



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103176137 B

(45) 授权公告日 2015.06.24

(21) 申请号 201310051029.8

(22) 申请日 2013.02.15

(73) 专利权人 中国南方电网有限责任公司调峰调频发电公司

地址 510630 广东省广州市天河区龙口东路32号

专利权人 杭州高特电子有限公司

(72) 发明人 陈满 李勇琦 黄晓东 刘邦金 钟朝现 王浩 刘爱华 彭鹏 王文辉

(74) 专利代理机构 浙江杭州金通专利事务有限公司 33100

代理人 王桂名

(51) Int. Cl.

G01R 31/36(2006.01)

(56) 对比文件

CN 102866361 A, 2013.01.09, CN 102508164 A, 2012.06.20, CN 102590751 A, 2012.07.18, CN 102253343 A, 2011.11.23, US 2007001679 A1, 2007.01.04, US 2012319652 A1, 2012.12.20,

审查员 贾晶晶

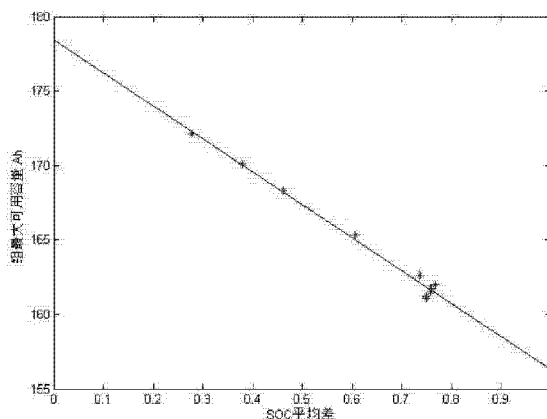
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

基于电池 SOC 不均匀性的电池组健康状态评价方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于电池 SOC 不均匀性的电池组健康状态评价方法,该方法依次包括以下步骤:(1)测量并计算电池组运行过程中 m 个不同时刻的电池组信息数据;(2)计算所有 m 个不同时刻的电池组信息数据对应的单体电池 SOC 不均匀性 USOC_i;(3)计算所有 m 个不同时刻的电池组信息数据对应的电池组最大可用容量 CMax_i;(4)得到拟合函数 p(USOC_i);(5)计算相关系数 r;(6)重新选取一个任意时刻 k,计算该时刻的电池组最大可用容量 CMax_k,做判断,若判断成立,则说明该电池组健康状态差,需要进行更换维护;若不成立,则说明该电池组健康状态良好,无需维护。本发明计算得出的最大可用容量值准确性高,计算简便,能够更及时快速的反应电池组当前的健康状态。



1. 一种基于电池 SOC 不均匀性的电池组健康状态评价方法, 该方法依次包括以下步骤:

(1) 测量并计算电池组运行过程中 m 个不同时刻的电池组信息数据, 单体电池节数为 n , 每个时刻的信息数据包括电池组中各单体电池的荷电状态 SOC、各单体电池的健康状态 SOH, 电池组的额定容量 Cap ;

(2) 计算所有 m 个不同时刻的电池组信息数据对应的单体电池 SOC 不均匀性 $USOC_i$ ($i = 1, \dots, m$);

(3) 计算所有 m 个不同时刻的电池组信息数据对应的电池组最大可用容量 $CMax_i$ ($i = 1, \dots, m$);

(4) 利用最小二乘法拟合步骤 (2)、(3) 计算得到的各个不同时刻的电池组信息数据的单体电池 SOC 不均匀性 $USOC_i$ 和电池组最大可用容量 $CMax_i$, 得到拟合函数 $p(USOC_i)$;

(5) 计算步骤 (4) 中的电池信息数据点 ($USOC_i, CMax_i$) ($i = 1, \dots, m$) 与步骤 (4) 拟合得到的函数 $p(USOC_i)$ 之间的相关系数 r , 当 r 大于阈值 d_1 时, 认为函数 $p(USOC_i)$ 有效, 可用于计算电池组最大可用容量, 否则需要重复步骤 (1)-(5);

(6) 重新选取一个任意时刻 k , 测量该时刻的各单体电池荷电状态, 即 $SOC_{k1}, SOC_{k2}, \dots, SOC_{kn}$, 计算该时刻的单体电池 SOC 不均匀性 $USOC^k$, 利用 $USOC^k$ 和函数 $p(USOC_i)$ 计算该时刻的电池组最大可用容量 $CMax_k$; 设定阈值 d_2 , $10\% \leq d_2 \leq 30\%$, 将计算得到的 $CMax_k$ 做如下判断:

$$CMax_k \leq Cap(1-d_2)$$

若判断成立, 则说明该电池组健康状态差, 需要进行更换维护; 若不成立, 则说明该电池组健康状态良好, 无需维护。

2. 根据权利要求 1 所述的基于电池 SOC 不均匀性的电池组健康状态评价方法, 其特征在于: 步骤 (2) 中单体电池 SOC 不均匀性 $USOC_i$ 的计算方式如下:

$$USOC_i = \frac{\sum_{j=1}^n |SOC_{ij} - SOC_{iavg}|}{n}, \quad SOC_{iavg} = \frac{\sum_{j=1}^n SOC_{ij}}{n};$$

所述的 SOC_{iavg} 为第 i 点电池组信息数据的单体电池 SOC 平均值; 所述的 SOC_{ij} 为第 i 点电池组信息数据的第 j 个单体电池的 SOC 值。

3. 根据权利要求 1 所述的基于电池 SOC 不均匀性的电池组健康状态评价方法, 其特征在于: 步骤 (2) 中单体电池 SOC 不均匀性 $USOC_i$ 的计算方式如下:

$$USOC_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (SOC_{ij} - SOC_{iavg})^2}{n}}, \quad SOC_{iavg} = \frac{\sum_{j=1}^n SOC_{ij}}{n};$$

所述的 SOC_{iavg} 为第 i 点电池组信息数据的单体电池 SOC 平均值; 所述的 SOC_{ij} 为第 i 点电池组信息数据的第 j 个单体电池的 SOC 值。

4. 根据权利要求 1 所述的基于电池 SOC 不均匀性的电池组健康状态评价方法, 其特征在于: 步骤 (3) 中电池组最大可用容量 $CMax_i$ 的计算方式如下:

$$CMax_i = \left\{ \min_{1 \leq j \leq n} \{SOC_{ij} \times SOH_{ij}\} + \min_{1 \leq j \leq n} \{(1 - SOC_{ij}) \times SOH_{ij}\} \right\} \times Cap$$

所述的 SOC_{ij} 为第 i 点电池组信息数据的第 j 个单体电池的 SOC 值 ; 所述的 SOH_{ij} 为第 i 点电池组信息数据的第 j 个单体电池的 SOH 值。

5. 根据权利要求 1 所述的基于电池 SOC 不均匀性的电池组健康状态评价方法, 其特征在于: 步骤 (5) 中相关系数 r 的计算方式如下:

$$r\{USOC_i, CMax_i\} = \frac{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \{|[USOC_i - \overline{USOC}_i]| \times |[CMax_i - \overline{CMax}_i]|\}}{\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m [USOC_i - \overline{USOC}_i]^2} \times \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m [CMax_i - \overline{CMax}_i]^2}} ;$$

阈值 d^1 的取值为 $0.9 \sim 0.999$ 。

6. 根据权利要求 1 所述的基于电池 SOC 不均匀性的电池组健康状态评价方法, 其特征在于: 步骤 (1) 中 m 的取值范围为 $10 \sim 50$, 每两个电池组信息数据取点时间间隔为 1 小时。

基于电池 SOC 不均匀性的电池组健康状态评价方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种电池组健康状态评价方法,尤其涉及一种基于电池 SOC 不均匀性的电池组健康状态评价方法。

背景技术

[0002] 在我国,国内领先企业和研究单位已经在进行大容量储能系统的研制,其他技术领域的 863 也积极支持大容量锂离子电池研究。但是由于前期各个研究机构都把注意力主要集中在大容量电池和装置研发上,而忽视了大容量储能电池组、电池堆的运行维护技术。在储能电站的应用中需要使用上百节电池串联成组,以满足高电压、高功率的需求。为了更好地利用电池组的使用效率,提高电池组的使用寿命,需要时刻对电池组的健康状态进行评估,而电池组最大可用容量值是电池组健康状态的最主要指标;电池组最大可用容量会随着电池组的运行不断变换,从而导致电池组最大可用容量的计算准确度不断下降,到目前为止没有一种相对稳定同时精度较高的电池组最大可用容量评价算法。

[0003] 中国专利 CN102520361A 公开了一种电池组 SOH 值评估方法,该方法包括基于电池容量 SOH 值评估步骤和基于电池内阻 SOH 值评估步骤的结合、或基于电池容量与 SOC 值综合 SOH 值评估步骤和基于电池内阻 SOH 值评估步骤的结合。其不足之处在于:该方法只用于粗略的评估电池组的健康状态,得到的结论不准确。

发明内容

[0004] 为了克服现有技术的不足,本发明提供了一种基于电池 SOC 不均匀性的电池组健康状态评价方法,该方法能有效地通过前期运行数据拟合电池 SOC 不均匀性与电池组最大可用容量之间的线性关系,后期可通过电池 SOC 不均匀性预估电池组最大可用容量值并判断电池组的健康状态。

[0005] 为实现上述发明目的,本发明的技术方案是:

[0006] 一种基于电池 SOC 不均匀性的电池组健康状态评价方法,该方法依次包括以下步骤:

[0007] (1) 测量并计算电池组(单体电池节数为 $n, n > 1$) 运行过程中 m 个 ($m > 1$) 不同时刻的电池组信息数据,每个时刻的信息数据包括电池组中各单体电池的荷电状态 SOC、各单体电池的健康状态 SOH, 电池组的额定容量 Cap ;

[0008] (2) 计算所有 m 个不同时刻的电池组信息数据对应的单体电池 SOC 不均匀性 $USOC_i (i=1, \dots, m)$;

[0009] (3) 计算所有 m 个不同时刻的电池组信息数据对应的电池组最大可用容量 $CMax_i (i=1, \dots, m)$;

[0010] (4) 利用最小二乘法拟合步骤(2)、(3) 计算得到的各个不同时刻的电池组信息数据的单体电池 SOC 不均匀性 $USOC_i$ 和电池组最大可用容量 $CMax_i$, 得到拟合函数 $p(USOC_i)$;

[0011] (5) 计算步骤(4)中的电池信息数据点 $(USOC_i, CMax_i) (i=1, \dots, m)$ 与(4)拟合得到

的函数 $p(USOC_i)$ 之间的相关系数 r , 当 r 大于阈值 d_1 时, 认为函数 $p(USOC_i)$ 有效, 可用于计算电池组最大可用容量, 否则需要重复步骤 (1) - (5);

[0012] (6) 重新选取一个任意时刻 k , 测量该时刻的各单体电池荷电状态, 即 $SOC_{k1}, SOC_{k2}, \dots, SOC_{kn}$, 计算该时刻的单体电池 SOC 不均匀性 $USOC_k$, 利用 $USOC_k$ 和函数 $p(USOC_i)$ 计算该时刻的电池组最大可用容量 $CMax_k$; 设定阈值 d_2 , $10\% \leq d_2 \leq 30\%$, 将计算得到的 $CMax_k$ 做如下判断:

[0013] $CMax_k \leq Cap(1-d_2)$

[0014] 若判断成立, 则说明该电池组健康状态差, 需要进行更换维护; 若不成立, 则说明该电池组健康状态良好, 无需维护。

[0015] 荷电状态 SOC(state of charge) 是指蓄电池使用一段时间或长期搁置不用后的剩余容量与其完全充电状态的容量的比值, 常用百分数表示。其取值范围为 $0 \sim 1$, 当 $SOC=0$ 时表示电池放电完全, 当 $SOC=1$ 时表示电池完全充满。

[0016] 电池的健康状态 SOH (State of Health) 用来描述动力电池的健康状态, 特别用于电动汽车领域各种动力电池, 比如铅酸电池、镍氢电池、锂电池等的健康状况, 剩余寿命等。SOH 的计算或估算可参照现有技术中公开的方法, 如中国专利 102508164A、101208847、102866361A、102520361A 等公开的方法。

[0017] 作为一种优选, 步骤 (2) 中单体电池 SOC 不均匀性 $USOC_i$ 的计算方式如下:

$$USOC_i = \frac{\sum_{j=1}^n |SOC_{ij} - SOC_{iavg}|}{n}, \quad SOC_{iavg} = \frac{\sum_{j=1}^n SOC_{ij}}{n};$$

[0018] 所述的 SOC_{iavg} 为第 i 点电池组信息数据的单体电池 SOC 平均值; 所述的 SOC_{ij} 为第 i 点电池组信息数据的第 j 个单体电池的 SOC 值。

[0019] 作为另一种优选, 步骤 (2) 中单体电池 SOC 不均匀性 $USOC_i$ 的计算方式如下:

$$USOC_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (SOC_{ij} - SOC_{iavg})^2}{n}}, \quad SOC_{iavg} = \frac{\sum_{j=1}^n SOC_{ij}}{n};$$

[0020] 所述的 SOC_{iavg} 为第 i 点电池组信息数据的单体电池 SOC 平均值; 所述的 SOC_{ij} 为第 i 点电池组信息数据的第 j 个单体电池的 SOC 值。

[0021] 优选的, 步骤 (3) 中电池组最大可用容量 $CMax_i$ 的计算方式如下:

$$[0022] \quad CMax_i = \left\{ \min_{1 \leq j \leq n} \{SOC_{ij} \times SOH_{ij}\} + \min_{1 \leq j \leq n} \{(1 - SOC_{ij}) \times SOH_{ij}\} \right\} \times Cap$$

[0023] 所述的 SOC_{ij} 为第 i 点电池组信息数据的第 j 个单体电池的 SOC 值; 所述的 SOH_{ij} 为第 i 点电池组信息数据的第 j 个单体电池的 SOH 值。

[0024] 优选的, 步骤 (5) 中相关系数 r 的计算方式如下:

$$[0025] \quad r\{USOC_i, CMax_i\} = \frac{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \{ |[USOC_i - \overline{USOC_i}]| \times |[CMax_i - \overline{CMax_i}]| \}}{\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m [USOC_i - \overline{USOC_i}]^2} \times \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m [CMax_i - \overline{CMax_i}]^2}};$$

[0026] 阈值 d_1 的取值为 $0.9 \sim 0.999$ 。

[0027] 优选的, 步骤(1)中 m 的取值范围为 $10 \sim 50$, 每两个电池组信息数据取点时间间隔为 1 小时。

[0028] 本发明的基于 SOC 不均匀性的电池组健康状态评价方法, 利用最小二乘法拟合电池组运行过程中计算得到的单体电池 SOC 不均匀性与电池组最大可用容量之间的线性关系, 同时通过相关系数的选择, 找到最有效的拟合函数, 从而通过得到的拟合函数直观的计算电池组的最大可用容量, 评估电池组健康状态, 进而制定相应的运行策略, 该方法计算得出的最大可用容量值准确性高, 计算简便, 能够更及时快速的反应电池组当前的健康状态。

附图说明

[0029] 图 1 是 SOC 不均匀性与最大可用容量的线性关系图。

具体实施方式

[0030] 下面结合实施例进一步详细说明本发明。

[0031] 一种基于电池组最大可用容量的电池组健康状态评价方法, 该方法依次包括以下步骤:

[0032] (1) 测量并计算电池组(单体电池节数为 n) 运行过程中 m 个不同时刻的电池组信息数据, 每个时刻的信息数据包括电池组中各单体电池的荷电状态 SOC、各单体电池的健康状态 SOH, 电池组的额定容量 Cap 。

[0033] 设 $n=50$, $m=11$, 且每两个电池组信息数据取点时间间隔为 1 小时(3600s), 测量得到电池组静止时刻的 SOC 数据, 如表 1 所示。

[0034] 表 1

[0035]

| 时间 (s) | 0 | 3600 | 7200 | 10800 | 14400 | 18000 | 21600 | 25200 | 28800 | 32400 | 36000 |
|-----------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1# | 100.0 | 84.6 | 58.5 | 35.1 | 27.7 | 10.1 | 15.3 | 38.7 | 64.7 | 80.1 | 97.7 |
| 2# | 99.6 | 84.2 | 58.3 | 34.9 | 27.6 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.5 | 79.8 | 97.2 |
| 3# | 99.5 | 84.2 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.2 |
| 4# | 99.6 | 84.2 | 58.3 | 35.0 | 27.6 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.5 | 79.8 | 97.2 |
| 5# | 99.5 | 84.2 | 58.2 | 34.9 | 27.6 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.8 | 97.2 |
| 6# | 99.5 | 84.2 | 58.2 | 34.9 | 27.6 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.8 | 97.2 |
| 7# | 90.0 | 74.6 | 48.5 | 25.1 | 17.7 | 0.1 | 5.7 | 30.7 | 58.6 | 75.0 | 93.8 |
| 8# | 99.5 | 84.2 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.8 | 97.2 |
| 9# | 99.4 | 84.1 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.1 |
| 10# | 99.4 | 84.1 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.1 |
| 11# | 99.5 | 84.2 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.8 | 97.2 |
| 12# | 99.6 | 84.2 | 58.3 | 34.9 | 27.6 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.5 | 79.8 | 97.2 |
| 13# | 99.5 | 84.2 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.2 |
| 14# | 99.6 | 84.2 | 58.3 | 34.9 | 27.6 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.8 | 97.2 |
| 15# | 99.4 | 84.1 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.1 |
| 16# | 99.5 | 84.2 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.2 |
| 17# | 89.5 | 74.2 | 48.2 | 24.9 | 17.6 | 0.1 | 5.7 | 30.5 | 58.2 | 74.6 | 93.3 |
| 18# | 99.5 | 84.1 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.1 |
| 19# | 99.5 | 84.2 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.2 |
| 20# | 99.4 | 84.1 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.1 |
| 21# | 99.6 | 84.2 | 58.3 | 34.9 | 27.6 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.5 | 79.8 | 97.3 |
| 22# | 99.5 | 84.2 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.2 |
| 23# | 99.5 | 84.2 | 58.2 | 34.9 | 27.6 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.8 | 97.2 |
| 24# | 99.5 | 84.2 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.2 |
| 25# | 99.6 | 84.2 | 58.3 | 35.0 | 27.6 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.5 | 79.8 | 97.3 |
| 26# | 99.5 | 84.2 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.2 |
| 27# | 99.4 | 84.1 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.1 |
| 28# | 99.6 | 84.2 | 58.2 | 34.9 | 27.6 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.8 | 97.2 |
| 29# | 99.6 | 84.2 | 58.2 | 34.9 | 27.6 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.8 | 97.2 |
| 30# | 99.6 | 84.2 | 58.3 | 34.9 | 27.6 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.5 | 79.8 | 97.2 |
| 31# | 99.4 | 84.1 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.1 |
| 32# | 99.5 | 84.2 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.2 |
| 33# | 99.5 | 84.1 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.1 |
| 34# | 99.5 | 84.2 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.2 |
| 35# | 99.6 | 84.2 | 58.3 | 34.9 | 27.6 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.5 | 79.8 | 97.2 |
| 36# | 99.6 | 84.2 | 58.2 | 34.9 | 27.6 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.8 | 97.2 |
| 37# | 99.5 | 84.1 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.1 |
| 38# | 99.4 | 84.1 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.2 | 38.4 | 64.3 | 79.7 | 97.1 |
| 39# | 99.5 | 84.2 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.2 |
| 40# | 99.6 | 84.2 | 58.3 | 34.9 | 27.6 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.5 | 79.8 | 97.2 |
| 41# | 99.5 | 84.2 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.2 |

[0036]

| | | | | | | | | | | | |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 44# | 99.5 | 84.1 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.1 |
| 45# | 99.4 | 84.1 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.1 |
| 46# | 99.5 | 84.1 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.1 |
| 47# | 99.5 | 84.2 | 58.2 | 34.9 | 27.6 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.8 | 97.2 |
| 48# | 99.5 | 84.1 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.1 |
| 49# | 99.5 | 84.1 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.1 |
| 50# | 99.4 | 84.1 | 58.2 | 34.9 | 27.5 | 10.1 | 15.3 | 38.5 | 64.4 | 79.7 | 97.1 |
| 组最大可用容量 | 161.1 | 161.2 | 161.5 | 161.7 | 161.8 | 162.0 | 162.6 | 165.3 | 168.3 | 170.1 | 172.1 |
| SOC 平均差 | 0.75 | 0.750 | 0.759 | 0.76 | 0.759 | 0.768 | 0.737 | 0.6067 | 0.462 | 0.378 | 0.279 |

[0037] (2) 计算所有 m 个不同时刻的电池组信息数据对应的单体电池 SOC 不均匀性 $USOC_i (i=1, \dots, m)$, 采用下述方法一计算单体电池 SOC 不均匀性 $USOC_i$:

[0038] 方法一:

$$[0039] \quad USOC_i = \frac{\sum_{j=1}^n |SOC_{ij} - SOC_{iavg}|}{n}, \quad SOC_{iavg} = \frac{\sum_{j=1}^n SOC_{ij}}{n};$$

[0040] 所述的 SOC_{iavg} 为第 i 点电池组信息数据的单体电池 SOC 平均值; 所述的 SOC_{ij} 为第 i 点电池组信息数据的第 j 个单体电池的 SOC 值;

[0041] (3) 计算所有 m 个不同时刻的电池组信息数据对应的电池组最大可用容量 $CMax_i (i=1, \dots, m)$, 电池组最大可用容量 $CMax_i$ 的计算方式如下:

$$[0042] \quad CMax_i = \left\{ \min_{1 \leq j \leq n} \{SOC_{ij} \times SOH_{ij}\} + \min_{1 \leq j \leq n} \{(1 - SOC_{ij}) \times SOH_{ij}\} \right\} \times Cap$$

[0043] 所述的 SOC_{ij} 为第 i 点电池组信息数据的第 j 个单体电池的 SOC 值; 所述的 SOH_{ij} 为第 i 点电池组信息数据的第 j 个单体电池的 SOH 值;

[0044] (4) 利用最小二乘法拟合步骤(2)、(3) 计算得到的各个不同时刻的电池组信息数据的单体电池 SOC 不均匀性 $USOC_i$ 和电池组最大可用容量 $CMax_i$, 得到拟合函数 $p(USOC_i)$; 所述的“拟合”即不要求所作的曲线完全通过所有的数据点, 只要求所得的曲线能反映数据的基本趋势。也就是说, 寻找一条曲线, 使数据点均在离此曲线的上方或下方不远处;

[0045] 所述的最小二乘法如下:

[0046] 从整体上考虑拟合得到的近似函数 $p(USOC_i)$ 同所给数据点 $(USOC_i, CMax_i)$

$(i=1, \dots, m)$ 的误差 $r_i = p(USOC_i) - CMax_i (i=0, 1, \dots, m)$ 的平方和 $\sum_{i=0}^m r_i^2$ 的算术平方根大小;

[0047] 具体作法是:

[0048] 对给定数据 $(USOC_i, CMax_i) (i=1, \dots, m)$, 在取定的函数类 Φ 中, 求 $p(USOC) = \Phi$, 本实施例中选用一次线性函数, 使误差 $r_i = p(USOC_i) - CMax_i (i=0, 1, \dots, m)$ 的平方和最小(由于数据中不存在负数, 因此平方和最小即为平方和的算术平方根最小), 即

$$[0049] \quad \sum_{i=0}^m r_i^2 = \sum_{i=0}^m [p(x_i) - y_i]^2 = \min ;$$

[0050] 图 1 表示了 SOC 不均匀性与最大可用容量的线性关系, 拟合得到如下方程式:
 $y = -22.1312x + 178.4421$ 。

[0051] (5) 计算步骤(4)中的电池信息数据点 ($USOC_i, CMax_i$) ($i=1, \dots, m$) 与(4)拟合得到的函数 $p(USOC_i)$ 之间的相关系数 r , 当 r 大于阈值 d_1 时, 认为函数 $p(USOC_i)$ 有效, 可用于评价电池组最大可用容量, 否则需要重复步骤(1) - (5); 相关系数 r 的计算方式如下:

$$[0052] \quad r\{USOC_i, CMax_i\} = \frac{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \{|[USOC_i - \overline{USOC_i}]| \times |[CMax_i - \overline{CMax_i}]|\}}{\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m [USOC_i - \overline{USOC_i}]^2} \times \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m [CMax_i - \overline{CMax_i}]^2}} ;$$

[0053] 设定阈值 d_1 的取值为 0.95。

[0054] 按上述计算公式, 相关系数 $r = 0.9948 > d_1 = 0.95$, 故函数 $p(USOC_i)$ 有效, 可用于评价电池组最大可用容量。

[0055] (6) 重新选取一个任意时刻 k , 测量该时刻的各单体电池荷电状态, 即 $SOC_{k1}, SOC_{k2}, \dots, SOC_{kn}$, 计算该时刻的单体电池 SOC 不均匀性 $USOC_k$, 利用 $USOC_k$ 和函数 $p(USOC_i)$ 计算该时刻的电池组最大可用容量 $CMax_k$; 设定阈值 d_2 , $10\% \leq d_2 \leq 30\%$, 将计算得到的 $CMax_k$ 做如下判断:

$$[0056] \quad CMax_k \leq Cap(1 - d_2)$$

[0057] 若判断成立, 则说明该电池组健康状态差, 需要进行更换维护; 若不成立, 则说明该电池组健康状态良好, 无需维护。

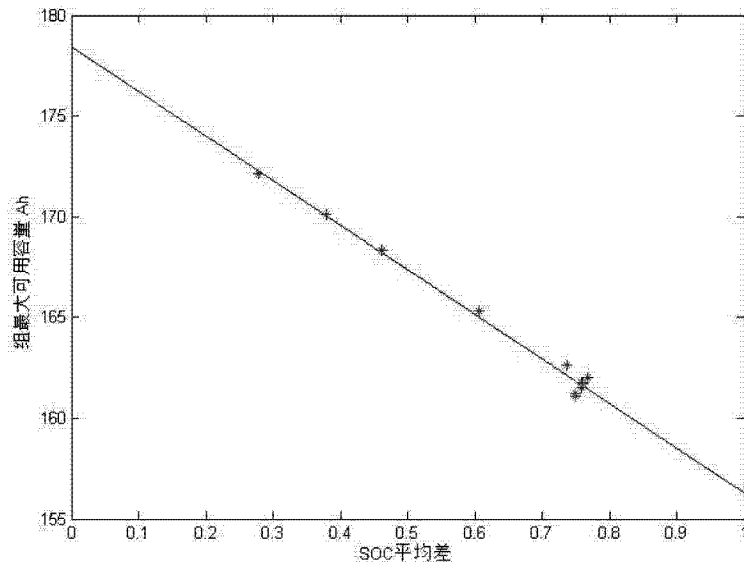


图 1