



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106950507 A

(43)申请公布日 2017.07.14

(21)申请号 201710335120.0

(22)申请日 2017.05.12

(71)申请人 国家电网公司

地址 100031 北京市西城区西长安街86号

申请人 国网湖北省电力公司电力科学研究院

武汉盛帆电子股份有限公司

(72)发明人 丁黎 李帆 李莉 汪旭祥 魏伟

蔡文嘉 杨丽华 仇娟 石洪

余鹤 李中泽

(74)专利代理机构 武汉楚天专利事务所 42113

代理人 胡盛登

(51)Int.Cl.

G01R 31/36(2006.01)

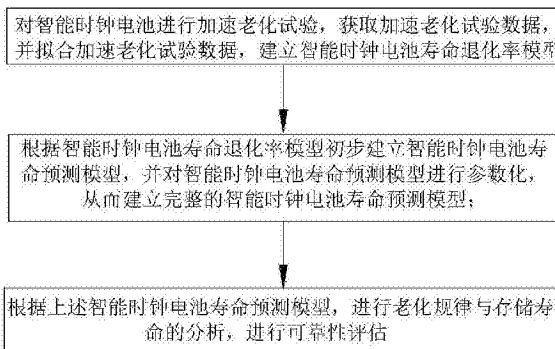
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种智能时钟电池用高可靠性寿命评估方法

(57)摘要

本发明提供一种智能时钟电池用高可靠性寿命评估方法,包括以下步骤,对智能时钟电池进行加速老化试验,获取加速老化试验数据,并拟合加速老化试验数据,建立智能时钟电池寿命退化率模型;根据智能时钟电池寿命退化率模型初步建立智能时钟电池寿命预测模型,并对智能时钟电池寿命预测模型进行参数化,从而建立完整的智能时钟电池寿命预测模型;本发明的技术效果:本发明可以解决现有寿命预测方法中结果一致性差、有效性差及试验时间长等缺陷,具有经济可行、操作方便、普适性高等优点。



1. 一种智能时钟电池用高可靠性寿命评估方法,其特征在於:包括以下步骤,

对智能时钟电池进行加速老化试验,获取加速老化试验数据,并拟合加速老化试验数据,建立智能时钟电池寿命退化率模型;

根据智能时钟电池寿命退化率模型初步建立智能时钟电池寿命预测模型,并对智能时钟电池寿命预测模型进行参数化,从而建立完整的智能时钟电池寿命预测模型;

根据上述智能时钟电池寿命预测模型,进行老化规律与存储寿命的分析,进行可靠性评估。

2. 根据权利要求1所述的一种智能时钟电池用高可靠性寿命评估方法,其特征在於:所述的加速老化试验包括以下步骤:

1) 随机选择一批经检验合格的智能时钟电池;

2) 按照规定的老化温度采用恒温恒湿箱对智能时钟电池进行加速老化;

3) 对冷却24h的智能时钟电池的剩余寿命采用高精度万用表测量;4) 重复上述过程,多次试验求取平均值作为实时寿命预测值;

5) 作出智能时钟电池剩余寿命与老化时间的对比关系,作为参数化寿命预测模型的原始数据。

3. 根据权利要求1所述的一种智能时钟电池用高可靠性寿命评估方法,其特征在於:所述智能时钟电池寿命退化率按照广义线性模型表示为

$$Y(t, T) = Y(t_0, T) \cdot f(t) \cdot F(T) \quad (1)$$

式中 $Y(t, T)$ 为存储时间 $t$ 和温度 $T$ 时智能时钟电池的实际容量退化率; $Y(t_0, T)$ 为智能时钟电池老化前的初始值,即 $Y(t_0, T) = 100\%$ ;  $f(t)$ 为存储时间对智能时钟电池寿命的影响方程; $F(T)$ 为老化温度对智能时钟电池寿命的影响方程。

4. 根据权利要求3所述的一种智能时钟电池用高可靠性寿命评估方法,其特征在於:所述存储时间对智能时钟电池寿命的影响方程 $f(t)$ 的具体表述为:

$$f(t) = C_a \cdot t^b \quad (2)$$

其中 $C_a$ 表示温度为 $T_0$ 时的老化率, $b$ 为与存储时间相关的待定系数;

所述老化温度对智能时钟电池寿命退化率的影响方程 $F(T)$ 具体表述为:

$$F(T) = C_T \cdot \frac{T - T_0}{\Delta t} \quad (3)$$

其中, $C_T$ 为加速老化因子, $t$ 为存储时间, $\Delta t$ 为温度 $T_0$ 到温度 $T$ 的时间差, $C_T$ 参数的引入考虑了智能时钟电池寿命退化率与老化温度成正相关的特性。

5. 根据权利要求4所述的一种智能时钟电池用高可靠性寿命评估方法,其特征在於:将 $F(T)$ 和 $f(t)$ 的表达式代入方程(1),智能时钟电池寿命退化率的模型即为

$$s = C_T \left( \frac{T - T_0}{\Delta t} \right) \cdot C_a \cdot t^b \quad (4)$$

其中, $s$ 为智能时钟电池寿命退化率, $C_T$ 为加速老化因子, $C_a$ 表示温度为 $T_0$ 时的老化率, $b$ 为与存储时间相关的待定系数, $t$ 为存储时间, $\Delta t$ 为温度 $T_0$ 到温度 $T$ 的时间差。

6. 根据权利要求5所述的一种智能时钟电池用高可靠性寿命评估方法,其特征在於:采

用最小二乘法非线性拟合的方式,对模型(4)两边取对数,令

$$y = \ln s, x = \ln t, a = \frac{T - T_0}{\Delta t} \ln C_T + \ln C_a \quad (5)$$

广义线性智能时钟电池寿命预测模型可简化为

$$y = a + bx \quad (6)$$

智能时钟电池寿命预测模型中参数a和b可通过线性回归分析确定。

## 一种智能时钟电池用高可靠性寿命评估方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种电池寿命评估方法,具体是一种智能时钟电池用高可靠性寿命评估方法。

### 背景技术

[0002] 由于智能时钟电池具有高储能密度、长寿命等优点,被广泛作为智能电表或者智能电器的备用电源。其高度的精确性与可靠性是智能电表时钟推广的巨大优势。目前对智能电表可靠性与寿命指标的评估预测是各级电网公司考核智能电表生产厂家产品的重要手段。

[0003] 随着电网智能化进程的推进,智能时钟电池的应用也日益广泛。但由于智能时钟电池应用实践较短,因此实际的使用过程出现了一些问题,比如如何建立智能时钟电池寿命退化率,如何建立可靠的数学模型对其内部健康状况进行评估等。

[0004] 智能时钟电池在备用状态下近似处于开路状态,但其存在钝化及自放电过程,会使得其主电源断开情况下可能无法正常输出,影响智能电表的可靠性。

[0005] 目前,一般通过对智能时钟电池进行老化试验近似评估其自放电特性,进而建立智能时钟电池寿命模型,但这种方式试验时间长、限制普适性低,且不具有实际可行性。

### 发明内容

[0006] 有鉴于此,本发明的目的在于针对现有智能时钟电池寿命预测方法的缺陷,提出一种智能时钟电池用高可靠性寿命评估的方法。该方法综合考虑了智能时钟电池加速老化试验结果,采用线性回归分析与多重非线性参数化拟合相结合的方法,智能地预测智能时钟电池寿命。

[0007] 本发明的技术方案:一种智能时钟电池用高可靠性寿命评估方法,包括以下步骤,

[0008] 对智能时钟电池进行加速老化试验,获取加速老化试验数据,并拟合加速老化试验数据,建立智能时钟电池寿命退化率模型;

[0009] 根据智能时钟电池寿命退化率模型初步建立智能时钟电池寿命预测模型,并对智能时钟电池寿命预测模型进行参数化,从而建立完整的智能时钟电池寿命预测模型;

[0010] 根据上述智能时钟电池寿命预测模型,进行老化规律与存储寿命的分析,进行可靠性评估。

[0011] 所述的加速老化试验包括以下步骤:

[0012] 1) 随机选择一批经检验合格的智能时钟电池;

[0013] 2) 按照规定的老化温度采用恒温恒湿箱对智能时钟电池进行加速老化;

[0014] 3) 对冷却24h的智能时钟电池的剩余寿命采用高精度万用表测量;4) 重复上述过程,多次试验求取平均值作为实时寿命预测值;

[0015] 5) 作出智能时钟电池剩余寿命与老化时间的对比关系,作为参数化寿命预测模型的原始数据。

[0016] 所述智能时钟电池寿命退化率按照广义线性模型表示为

$$[0017] \quad Y(t, T) = Y(t_0, T) \cdot f(t) \cdot F(T) \quad (1)$$

[0018] 式中 $Y(t, T)$ 为存储时间 $t$ 和温度 $T$ 时智能时钟电池的实际容量退化率; $Y(t_0, T)$ 为智能时钟电池老化前的初始值,即 $Y(t_0, T) = 100\%$ ;  $f(t)$ 为存储时间对智能时钟电池寿命的影响方程; $F(T)$ 为老化温度对智能时钟电池寿命的影响方程。

[0019] 所述存储时间对智能时钟电池寿命的影响方程 $f(t)$ 的具体表述为:

$$[0020] \quad f(t) = C_a \cdot t^b \quad (2)$$

[0021] 其中 $C_a$ 表示温度为 $T_0$ 时的老化率, $b$ 为与存储时间相关的待定系数;

[0022] 所述老化温度对智能时钟电池寿命退化率的影响方程 $F(T)$ 具体表述为:

$$[0023] \quad F(T) = C_T \frac{T - T_0}{\Delta t} \quad (3)$$

[0024] 其中, $C_T$ 为加速老化因子, $t$ 为存储时间, $\Delta t$ 为温度 $T_0$ 到温度 $T$ 的时间差, $C_T$ 参数的引入考虑了智能时钟电池寿命退化率与老化温度成正相关的特性。

[0025] 将 $F(T)$ 和 $f(t)$ 的表达式代入方程(1),智能时钟电池寿命退化率的模型即为

$$[0026] \quad s = C_T \left( \frac{T - T_0}{\Delta t} \right) \cdot C_a \cdot t^b \quad (4)$$

[0027] 其中, $s$ 为智能时钟电池寿命退化率, $C_T$ 为加速老化因子, $C_a$ 表示温度为 $T_0$ 时的老化率, $b$ 为与存储时间相关的待定系数, $t$ 为存储时间, $\Delta t$ 为温度 $T_0$ 到温度 $T$ 的时间差。

[0028] 采用最小二乘法非线性拟合的方式,对模型(4)两边取对数,令

$$[0029] \quad y = \ln s, x = \ln t, a = \frac{T - T_0}{\Delta t} \ln C_T + \ln C_a \quad (5)$$

[0030] 广义线性智能时钟电池寿命预测模型可简化为

$$[0031] \quad y = a + bx \quad (6)$$

[0032] 智能时钟电池寿命预测模型中参数 $a$ 和 $b$ 可通过线性回归分析确定。

[0033] 本发明的技术效果:本发明可以解决现有寿命预测方法中结果一致性差、有效性差及试验时间长等缺陷,具有经济可行、操作方便、普适性高等优点。

## 附图说明

[0034] 图1是本发明的智能时钟电池用寿命评估方法实施流程图。

[0035] 图2是本发明的智能时钟电池加速老化试验流程图。

[0036] 图3是本发明的智能时钟电池加速老化期间寿命退化率。

[0037] 图4是本发明的智能时钟电池寿命预测曲线图。

## 具体实施方式

[0038] 为使本发明的技术方案和优点更加明确,下面将结合附图对本发明进行详细说明。

[0039] 针对现有的智能时钟电池寿命预测的缺点,本发明实例提供了一种高可靠性的智

能时钟电池寿命评估方法,图1为本发明实例的具体实施过程。具体而言,首先对智能时钟电池进行加速老化试验,获取加速老化试验数据,并拟合加速老化试验数据,建立智能时钟电池寿命退化率模型;

[0040] 根据智能时钟电池寿命退化率模型初步建立智能时钟电池寿命预测模型,并对智能时钟电池寿命预测模型进行参数化,从而建立完整的智能时钟电池寿命预测模型;

[0041] 根据上述智能时钟电池寿命预测模型,进行老化规律与存储寿命的分析,进行可靠性评估。

[0042] 本发明中智能时钟电池进行加速老化试验可参见图2,具体包括以下步骤:随机选择一批经检验合格的智能时钟电池;按照规定的老化温度采用恒温恒湿箱对智能时钟电池进行加速老化;对冷却24h的智能时钟电池的剩余寿命采用高精度万用表测量;重复上述过程,多次试验求取平均值作为实时寿命预测值,进一步地,可作出智能时钟电池剩余寿命与老化时间的对比关系,为参数化寿命模型的原始数据。

[0043] 智能时钟电池的老化温度的典型值为室温和55℃,老化试验性能测试条件见表1。

[0044]

编号	温度T(℃)	湿度(%)	测试间隔t(周)	样本量
1	室温	80	5	32
2	55	80	5	32

[0045] 本发明实例中智能时钟电池寿命评估方法的建立需要基于以下假设成立:

[0046] 假设1、正常开路状态时,智能时钟电池寿命具有可退化性,;

[0047] 假设2、智能时钟电池的衰减规律具有一致性与可比拟性,不同的老化温度、湿度条件其失效机理与正常条件相同;

[0048] 假设3、自放电形成的LiCl钝化膜是智能时钟电池寿命退化的主要来源。基于上述的假设,本发明实例提出了一种智能时钟电池寿命评估方法,具体建立过程如下:

[0049] 智能时钟电池寿命退化率可按照广义线性模型表示,即

$$[0050] \quad Y(t, T) = Y(t_0, T) \cdot f(t) \cdot F(T) \quad (1)$$

[0051] 其中Y(t, T)为存储时间(t)和温度(T)时智能时钟电池的实际容量退化率;Y(t<sub>0</sub>, T)为智能时钟电池老化前的初始值,即Y(t<sub>0</sub>, T) = 100%;f(t)、F(T)分别为存储时间、老化温度对智能时钟电池寿命的影响。

[0052] 存储时间对智能时钟电池寿命退化率的影响由f(t)描述,即:

$$[0053] \quad f(t) = C_a \cdot t^b \quad (2)$$

[0054] 其中C<sub>a</sub>表示温度为T<sub>0</sub>时的老化率,b为与存储时间相关的待定系数。

[0055] 老化温度对智能时钟电池寿命退化率的影响可通过F(T)模型描述,即

$$[0056] \quad F(T) = C_T \cdot \left( \frac{T - T_0}{\Delta T} \right)^{\Delta T} \quad (3)$$

[0057] 其中,C<sub>T</sub>为加速老化因子,C<sub>T</sub>参数的引入考虑了智能时钟电池寿命退化率与老化温度成正相关的特性。

[0058] 将F(T)和f(t)的表达式代入方程(1),智能时钟电池寿命退化率的模型即为

$$[0059] \quad S = C_T \cdot \left( \frac{T - T_0}{\Delta T} \right)^{\Delta T} \cdot C_a \cdot t^b \quad (4)$$

[0060] 本发明实例采用了最小二乘法非线性拟合的方式,对模型(4)两边取对数,令

$$[0061] \quad y = \ln s, x = \ln t, a = \frac{T - T_0}{\Delta t} \ln C_T + \ln C_a \quad (5)$$

[0062] 广义线性寿命评估模型可简化为

$$[0063] \quad y = a + bx \quad (6)$$

[0064] 智能时钟电池用寿命评估方法中参数a和b可通过线性回归分析确定,得到估计为 $\hat{a}$ 和 $\hat{b}$ 。具体地实施方法为:

[0065] 设共有n个智能时钟电池,第i个智能时钟电池,由自变量 $x_i$ 产生的容量值为 $y_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , 则

$$[0066] \quad y_i = \hat{a} + \hat{b}x_i + \varepsilon_i \quad (7)$$

[0067] 其中, $\varepsilon_i$ 为样本测量误差,假设服从正态分布, $\hat{a}$ 和 $\hat{b}$ 分别为初始参数值和寿命退化速率。

[0068] 根据最小二乘法的原则,需求取 $\hat{a}$ 和 $\hat{b}$ 使 $\sum_{i=1}^n |\varepsilon_i|$ 最小,由于 $\sum_{i=1}^n |\varepsilon_i|$ 最小与 $\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2$ 最小一致,因此转化为求函数 $\varphi_{\hat{a}, \hat{b}} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2$ 的极小值,即:

$$[0069] \quad \varphi_{\hat{a}, \hat{b}} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{a} - \hat{b}x_i)^2 \quad (8)$$

[0070] 假设 $\varphi_{\hat{a}, \hat{b}} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2$ 最小,通常采用求极值的方法,取其对 $\hat{a}$ 和 $\hat{b}$ 的偏导数,并令其为0,即:

$$[0071] \quad \begin{cases} \frac{\partial \varphi}{\partial \hat{a}} = -2 \sum_{i=1}^n [(y_i - \hat{a} - \hat{b}x_i)] = 0 \\ \frac{\partial \varphi}{\partial \hat{b}} = -2 \sum_{i=1}^n [(y_i - \hat{a} - \hat{b}x_i)]x_i = 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$[0072] \quad \text{即} \begin{cases} na + n\bar{x}b = n\bar{y} \\ n\bar{x}a + (\sum_{i=1}^n x_i^2)b = \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{cases} \quad (10)$$

[0073]

[0074] 其中

$$[0075] \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (11)$$

$$[0076] \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (12)$$

[0077] 解之得

$$[0078] \quad \begin{cases} \hat{a} = \bar{y} - \hat{b}\bar{x} \\ \hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \end{cases} \quad (13)$$

[0079] 令

$$[0080] \quad l_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i y_i - n\bar{x}\bar{y} \quad (14)$$

$$[0081] \quad l_{xx} = \sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \quad (15)$$

$$[0082] \quad l_{yy} = \sum_{i=1}^n y_i^2 - n\bar{y}^2 \quad (16)$$

[0083] 广义线性寿命评估模型的最终表达式为

$$[0084] \quad y_i = \left(\bar{y} - \frac{l_{xy}}{l_{xx}}\bar{x}\right) + \frac{l_{xy}}{l_{xx}}x_i \quad (17)$$

[0085] 则线性回归方程相关系数的表达式为

$$[0086] \quad r = \frac{l_{xy}}{\sqrt{l_{xx}l_{yy}}} \quad (18)$$

[0087] 至此,广义线性模型参数的估计值 $\hat{a}$ 和 $\hat{b}$ 可求出,将其代入公式(5),可实现智能时钟电池用寿命评估的参数化,将采用回归分析计算的参数值与采用多重非线性拟合求取的值进行对比,表明对比结果一致,从而完成智能时钟电池寿命预测方法的建模。

[0088] 根据前期对智能时钟电池加速老化的试验结果,采用线性回归方程和多重非线性拟合相结合的方式确定模型参数,其结果见表2。

[0089]

编号	温度T(°C)	C <sub>T</sub>	C <sub>a</sub>	b
1	室温	1.417	-0.00051	0.685
2	55	0.122	-0.573	0.57

[0090] 本发明实例中智能时钟电池用寿命评估方法与老化温度直接相关,智能时钟电池老化温度不等时,本发明实例的寿命评估方法的系数有差异。

[0091] 由于系数b始终小于1,因此智能时钟电池存储寿命的退化率与存储时间呈负相关。采用本发明实例估计其寿命时,需综合考虑各个参数的综合作用。

[0092] 智能时钟电池老化220天后,其寿命退化速率的试验结果与采用本发明实例的拟合对比,结果见图3。结果表明,智能时钟电池寿命退化速度随着存储时间的延长和存储温度的降低逐步降低;虽然采用本发明的智能时钟电池寿命评估方法的拟合结果与极少部分试验数据有小范围偏差,但通过最优化参数化的方式,总可以获得最优的模型参数,实现对智能时钟电池短时间存储寿命高可靠性的预测。

[0093] 本发明实例对智能时钟电池长时间存储寿命预测的趋势可见于图4。结果表明,由于存储时间和老化温度的累积效应,高温时智能时钟电池的寿命退化率更严重。室温和55

℃时,将一批智能时钟电池储存各10年,电池的剩余容量分别减小到初始容量的85~90%和65~70%,因此其年平均自放电速率分别为1~1.5%和3~3.5%,可知室温时智能时钟电池的寿命约为55℃时寿命的3倍,55℃时存储10年的智能时钟电池已经不满足国家电网备用电源的要求。

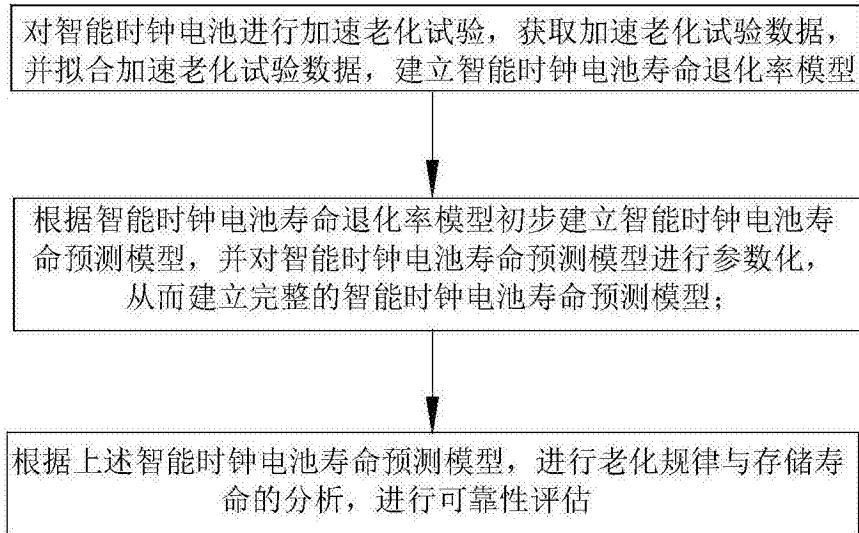


图1

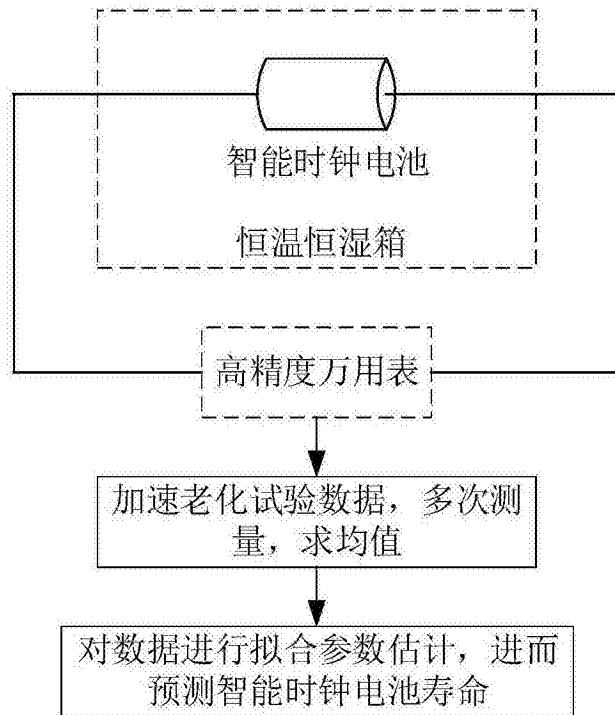


图2

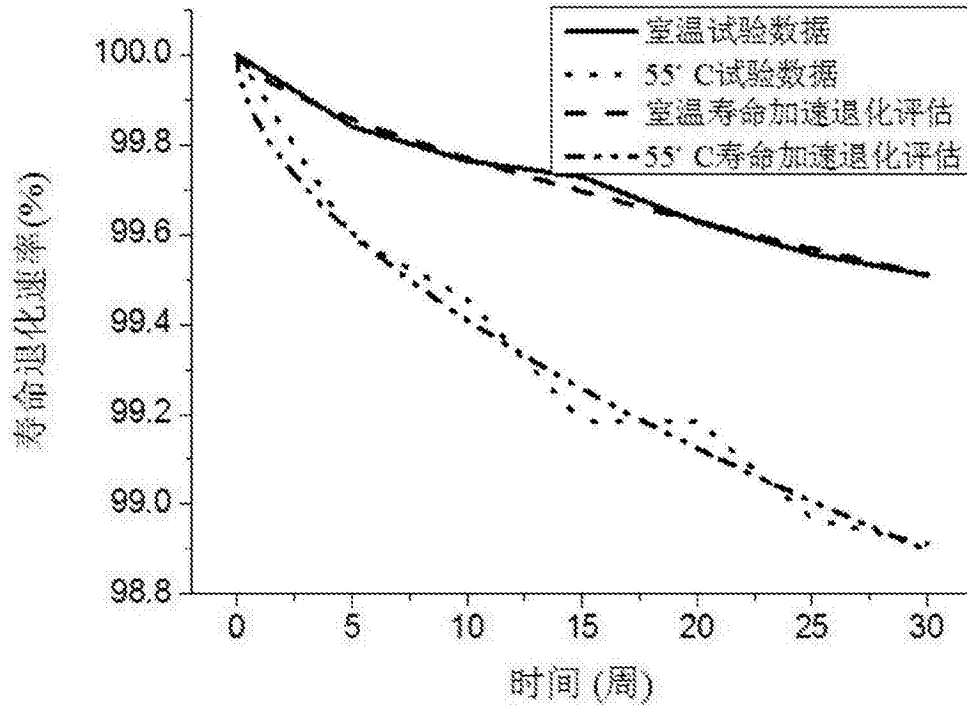


图3

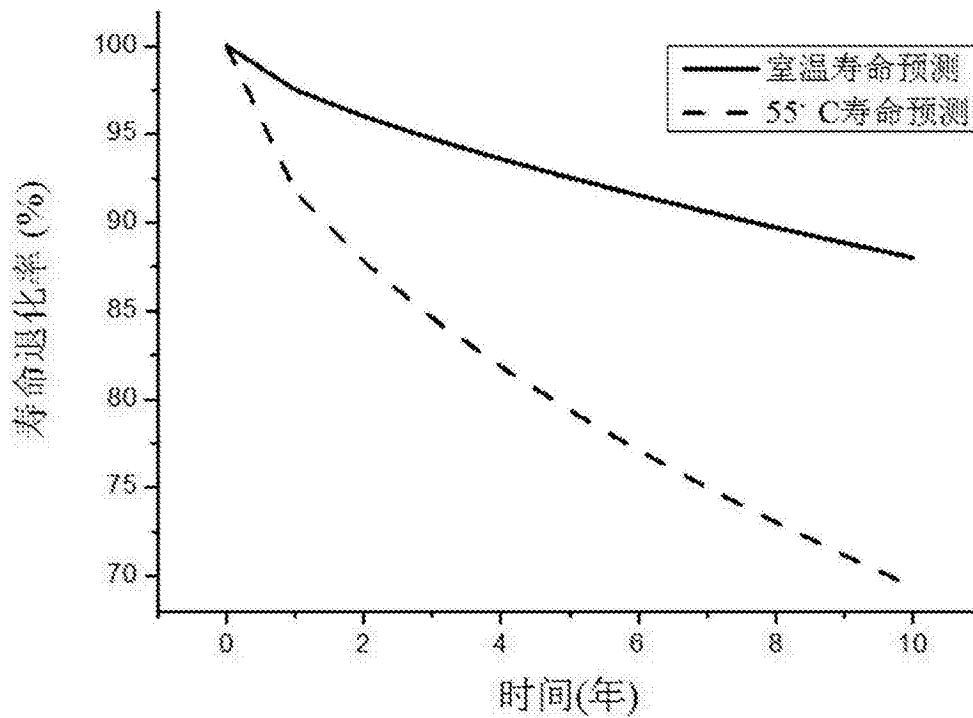


图4