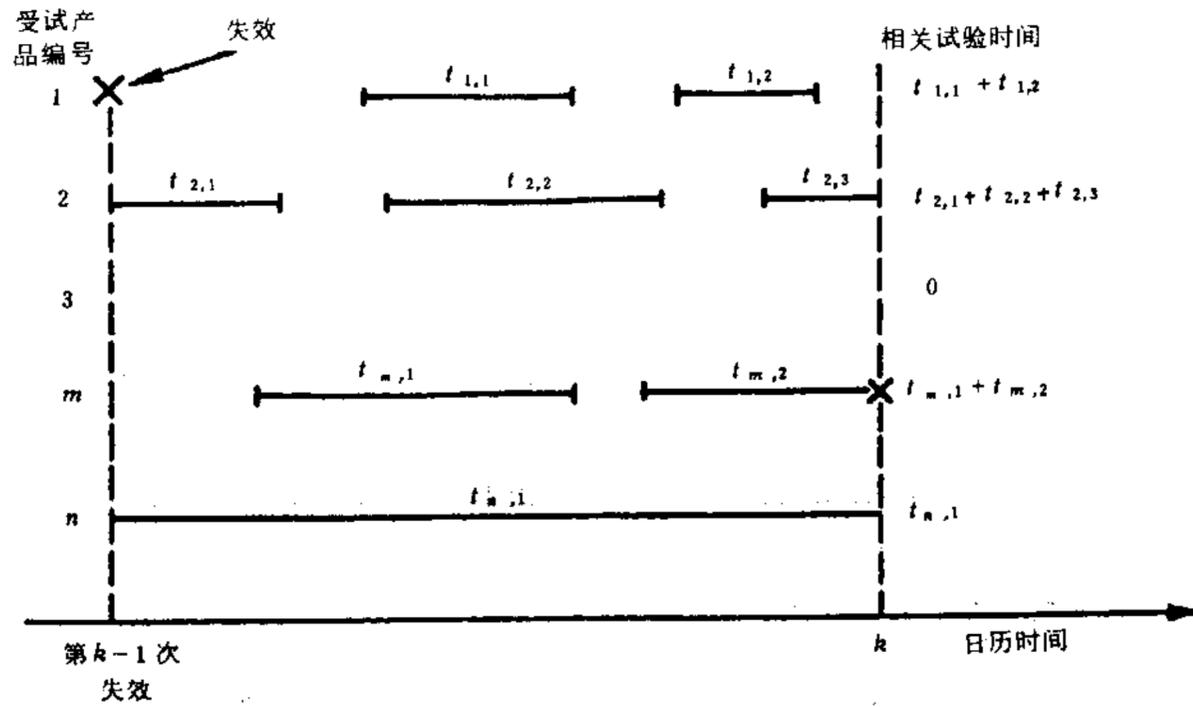


图 1 相关试验时间的周期编号
在判定点上未出现失效时的累积相关试验时间 T^* 为:

$$T^* = T_r + \sum_{m=1}^n \sum_j t_{m,j}$$

式中: T_r ——在判定点之前最后一次失效时的累积相关试验时间;

$t_{m,j}$ ——最后一次失效后受试产品中第 m 号受试产品的第 j 个周期的相关试验时间。

上述公式也适用于受试产品是不可修复的设备, 只是各受试产品在首次失效后就没有相关试验时间。

4 序贯试验方案

本章叙述优先选用的截尾序贯试验方案(包含工作特性曲线及作出判定的期望相关试验时间)。

4.1 序贯试验方案的特征

序贯试验方案的特征由下列表示:

m_0 = 规定可接受的平均无故障时间;

α = 生产方风险;

β = 使用方风险;

D_m = 平均无故障时间的鉴别比。

生产方风险 α 是当实际的 $m = m_0$ 时, 设备被拒收的概率。

使用方风险 β 是当实际的 $m = m_1$ 时, 设备被接收的概率。这里 m_1 是不可接受的平均无故障时间。

平均无故障时间的鉴别比在这里的定义是: $D_m = m_0 / m_1$ 。

4.2 序贯试验方案的表与图

下表列出了本部分给出的序贯试验方案。

表 1 序贯试验方案

| 方 案 编 号 | 方 案 的 特 征 | | | $m = m_0$ 时作出判定的期望时间 | 实际风险, % | |
|------------|-----------|---------|-------|----------------------|-----------|-----------|
| | 标称值, % | | D_m | m_0 的倍数 | $m = m_0$ | $m = m_1$ |
| | α | β | | | α' | β' |
| 4 : 1 | 10 | 10 | 1.5 | 17.3 | 11.5 | 12.5 |
| 4 : 2 | 10 | 10 | 2 | 5.1 | 12.8 | 12.8 |
| 4 : 3 | 10 | 10 | 3 | 2.0 | 11.1 | 10.9 |
| 4 : 4 | 10 | 10 | 5 | 0.6 | 12.4 | 13.0 |
| 4 : 5 | 20 | 20 | 1.5 | 7.6 | 22.7 | 23.2 |
| 4 : 6 | 20 | 20 | 2 | 2.4 | 22.3 | 22.5 |
| 4 : 7 | 20 | 20 | 3 | 1.1 | 18.2 | 19.2 |
| 4 : 8 | 30 | 30 | 1.5 | 3.4 | 31.9 | 32.8 |
| 4 : 9 | 30 | 30 | 2 | 1.3 | 29.3 | 29.9 |
| 4 : 10 | 35 | 40 | 1.25 | 5.0 | 36.3 | 39.7 |

注：① 实际风险 α' 与 β' 偏离标称的 α 与 β 是由于试验方案中采用近似与截尾所致。

② 在试验期间或在不超过试验周期和监测区间（见GB 5080.1—86第8.1条和9.1条）中，累积相关试验时间及相关失效数应经常地与接收和拒收标准进行比较。

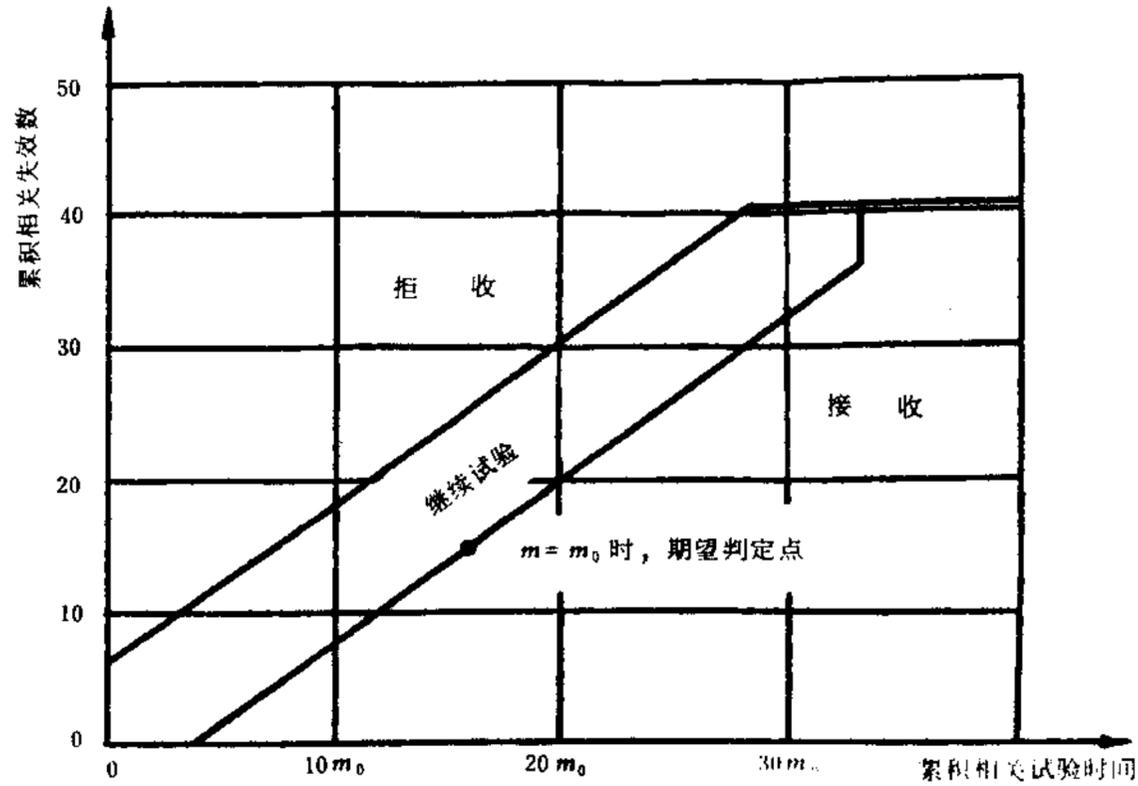


图 2 试验方案4:1 ($\alpha = 0.10, \beta = 0.10, D_m = 1.5$)

表 2 试验方案4:1

| 相关失效数 | 累积相关试验时间 (m_0 的倍数) | | 相关失效数 | 累积相关试验时间 (m_0 的倍数) | |
|-------|-----------------------|---------------|-------|-----------------------|---------------|
| | 拒收 (等于或小于) | 接收 (等于或大于) | | 拒收 (等于或小于) | 接收 (等于或大于) |
| 0 | | 4.40 | 21 | 12.61 | 21.43 |
| 1 | — | 5.21 | 22 | 13.42 | 22.24 |
| 2 | — | 6.02 | 23 | 14.23 | 23.05 |
| 3 | — | 6.83 | 24 | 15.04 | 23.86 |
| 4 | — | 7.64 | 25 | 15.85 | 24.67 |
| 5 | — | 8.45 | 26 | 16.66 | 25.48 |
| 6 | 0.45 | 9.27 | 27 | 17.47 | 26.29 |
| 7 | 1.26 | 10.08 | 28 | 18.29 | 27.11 |
| 8 | 2.07 | 10.89 | 29 | 19.10 | 27.92 |
| 9 | 2.88 | 11.70 | 30 | 19.90 | 28.73 |
| 10 | 3.69 | 12.51 | 31 | 20.72 | 29.54 |
| 11 | 4.50 | 13.32 | 32 | 21.53 | 30.35 |
| 12 | 5.31 | 14.13 | 33 | 22.34 | 31.16 |
| 13 | 6.12 | 14.94 | 34 | 23.15 | 31.97 |
| 14 | 6.93 | 15.75 | 35 | 23.96 | 32.72 |
| 15 | 7.74 | 16.56 | 36 | 24.77 | 33.00 |
| 16 | 8.55 | 17.37 | 37 | 25.58 | 33.00 |
| 17 | 9.37 | 18.19 | 38 | 26.39 | 33.00 |
| 18 | 10.18 | 19.00 | 39 | 27.21 | 33.00 |
| 19 | 10.99 | 19.81 | 40 | 28.02 | 33.00 |
| 20 | 11.80 | 20.62 | | | |

注：相关失效数大于等于41，一律拒收。

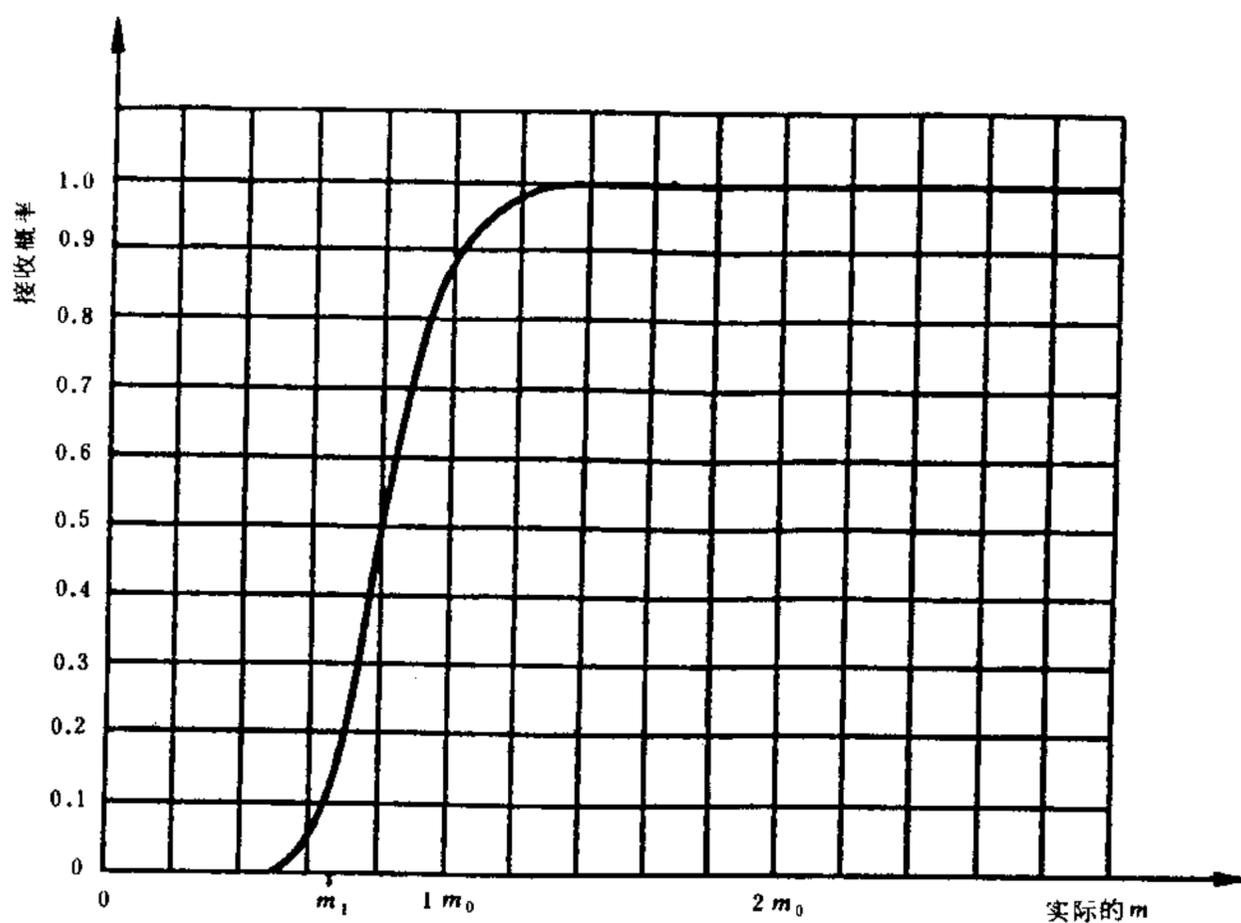


图 3 试验方案4:1工作特性曲线

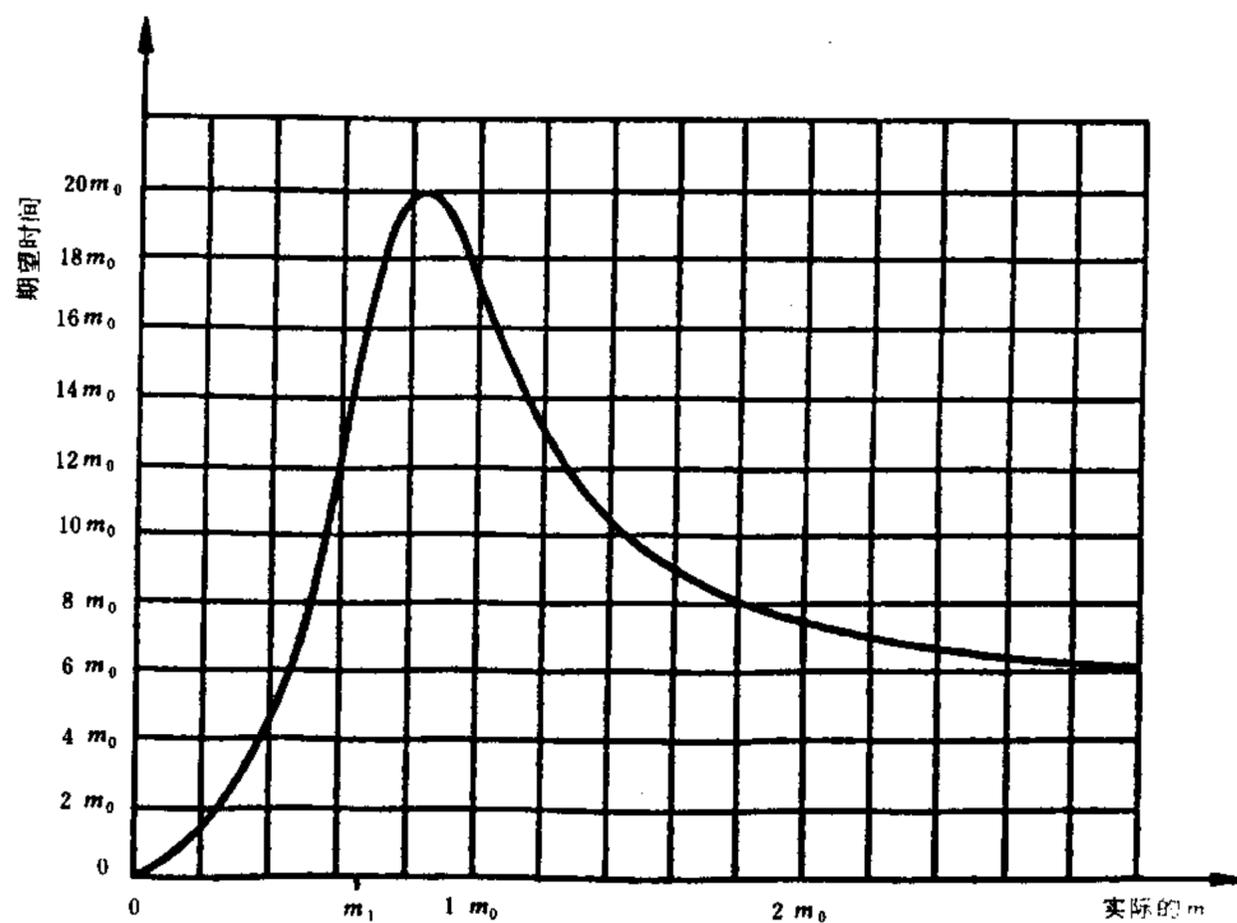


图 4 试验方案4:1判定的期望相关试验时间

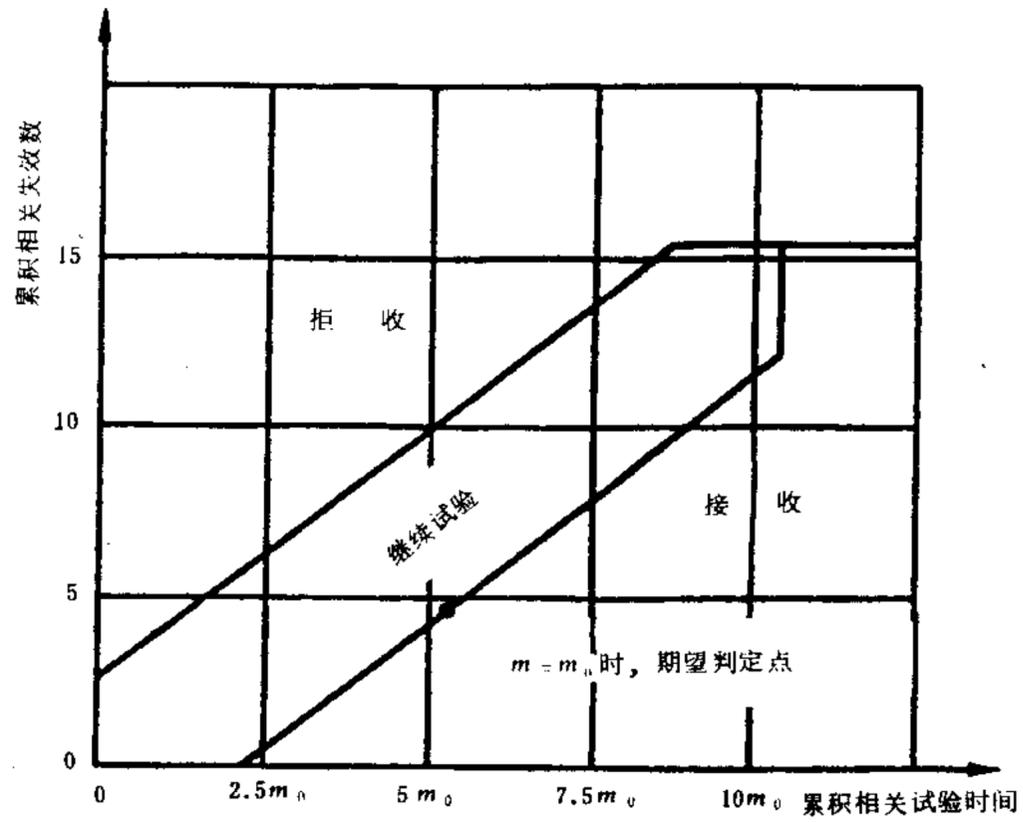


图 5 试验方案4:2 ($\alpha = 0.10, \beta = 0.10, D_m = 2.0$)

表 3 试验方案4:2

| 相关失效数 | 累积相关试验时间 (m_0 的倍数) | |
|-------|-----------------------|----------------|
| | 拒 收 (等于或小于) | 接 收 (等于或大于) |
| 0 | — | 2.20 |
| 1 | — | 2.89 |
| 2 | — | 3.59 |
| 3 | 0.35 | 4.28 |
| 4 | 1.04 | 4.97 |
| 5 | 1.74 | 5.67 |
| 6 | 2.43 | 6.36 |
| 7 | 3.12 | 7.05 |
| 8 | 3.82 | 7.75 |
| 9 | 4.51 | 8.44 |
| 10 | 5.20 | 9.13 |
| 11 | 5.90 | 9.83 |
| 12 | 6.59 | 10.30 |
| 13 | 7.28 | 10.30 |
| 14 | 7.97 | 10.30 |
| 15 | 8.67 | 10.30 |

注：相关失效数大于等于16，一律拒收。

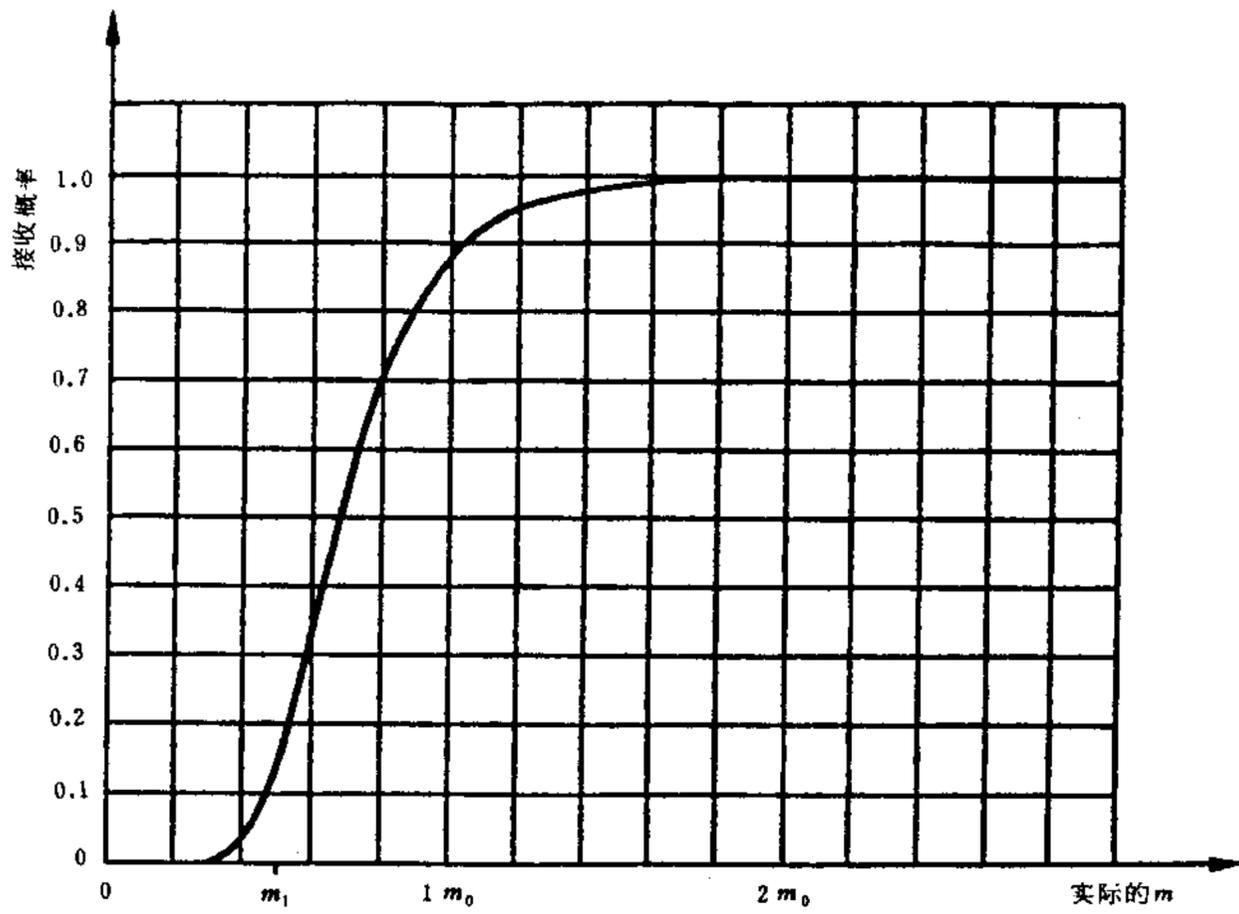


图 6 试验方案4:2工作特性曲线

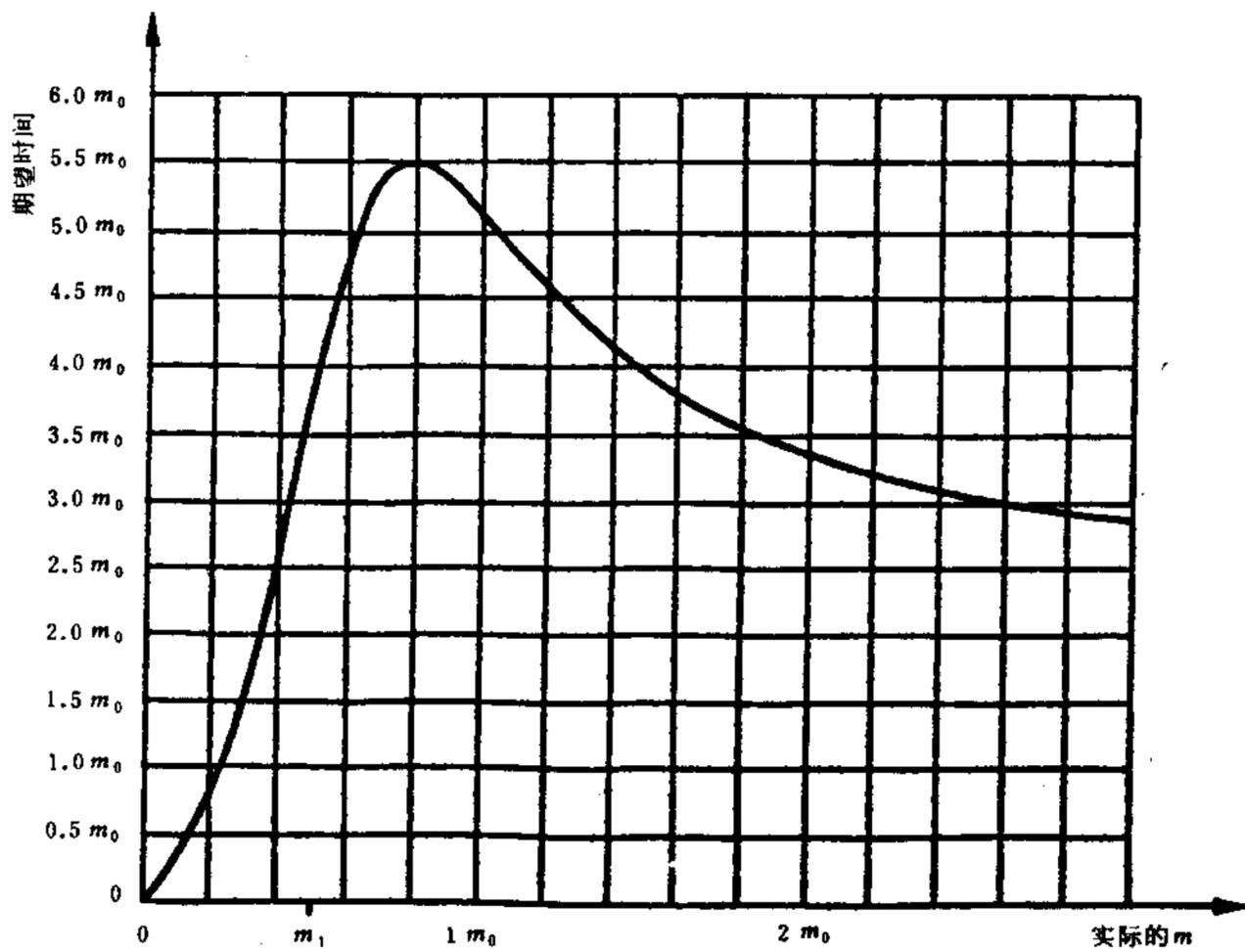


图 7 试验方案4:2判定的期望相关试验时间

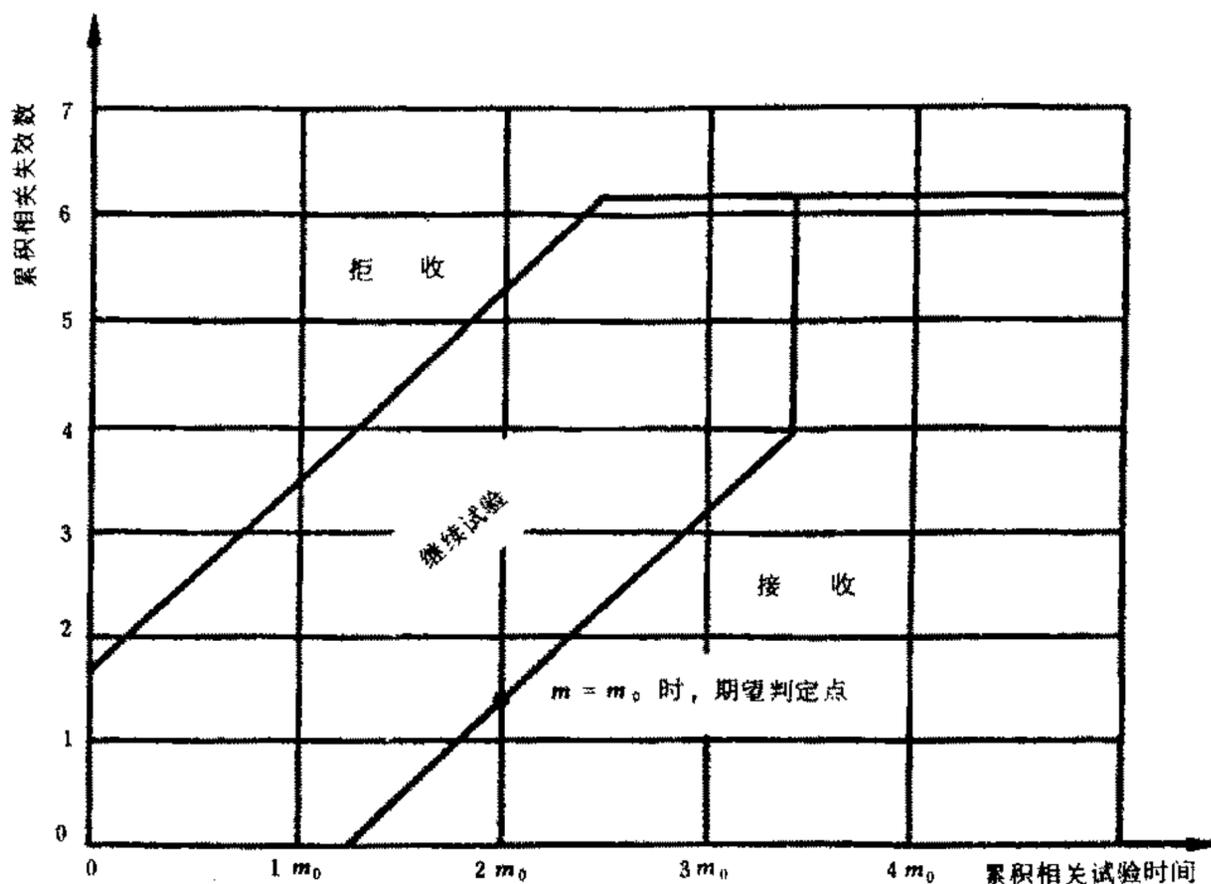


图 8 试验方案4:3 ($\alpha = 0.10, \beta = 0.10, D_m = 3.0$)

表 4 试验方案4:3

| 相关失效数 | 累 积 相 关 试 验 时 间 (m_0 的 倍 数) | |
|-------|--------------------------------|----------------|
| | 拒 收 (等于或小于) | 接 收 (等于或大于) |
| 0 | — | 1.25 |
| 1 | — | 1.80 |
| 2 | 0.19 | 2.35 |
| 3 | 0.74 | 2.90 |
| 4 | 1.29 | 3.45 |
| 5 | 1.84 | 3.45 |
| 6 | 2.39 | 3.45 |

注：相关失效数大于等于7，一律拒收。

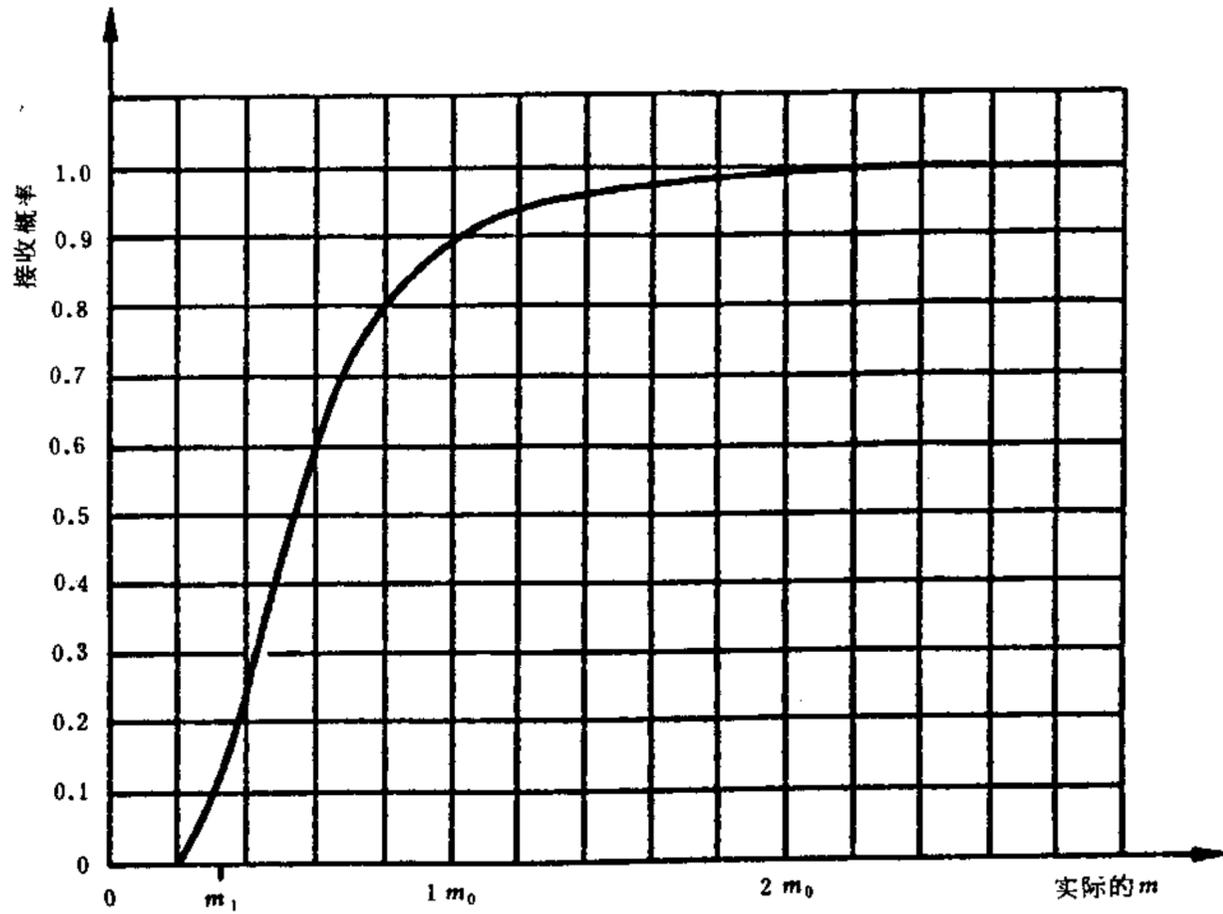


图 9 试验方案4:3工作特性曲线

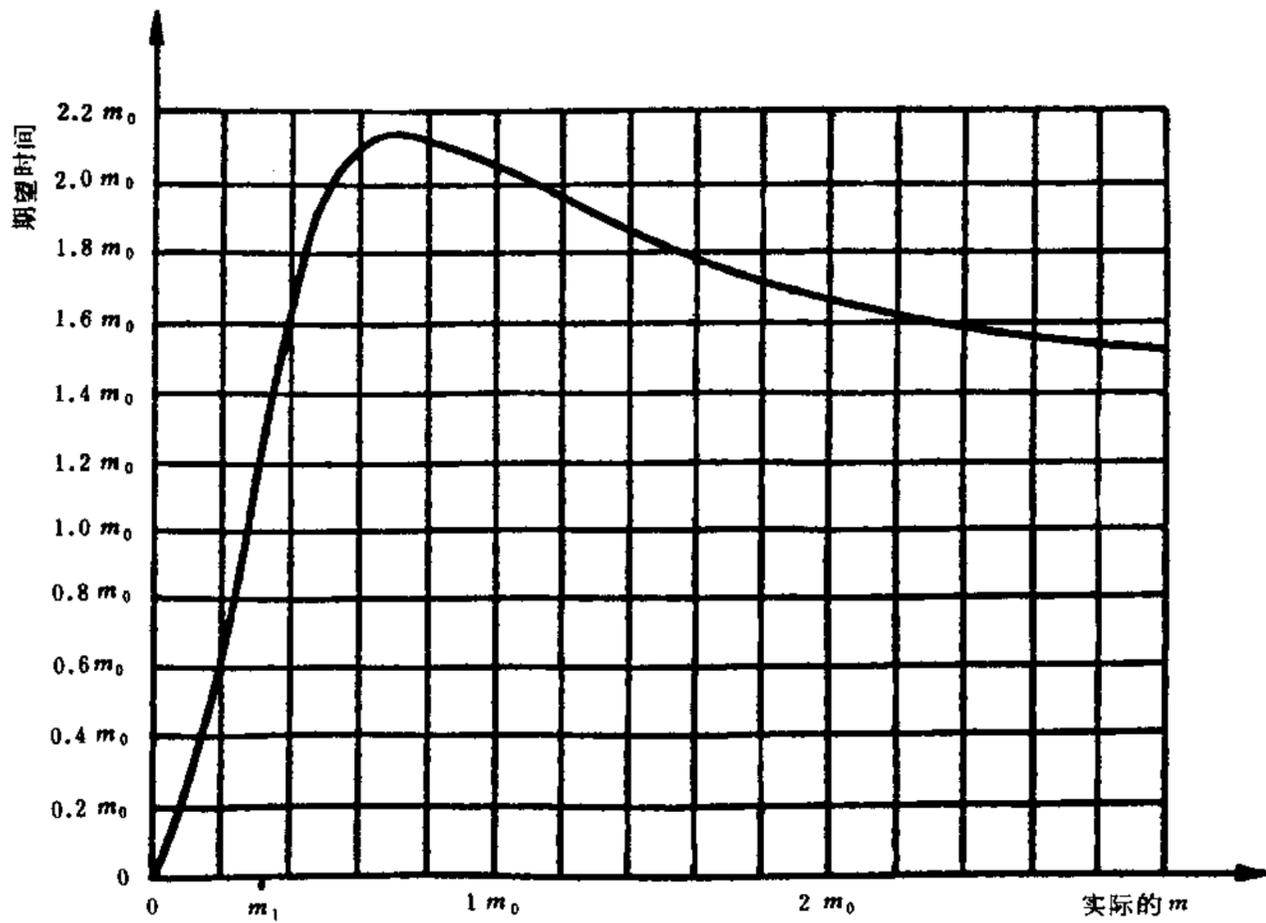


图 10 试验方案4:3判定的期望相关试验时间

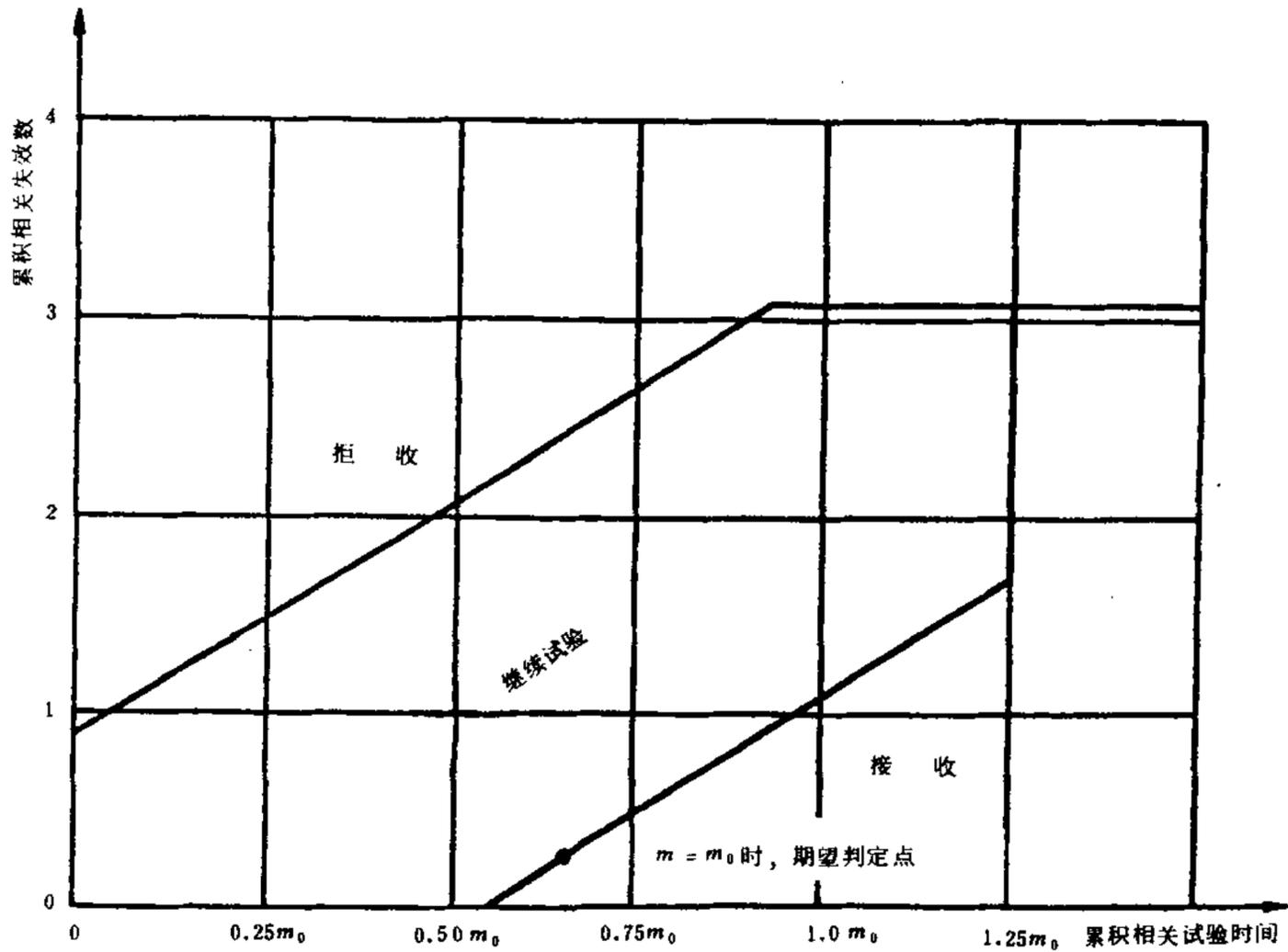


图 11 试验方案4:4 ($\alpha=0.10, \beta=0.10, D_m=5.0$)

表 5 试验方案4:4

| 相关失效数 | 累积相关试验时间 (m_0 的倍数) | |
|-------|-----------------------|----------------|
| | 拒 收 (等于或小于) | 接 收 (等于或大于) |
| 0 | — | 0.55 |
| 1 | 0.04 | 0.95 |
| 2 | 0.44 | 1.25 |
| 3 | 0.85 | 1.25 |

注：相关失效数大于等于4，一律拒收。

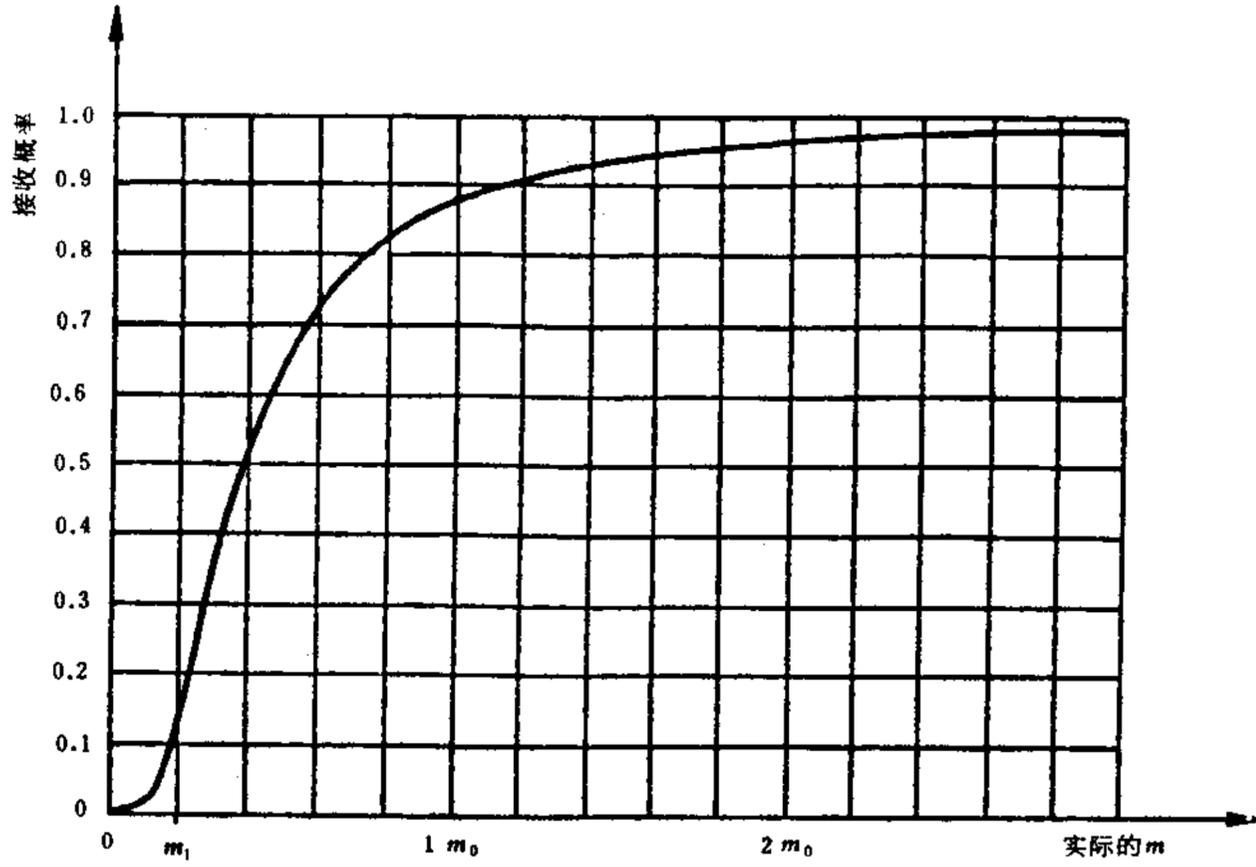


图 12 试验方案4:4工作特性曲线

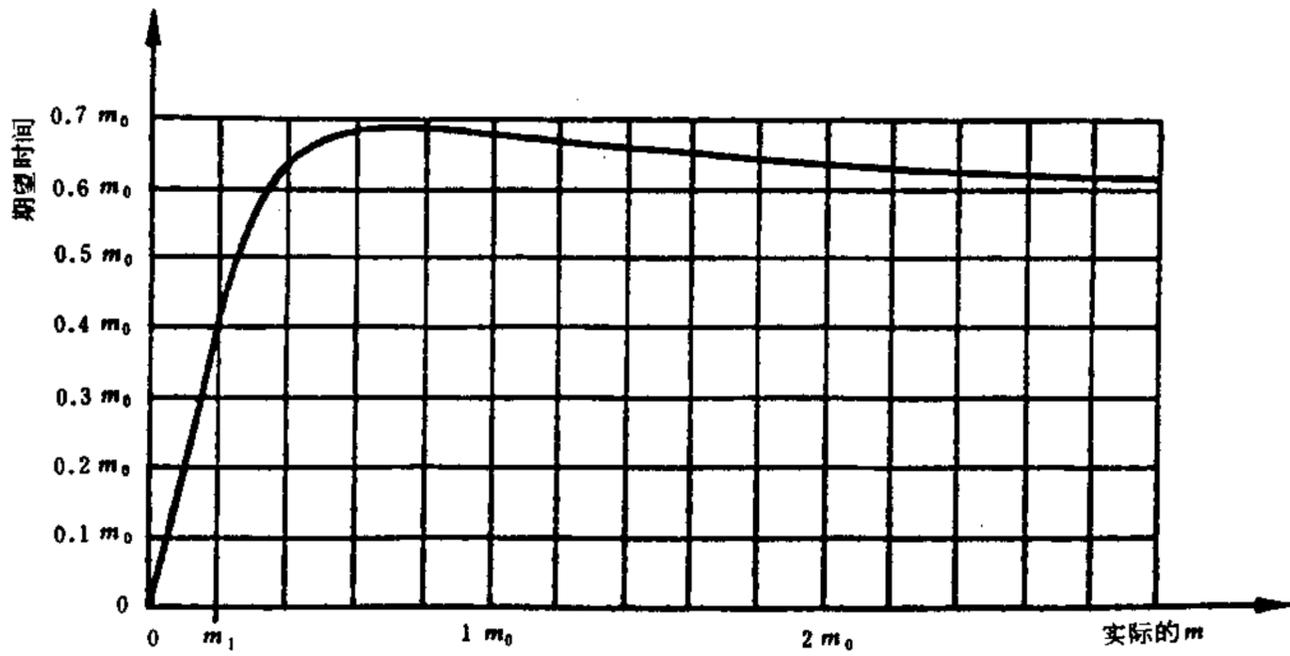


图 13 试验方案4:4判定的期望相关试验时间

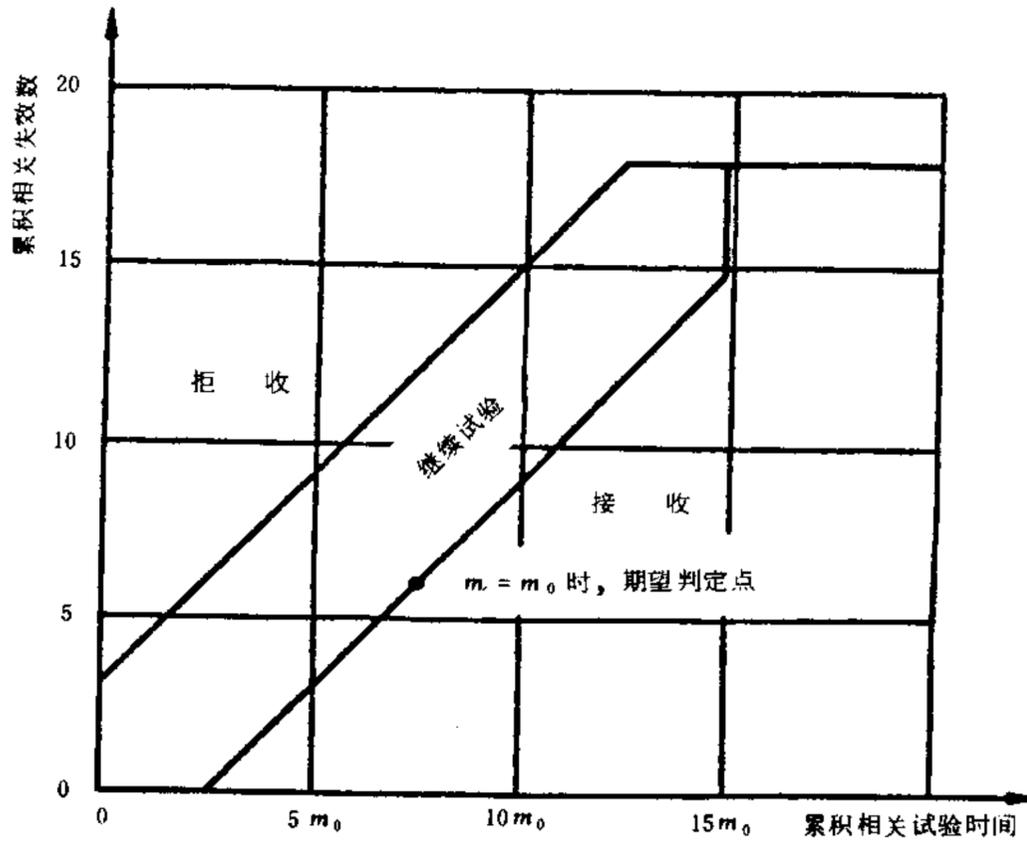


图 14 试验方案4:5 ($\alpha = 0.20, \beta = 0.20, D_m = 1.5$)

表 6 试验方案4:5

| 相关失效数 | 累积相关试验时间 (m_0 的倍数) | |
|-------|-----------------------|----------------|
| | 拒 收 (等于或小于) | 接 收 (等于或大于) |
| 0 | — | 2.79 |
| 1 | — | 3.60 |
| 2 | — | 4.41 |
| 3 | 0.16 | 5.22 |
| 4 | 0.97 | 6.03 |
| 5 | 1.78 | 6.84 |
| 6 | 2.60 | 7.66 |
| 7 | 3.41 | 8.47 |
| 8 | 4.22 | 9.28 |
| 9 | 5.03 | 10.09 |
| 10 | 5.84 | 10.90 |
| 11 | 6.65 | 11.71 |
| 12 | 7.46 | 12.52 |
| 13 | 8.27 | 13.33 |
| 14 | 9.08 | 14.14 |
| 15 | 9.89 | 14.60 |
| 16 | 10.70 | 14.60 |
| 17 | 11.52 | 14.60 |
| 18 | 12.33 | 14.60 |

注：相关失效数大于等于19，一律拒收。

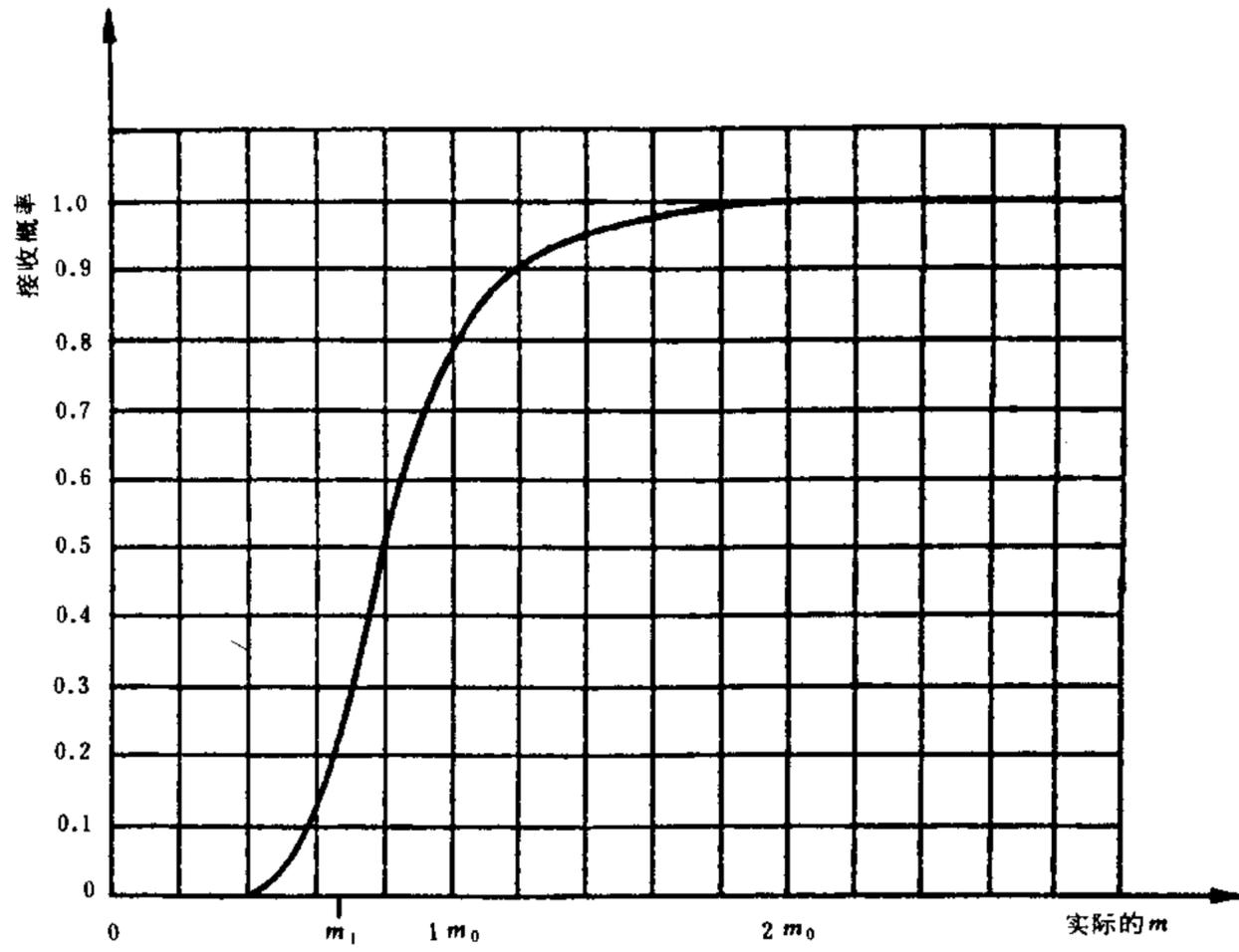


图 15 试验方案4:5工作特性曲线

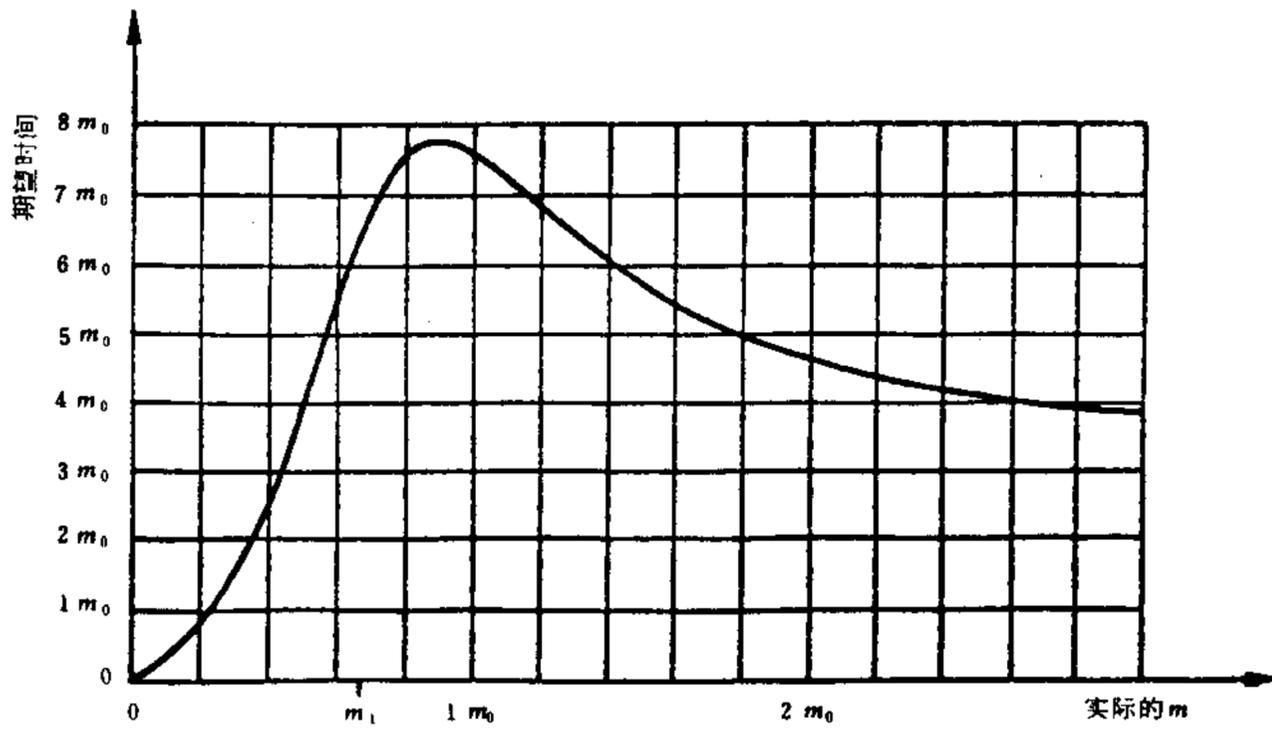


图 16 试验方案4:5判定的期望相关试验时间

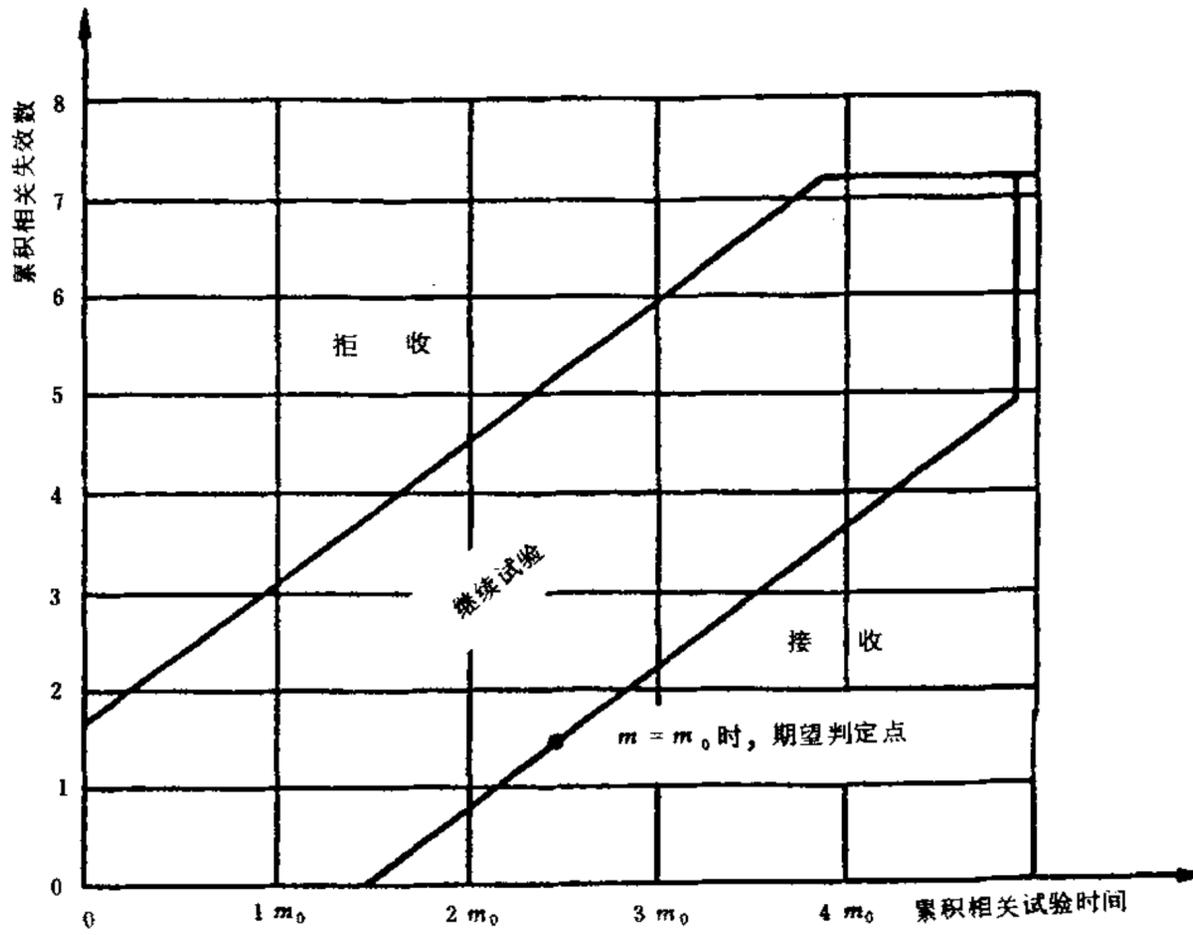


图 17 试验方案4:6 ($\alpha = 0.20, \beta = 0.20, D_m = 2.0$)

表 7 试验方案4:6

| 相关失效数 | 累积相关试验时间 (m_0 的倍数) | |
|-------|-----------------------|----------------|
| | 拒 收 (等于或小于) | 接 收 (等于或大于) |
| 0 | — | 1.40 |
| 1 | — | 2.09 |
| 2 | 0.35 | 2.79 |
| 3 | 1.04 | 3.48 |
| 4 | 1.73 | 4.17 |
| 5 | 2.43 | 4.87 |
| 6 | 3.12 | 4.87 |
| 7 | 3.81 | 4.87 |

注：相关失效数大于等于 8，一律拒收。

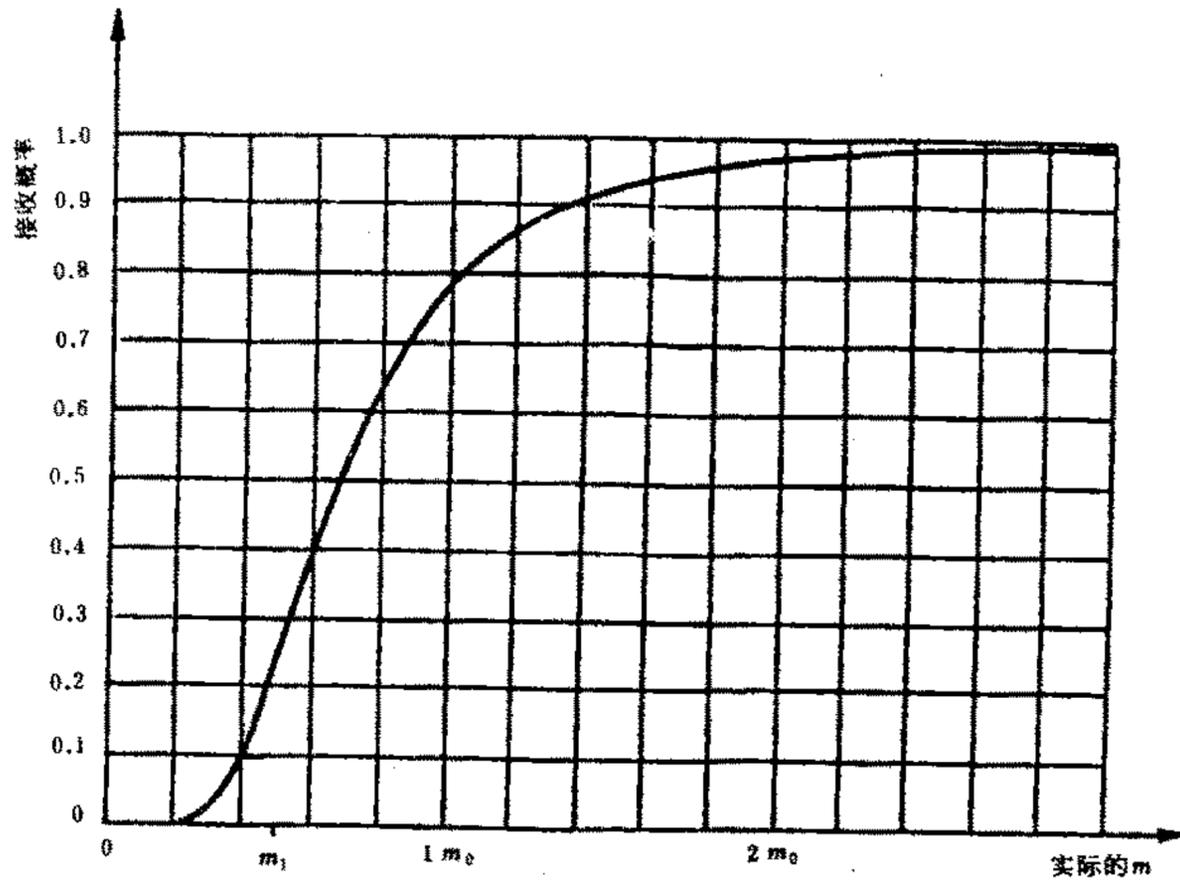


图 18 试验方案4:6工作特性曲线

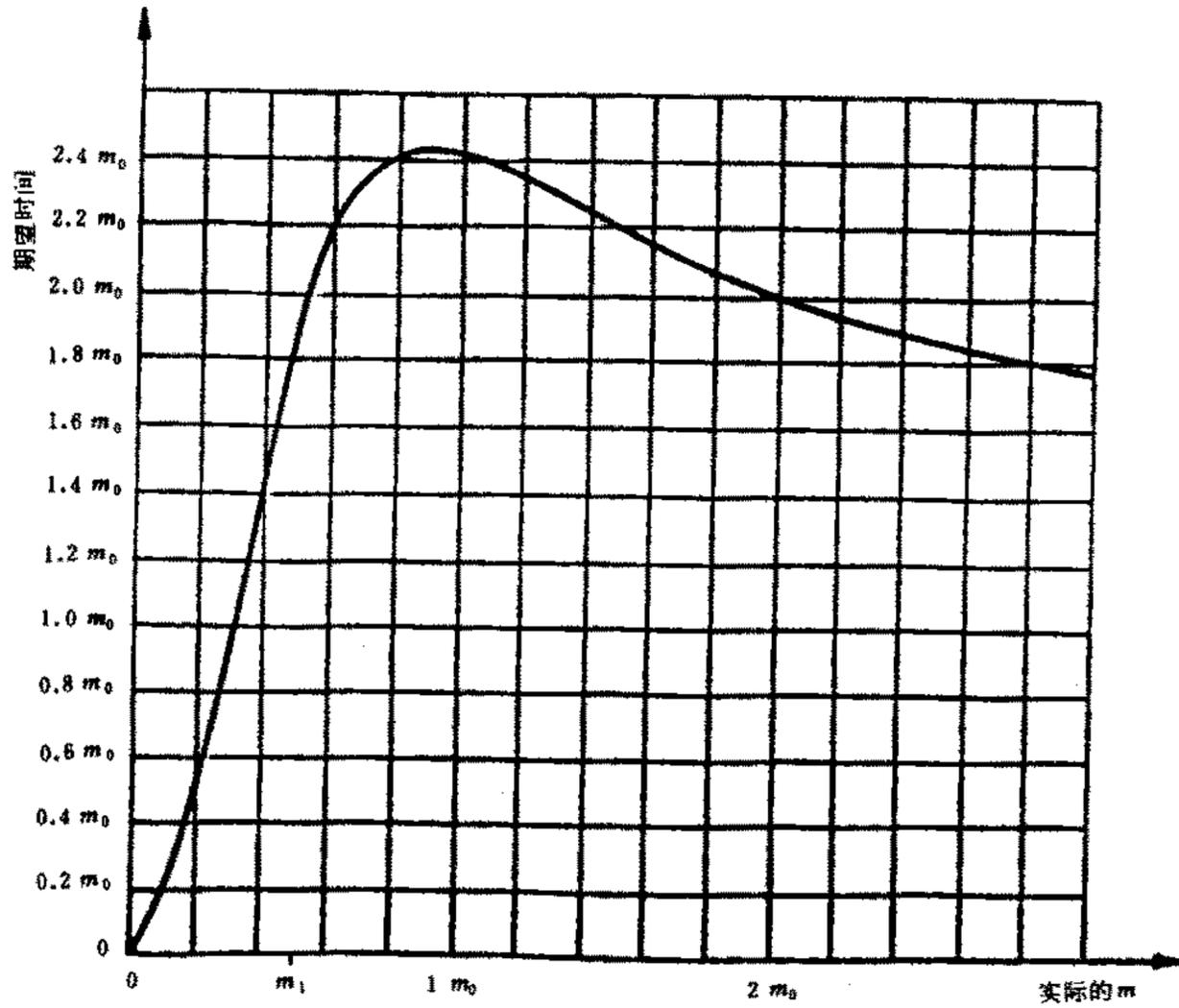


图 19 试验方案4:6判定的期望相关试验时间

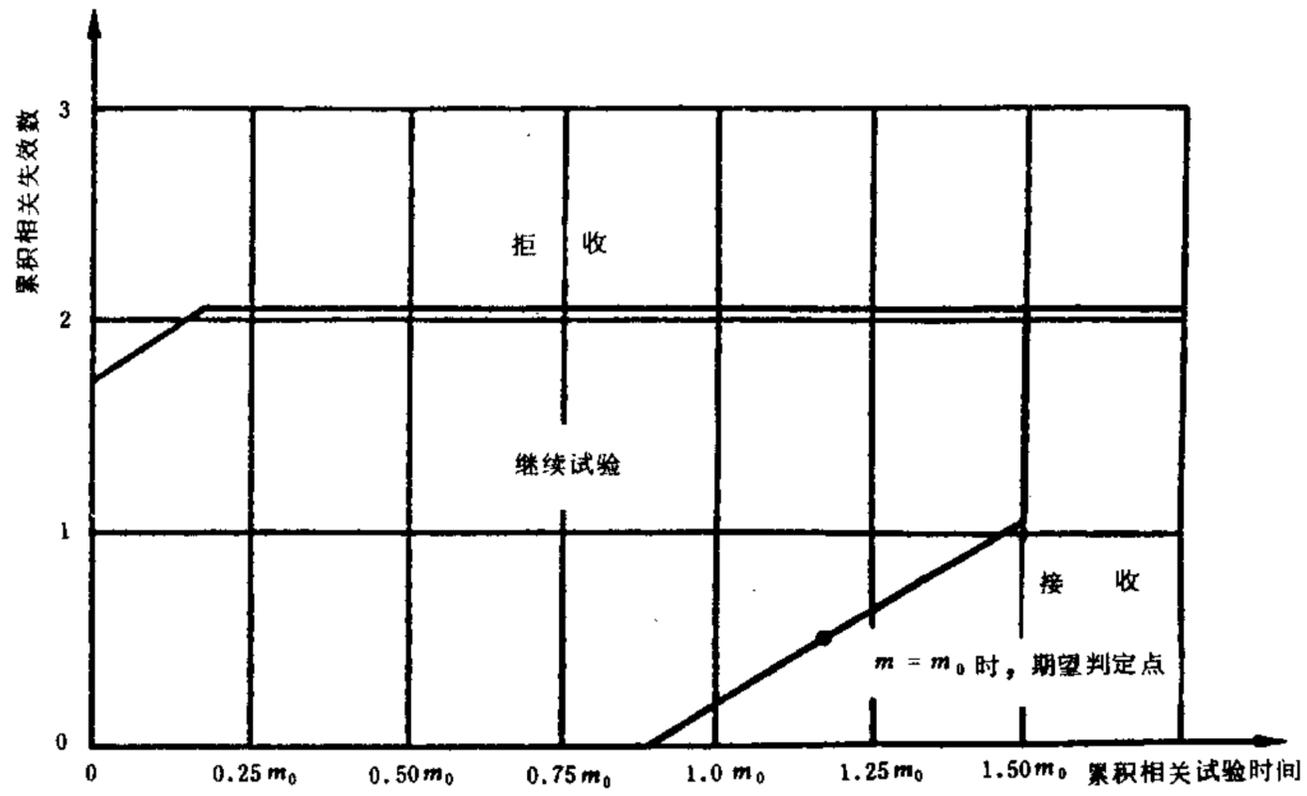


图 20 试验方案4:7 ($a = 0.20$, $\beta = 0.20$, $D_m = 3.0$)

表 8 试验方案4:7

| 相关失效数 | 累积相关试验时间 (m_0 的倍数) | |
|-------|-----------------------|----------------|
| | 拒 收 (等于或小于) | 接 收 (等于或大于) |
| 0 | — | 0.89 |
| 1 | — | 1.44 |
| 2 | 0.12 | 1.50 |

注：相关失效数大于等于 3，一律拒收。

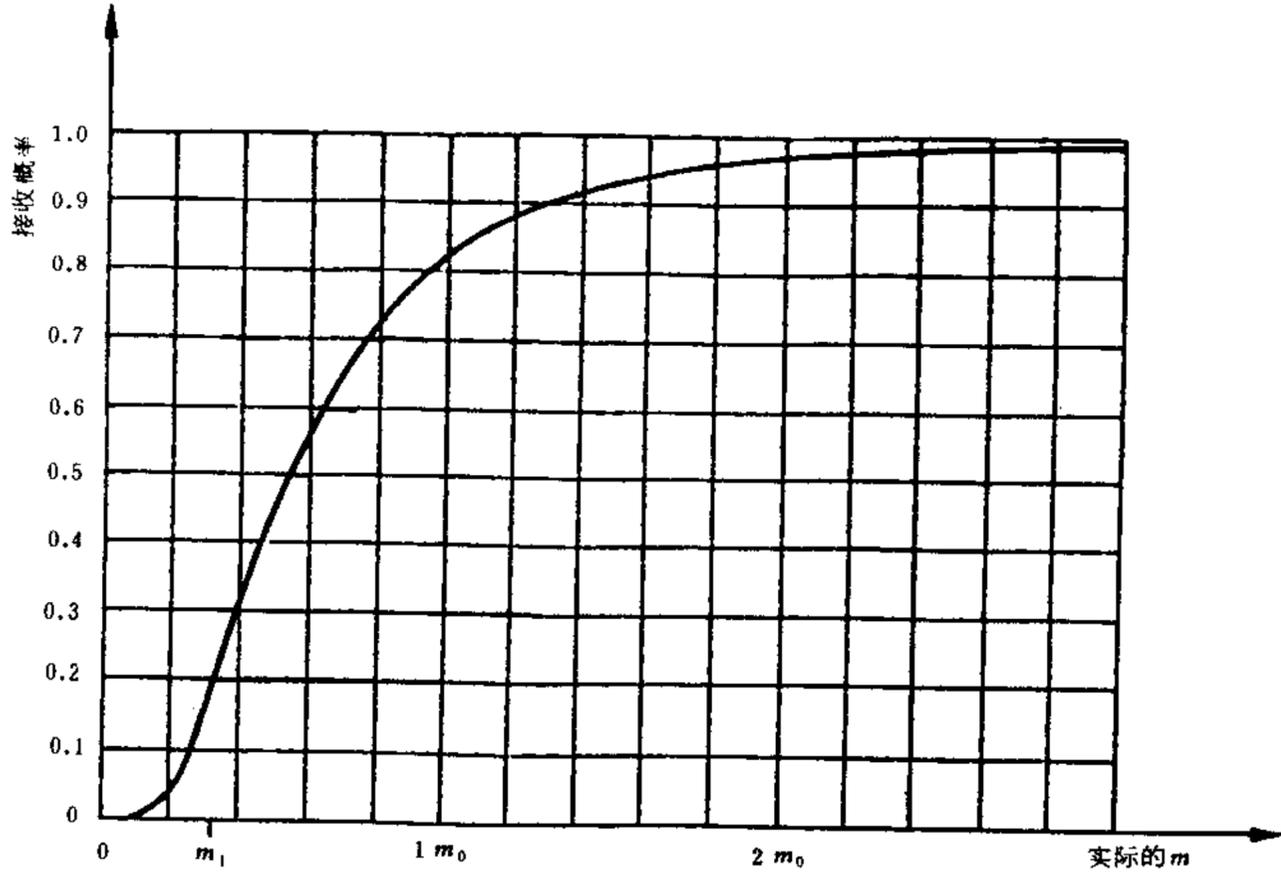


图 21 试验方案4:7工作特性曲线

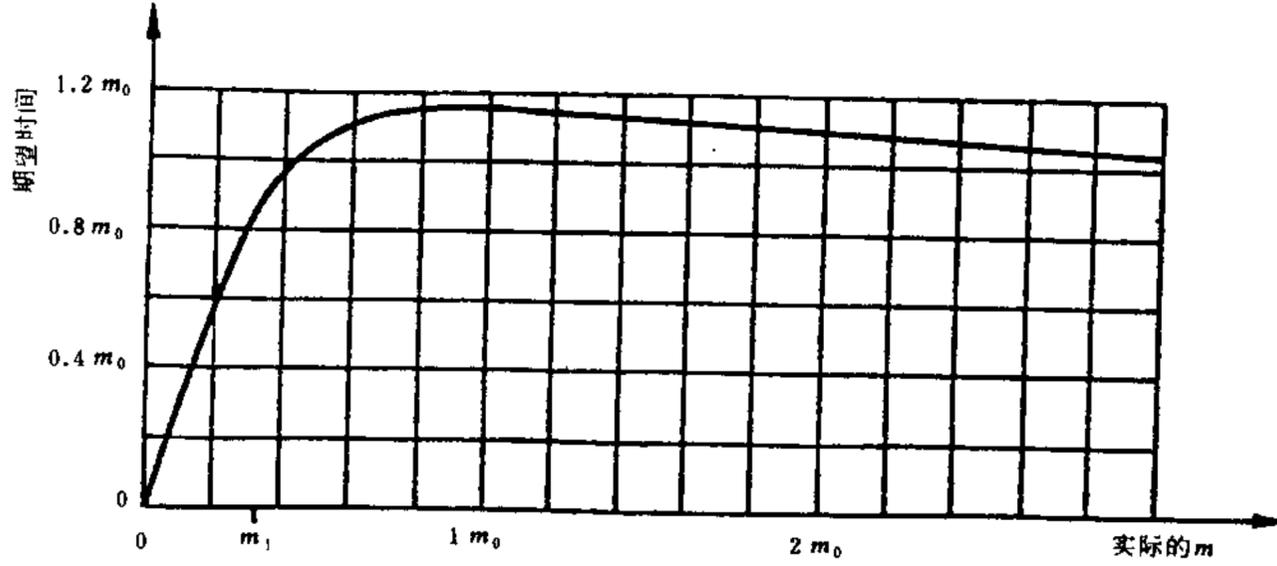


图 22 试验方案4:7判定的期望相关试验时间

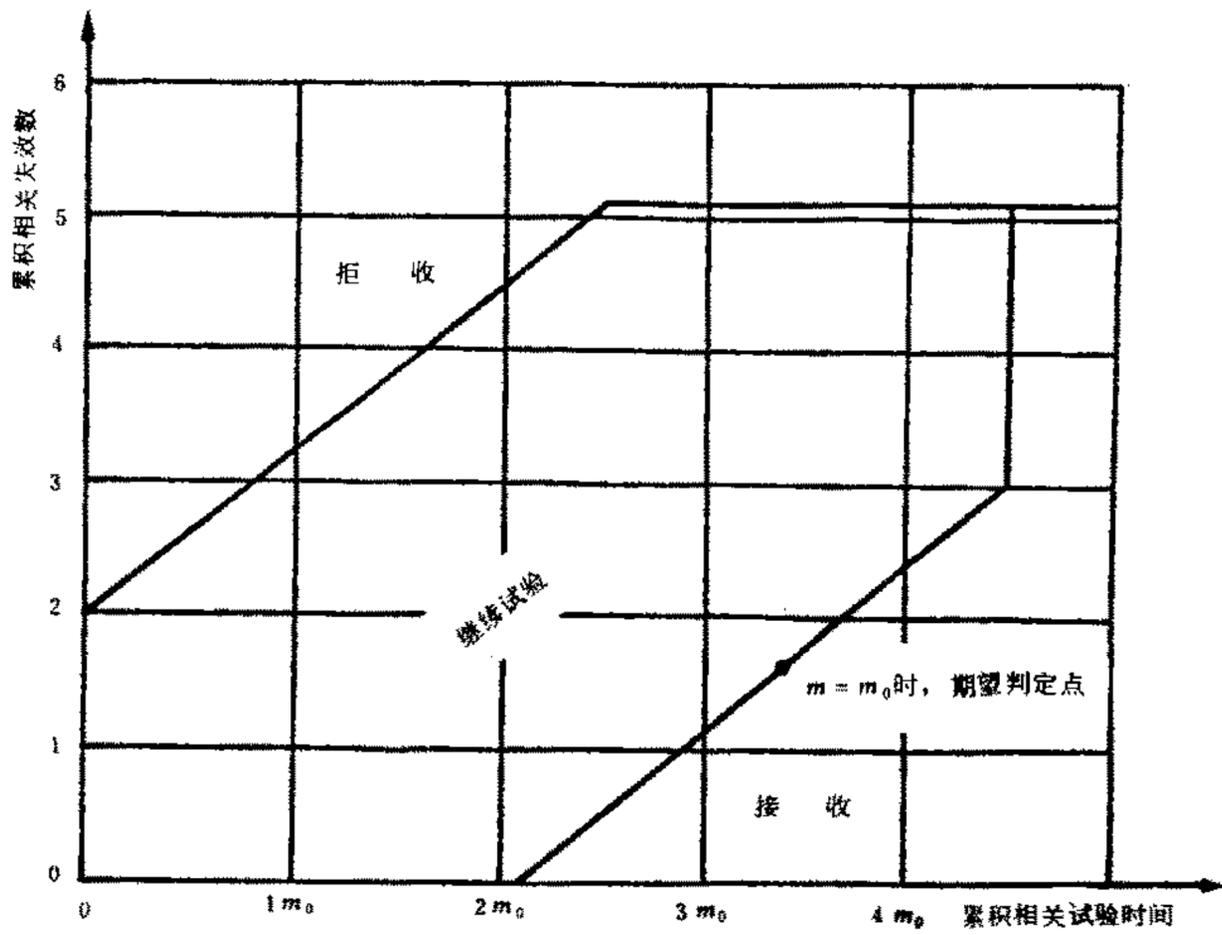


图 23 试验方案4:8 ($\alpha = 0.30, \beta = 0.30, D_m = 1.5$)

表 9 试验方案4:8

| 相关失效数 | 累积相关试验时间 (m_0 的倍数) | |
|-------|-----------------------|----------------|
| | 拒 收 (等于或小于) | 接 收 (等于或大于) |
| 0 | — | 2.10 |
| 1 | — | 2.91 |
| 2 | — | 3.72 |
| 3 | 0.81 | 4.53 |
| 4 | 1.62 | 4.53 |
| 5 | 2.43 | 4.53 |

注：相关失效数大于等于 6，一律拒收。

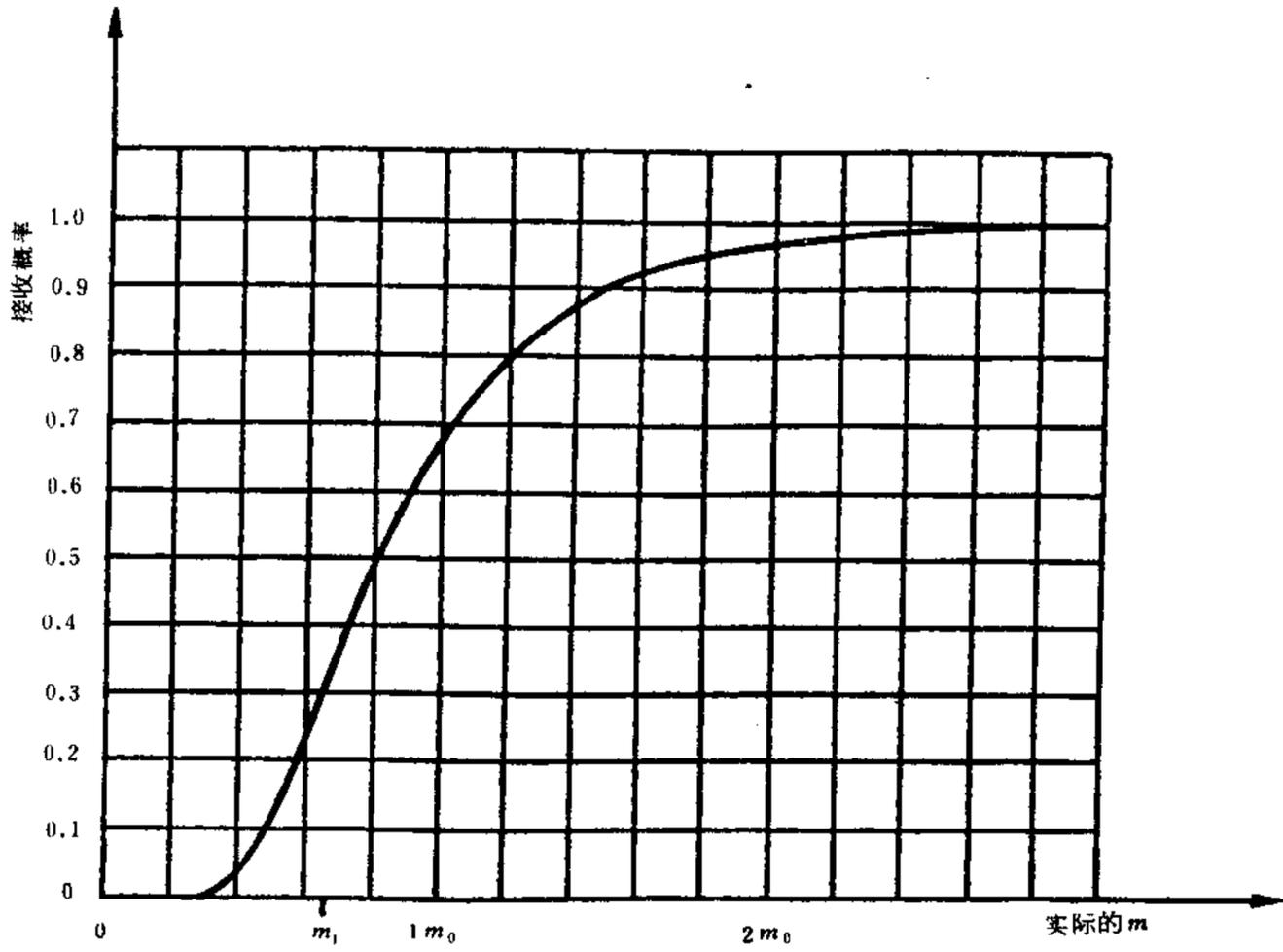


图 24 试验方案4:8工作特性曲线

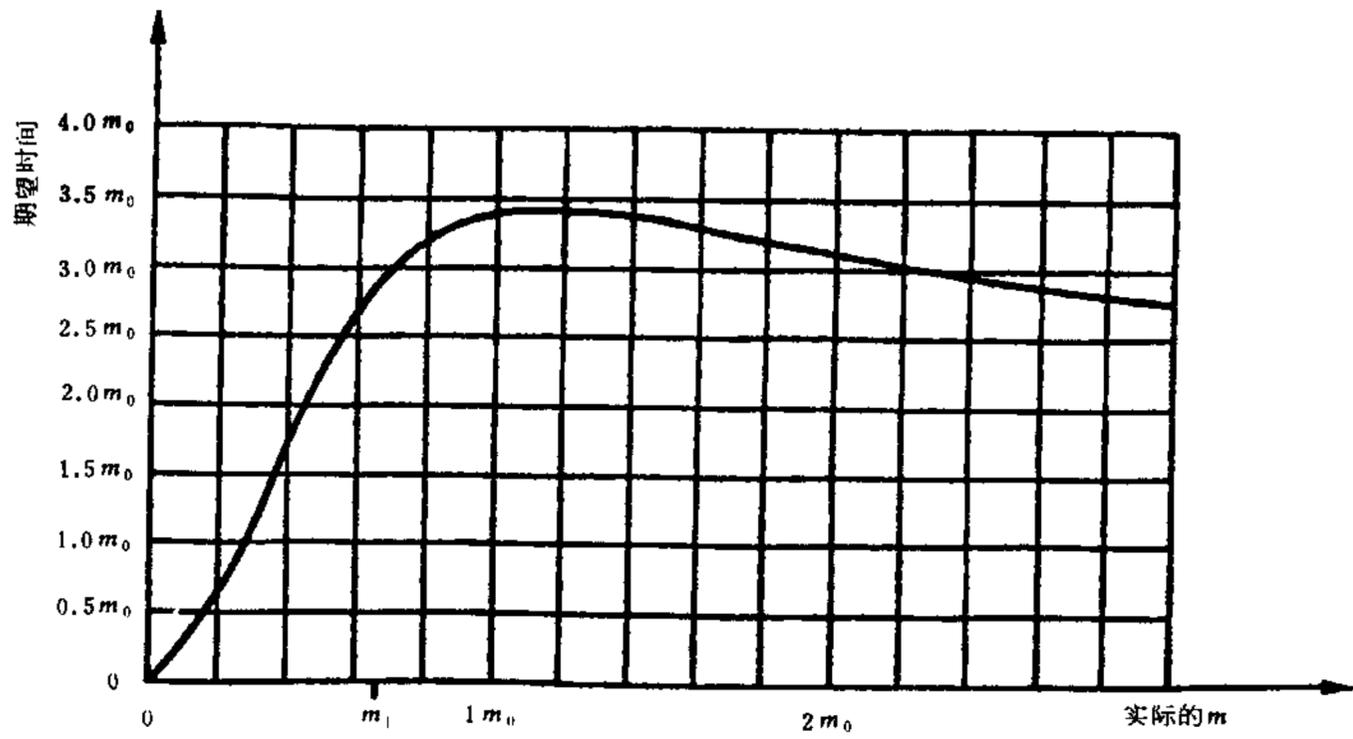


图 25 试验方案4:8判定的期望相关试验时间

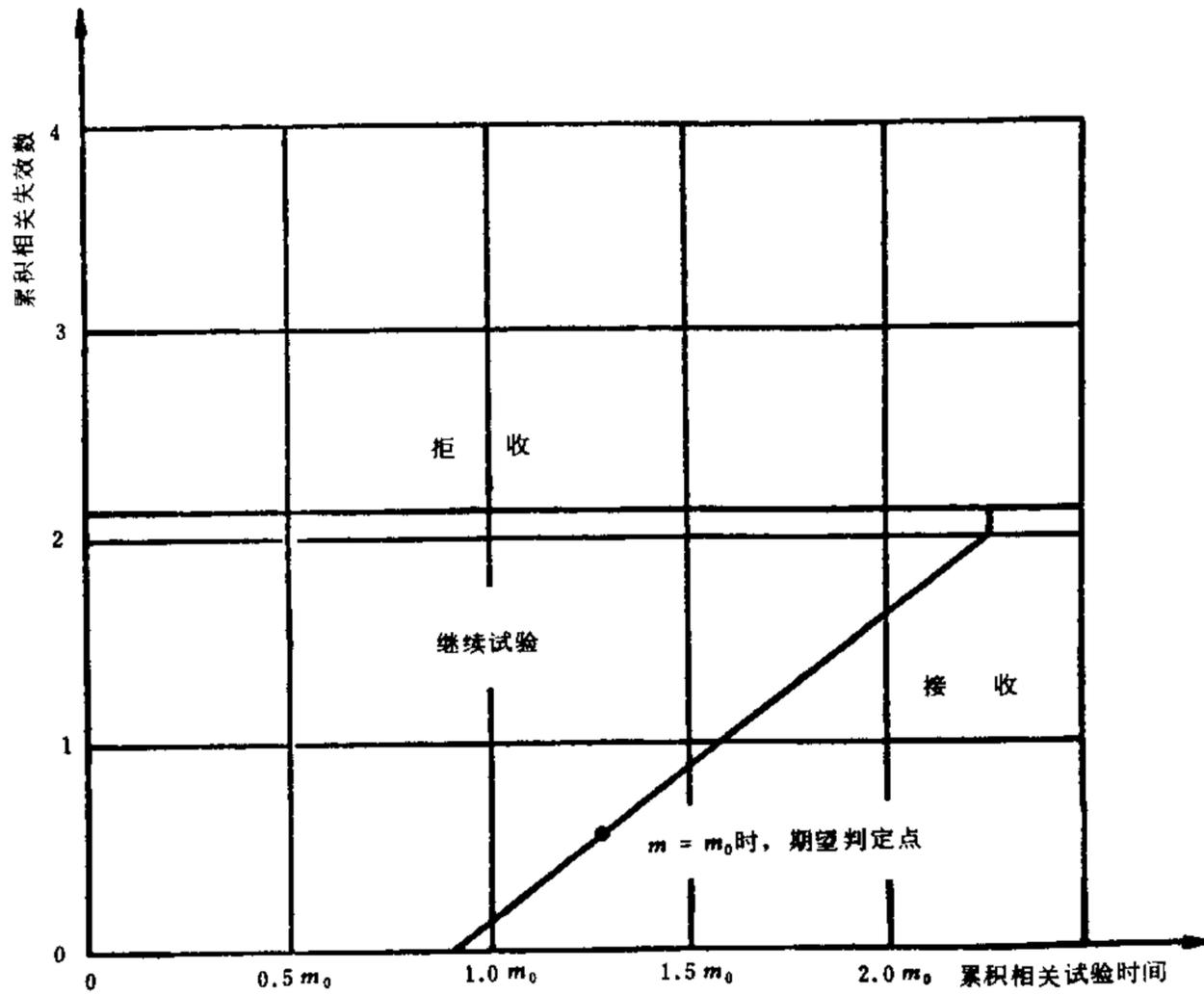


图 26 试验方案4:9 ($\alpha = 0.30, \beta = 0.30, D_m = 2.0$)

表 10 试验方案4:9

| 相关失效数 | 累 积 相 关 试 验 时 间 (m_0 的 倍 数) | |
|-------|--------------------------------|----------------|
| | 拒 收 (等于或小于) | 接 收 (等于或大于) |
| 0 | — | 0.86 |
| 1 | — | 1.55 |
| 2 | — | 2.25 |

注：相关失效数大于等于 3，一律拒收。

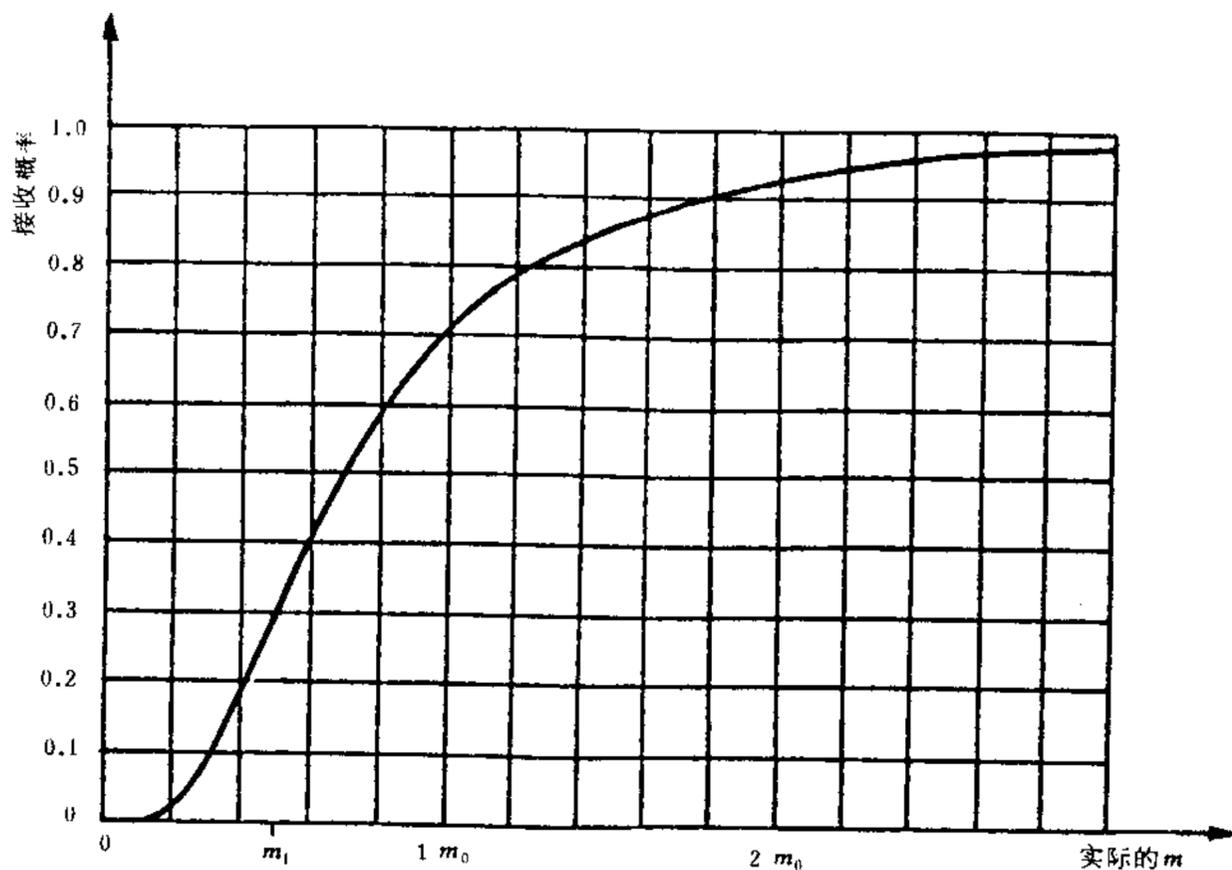


图 27 试验方案4:9工作特性曲线

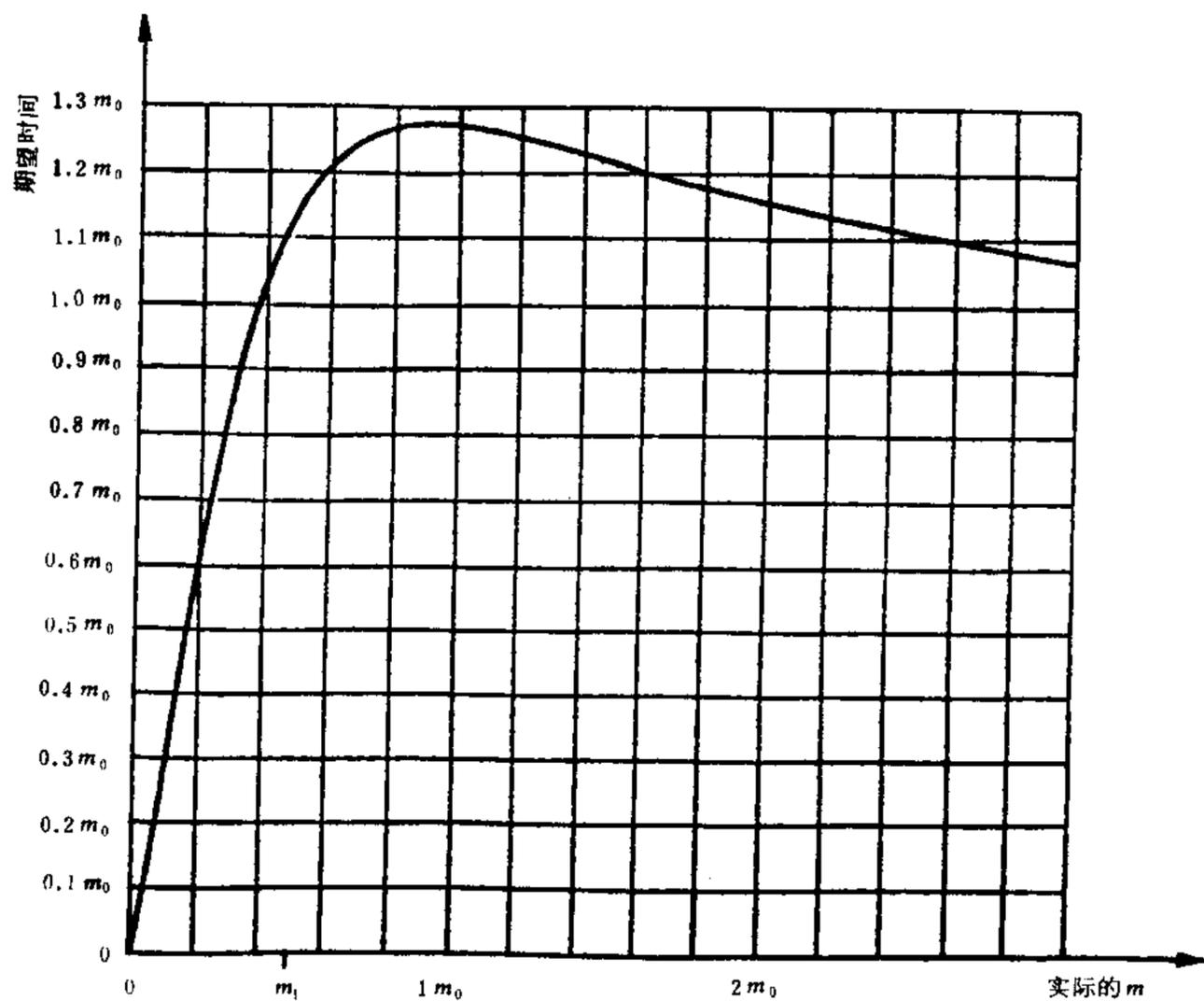


图 28 试验方案4:9判定的期望相关试验时间

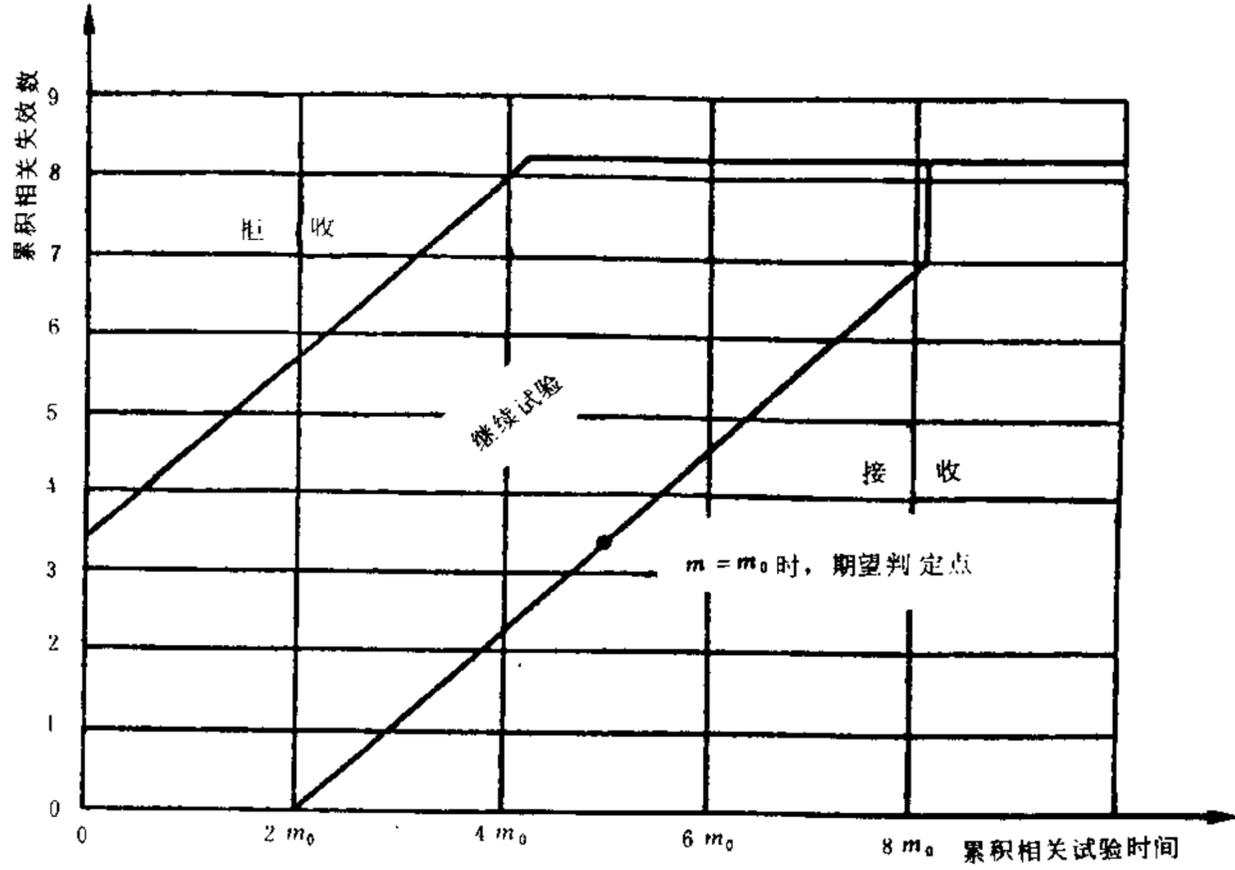


图 29 试验方案4:10 ($\alpha = 0.35, \beta = 0.40, D_m = 1.25$)

表 11 试验方案4:10

| 相关失效数 | 累积相关试验时间 (m_0 的倍数) | |
|-------|-----------------------|----------------|
| | 拒 收 (等于或小于) | 接 收 (等于或大于) |
| 0 | — | 2.00 |
| 1 | — | 2.89 |
| 2 | — | 3.79 |
| 3 | — | 4.68 |
| 4 | 0.45 | 5.57 |
| 5 | 1.34 | 6.46 |
| 6 | 2.24 | 7.36 |
| 7 | 3.13 | 8.25 |
| 8 | 4.02 | 8.25 |

相关失效数大于等于9, 一律拒收。

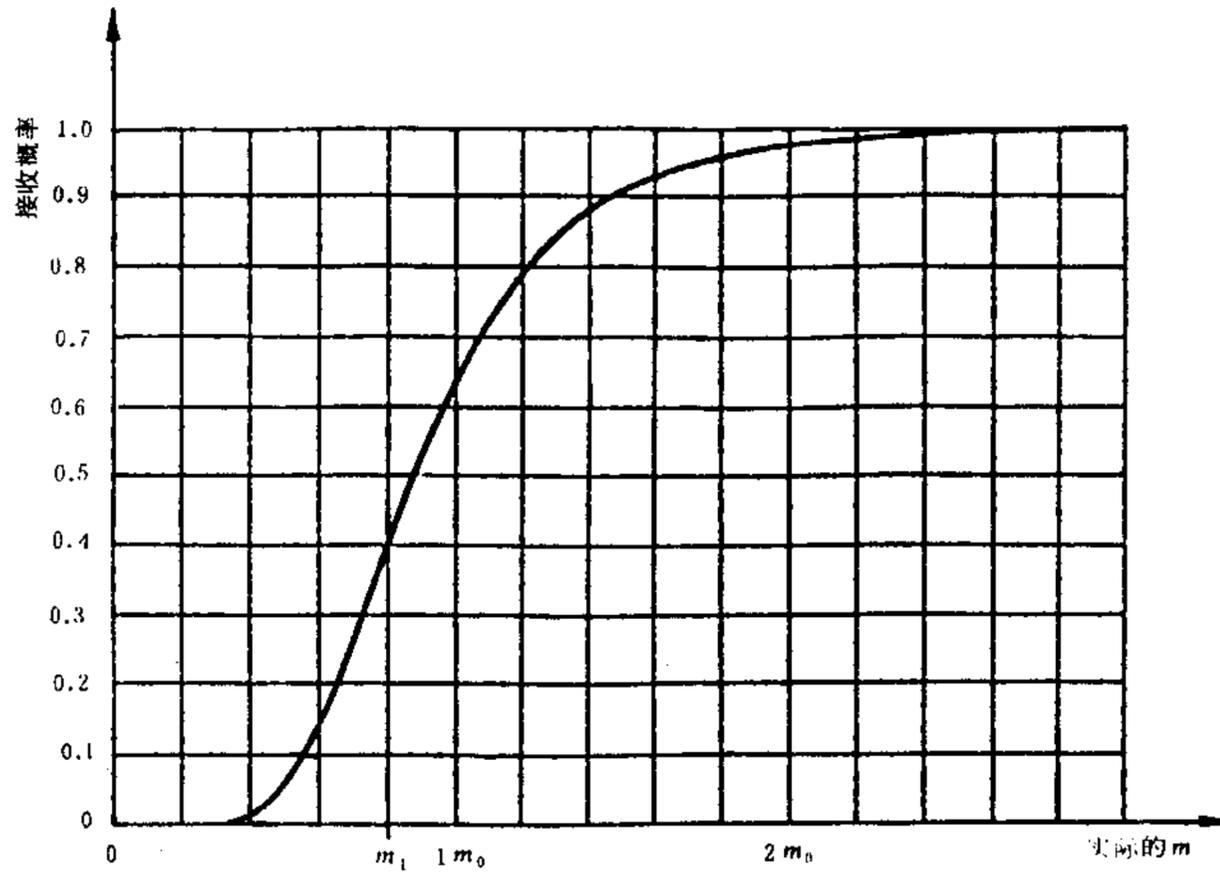


图 30 试验方案4:10工作特性曲线

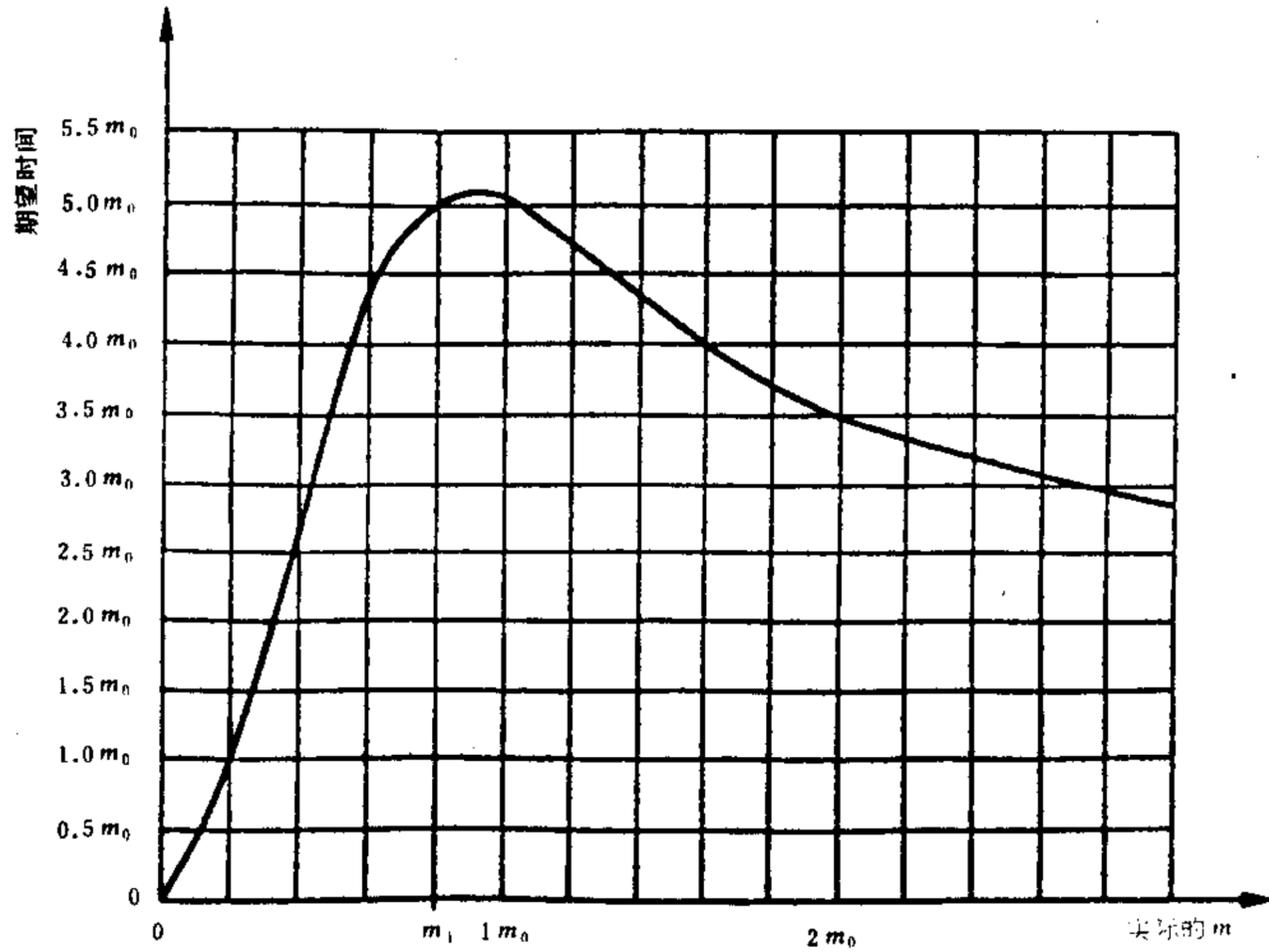


图 31 试验方案4:10判定的期望相关试验时间

5 定时（定数）截尾试验方案

本章叙述优先选用的定时（定数）截尾试验方案（包含工作特性曲线及判定的期望相关试验时间）。

5.1 定时（定数）截尾试验方案的特征

定时（定数）截尾试验方案的特征由下列表示：

m_0 = 规定可接受的平均无故障时间；

α = 生产方风险；

β = 使用方风险；

D_m = 平均无故障时间的鉴别比。

生产方风险 α 是当实际的 $m = m_0$ 时，设备被拒收的概率。

使用方风险 β 是当实际的 $m = m_1$ 时，设备被接收的概率。这里 m_1 是不可接受的平均无故障时间。

平均无故障时间的鉴别比在这里的定义是： $D_m = m_0 / m_1$ 。

5.2 定时（定数）截尾试验方案的表与图

下表列出含有判定准则的定时（定数）截尾试验方案。相关试验时间应累积到超过预定的截尾时间（接收）或出现预定的截尾失效数（拒收）。

表 12 定时（定数）截尾试验方案

| 方 案 编 号 | 方 案 的 特 征 | | | 截尾时间 (m_0 的倍数) | 截尾失效数 | 实 际 风 险, % | |
|------------|-----------|---------|-------|----------------------|-------|------------|-----------|
| | 标称值, % | | D_m | | | $m = m_0$ | $m = m_1$ |
| | α | β | | | | α' | β' |
| 5 : 1 | 10 | 10 | 1.5 | 30.0 | 37 | 12.0 | 9.9 |
| 5 : 2 | 10 | 10 | 2 | 9.4 | 14 | 9.6 | 10.6 |
| 5 : 3 | 10 | 10 | 3 | 3.1 | 6 | 9.4 | 9.9 |
| 5 : 4 | 10 | 10 | 5 | 1.10 | 3 | 10.0 | 8.8 |
| 5 : 5 | 20 | 20 | 1.5 | 14.1 | 18 | 18.0 | 21.7 |
| 5 : 6 | 20 | 20 | 2 | 3.9 | 6 | 20.0 | 21.0 |
| 5 : 7 | 20 | 20 | 3 | 1.46 | 3 | 18.1 | 18.8 |
| 5 : 8 | 30 | 30 | 1.5 | 5.3 | 7 | 28.3 | 32.0 |
| 5 : 9 | 30 | 30 | 2 | 1.84 | 3 | 28.0 | 28.9 |
| 5 : 10 | 35 | 40 | 1.25 | 6.7 | 8 | 35.7 | 40.2 |

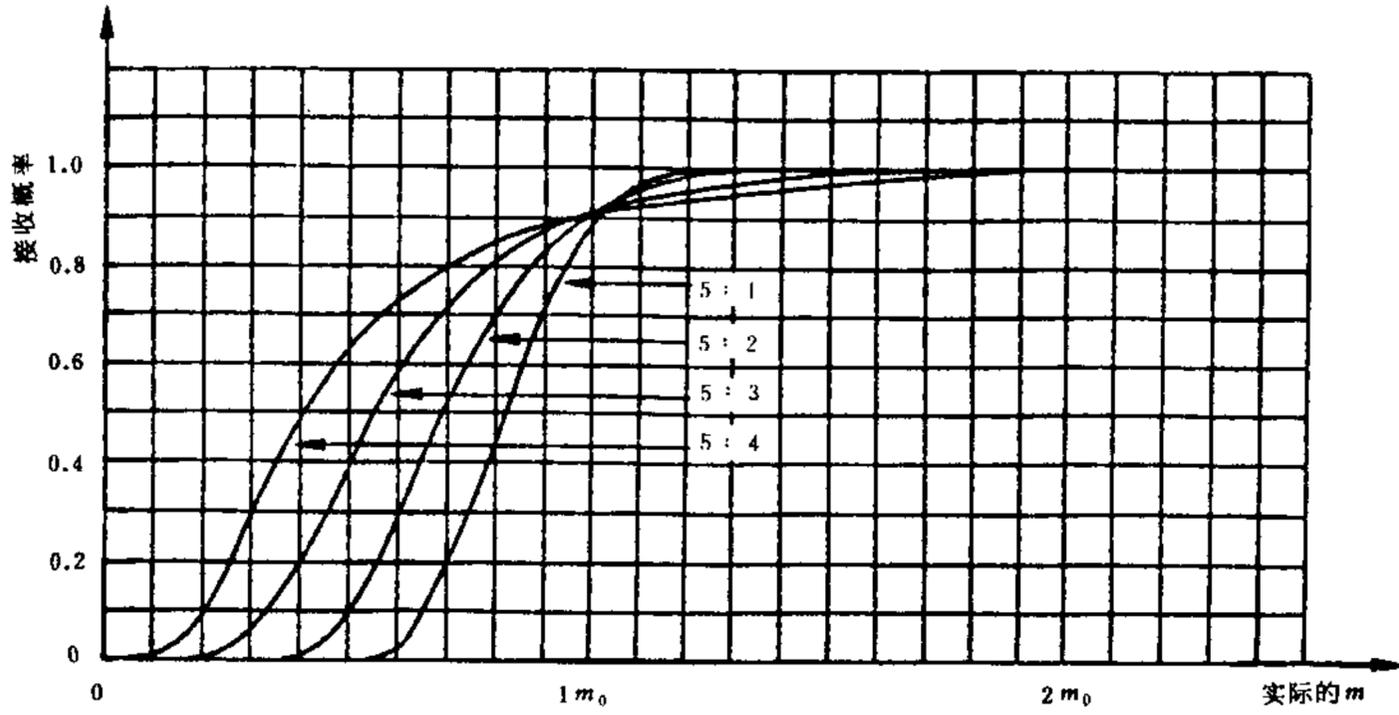


图 32 试验方案5:1, 5:2, 5:3和5:4工作特性曲线

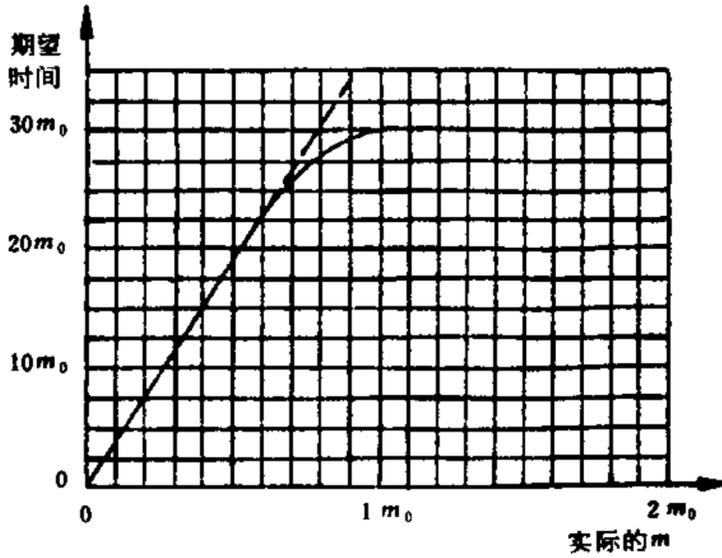


图 33 试验方案5:1判定的期望相关试验时间

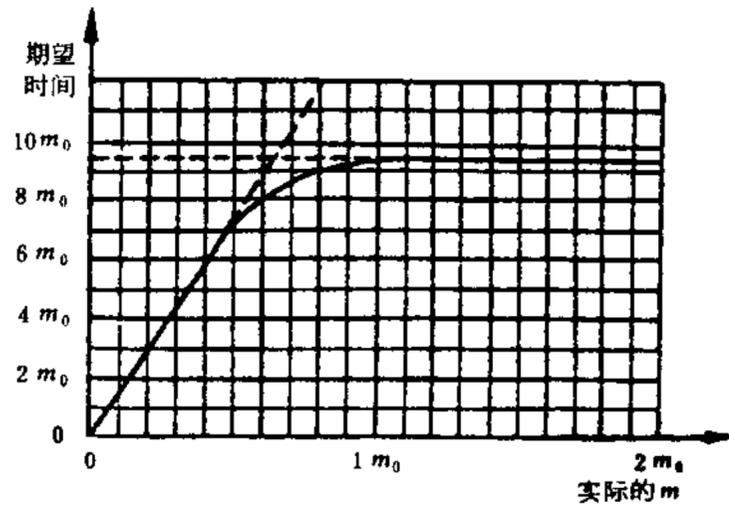


图 34 试验方案5:2判定的期望相关试验时间

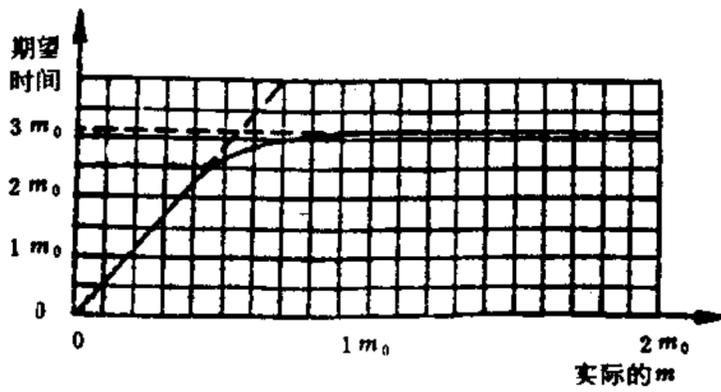


图 35 试验方案5:3判定的期望相关试验时间

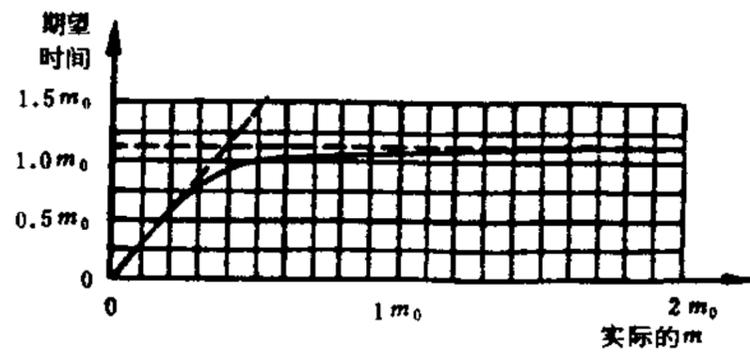


图 36 试验方案5:4判定的期望相关试验时间

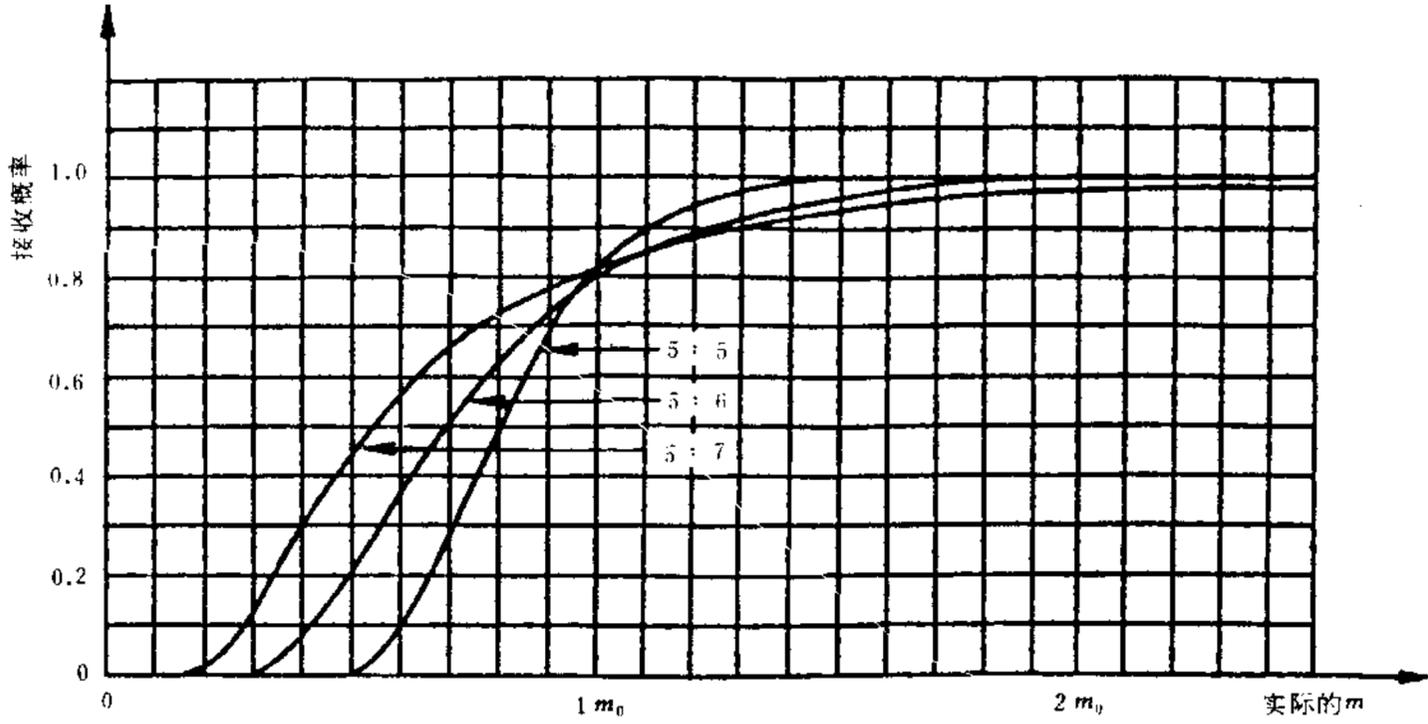


图 37 试验方案5:5, 5:6, 5:7 工作特性曲线

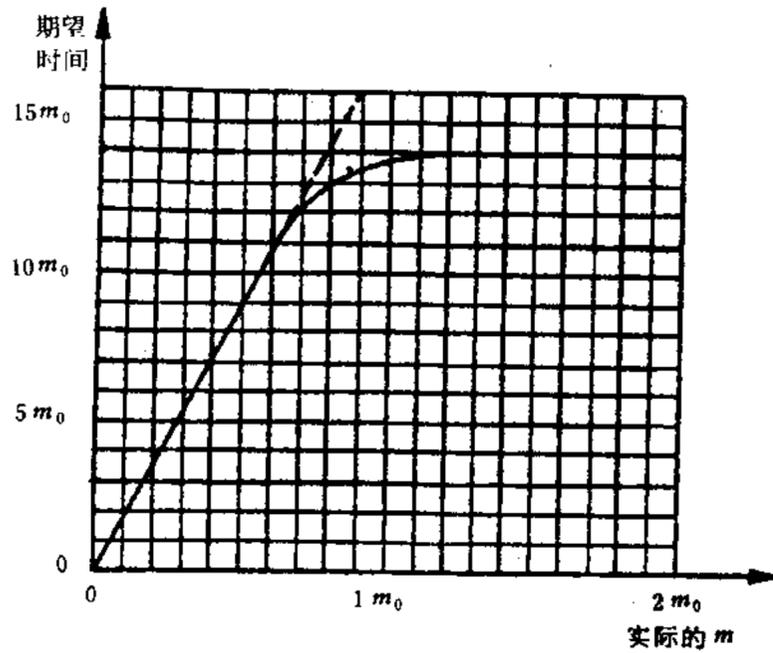


图 38 试验方案5:5判定的期望相关试验时间

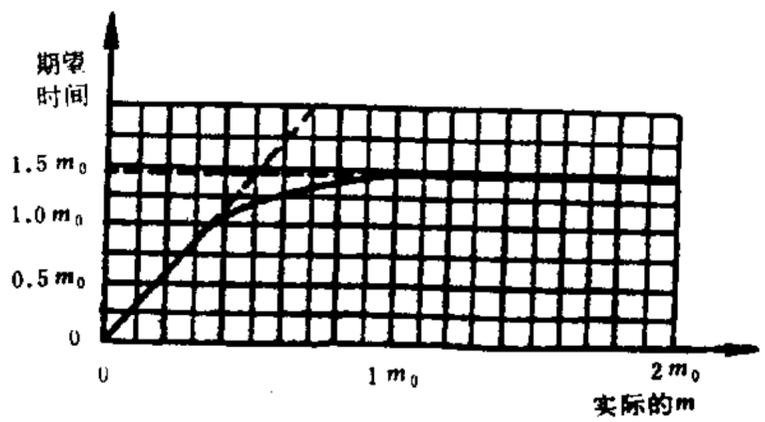
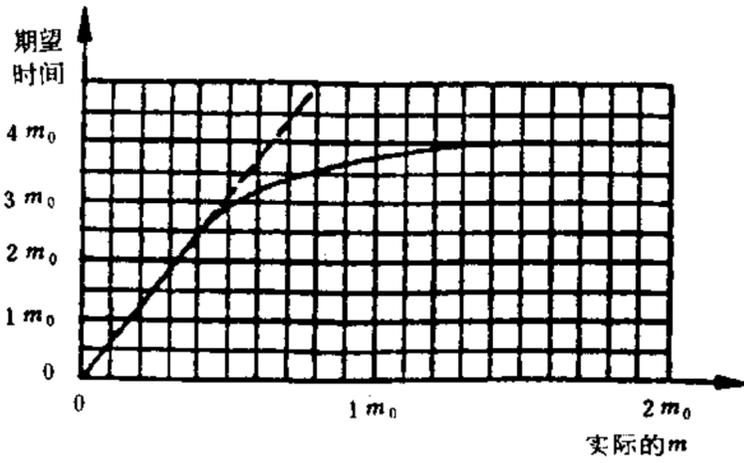


图 39 试验方案5:6判定的期望相关试验时间 图 40 试验方案5:7判定的期望相关试验时间

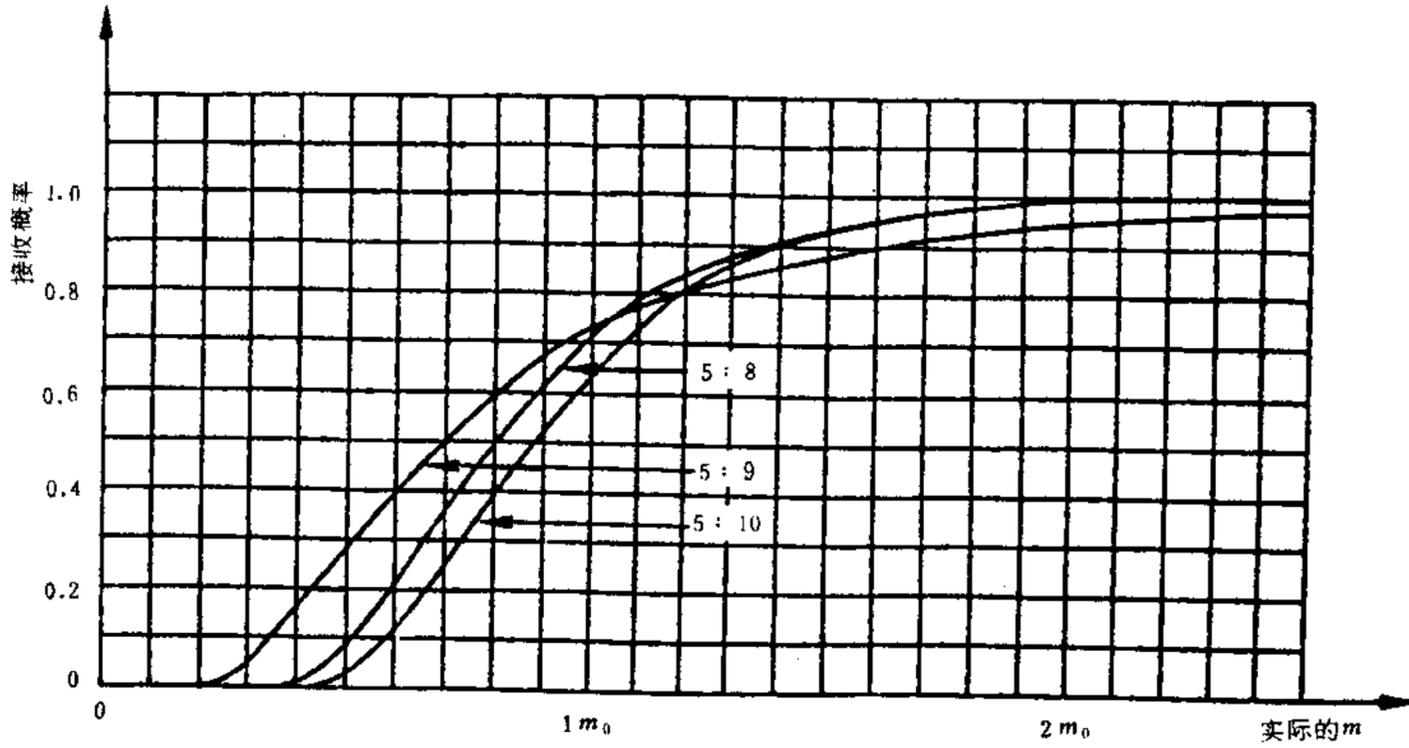


图 41 试验方案5:8, 5:9和5:10工作特性曲线

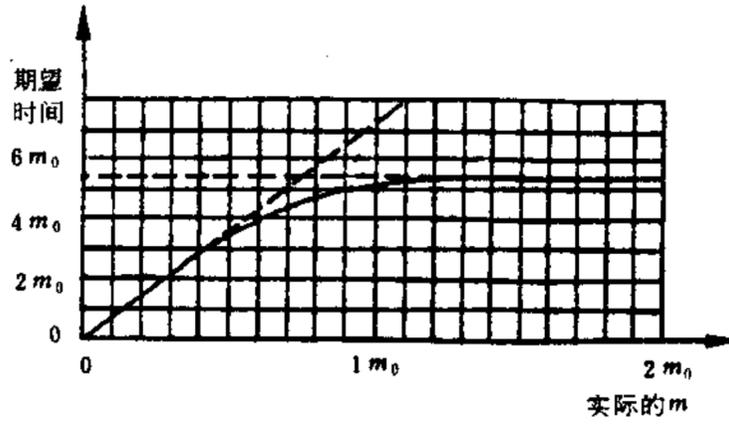


图 42 试验方案5:8判定的期望相关试验时间

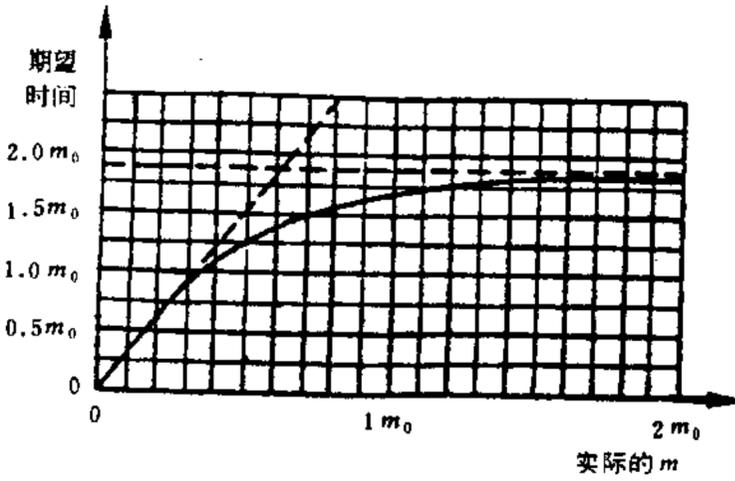


图 43 试验方案5:9判定的期望相关试验时间

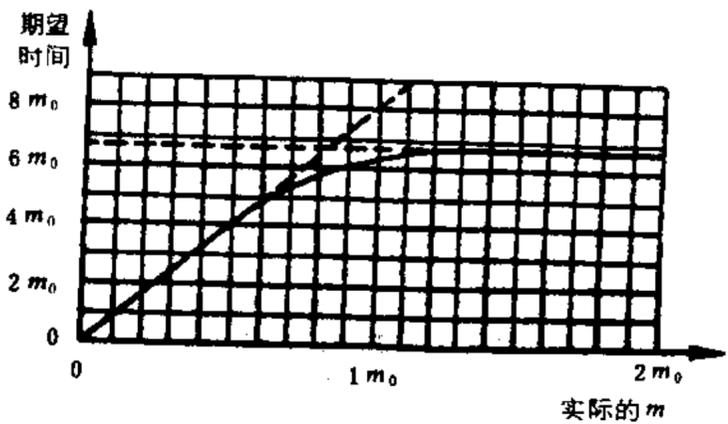


图 44 试验方案5:10判定的期望相关试验时间

附加说明:

本标准由中华人民共和国电子工业部提出。
 本标准由全国电工电子可靠性与维修性标准化技术委员会归口。
 本标准由电子工业部第五研究所负责起草。
 本标准主要起草人徐福祯。