权利要求书

1．一种可重构电池系统拓扑结构优化设计方法，其特征在于，包括以下步骤：

**步骤1：**记拓扑结构待优化的可重构电池系统中的电池数量为，记可重构电池系统所允许的开关数量上限为；

**步骤2：**设置遗传算法参数，包括最大迭代次数、种群数量、交叉概率和变异概率；

**步骤3：**随机生成个具有个电池和不多于个开关的可重构电池系统的拓扑结构方案，作为遗传算法的初始种群；

**步骤4：**对步骤3中的个拓扑结构依次构建有向图模型，获得代表不同拓扑结构的个有向图模型，记为原始有向图模型，并记迭代次数；

**步骤5：**对个原始有向图模型进行交叉操作，获得个新的图模型；

**步骤6：**对个新的图模型进行变异操作，获得个改进图模型；

**步骤7：**对个原始有向图模型和经步骤34获得的个改进图模型分别进行分析评价，获得每个图模型的适应度；

**步骤8：**从个原始有向图模型和个变异后的图模型中选择个适应度最小的图模型，重新记为原始有向图模型；

**步骤9：**令，当时，按顺序依次重复步骤5、步骤6、步骤7、步骤8和步骤9；

**步骤10：**在步骤9获得的个原始有向图模型中，选取具有最小适应度的原始有向图模型，将其所代表的可重构电池系统拓扑结构作为最终优化结果。

2. 如权利要求1所述的可重构电池系统拓扑结构优化设计方法，其特征在于，所述步骤4中的“对步骤3中的个拓扑结构依次构建有向图模型，获得代表不同拓扑结构的个有向图模型”进一步包括以下内容：

针对每个拓扑结构，构建一个有向图模型，其中以有向图模型的一条有向边代表拓扑结构中的一个电池，有向边的方向为从电池负极指向电池正极的方向，以顶点相同但方向相反的两条有向边代表拓扑结构中的一个开关，以有向图模型的顶点代表拓扑结构中电池与电池、电池与开关、开关与开关的连接点。

3. 如权利要求1 所述的可重构电池系统拓扑结构优化设计方法，其特征在于，所述步骤5中的“对个原始有向图模型进行交叉操作，获得个新的有向图模型”进一步包括以下内容：

**步骤51：**对于每个有向图模型，构建其对应的关联矩阵，其中关联矩阵的前列分别代表个电池与有向图中各顶点的连接关系，关联矩阵的剩余列中每两列代表一个开关与有向图中各顶点的连接关系；

**步骤52：**将所有的原始有向图模型以两个一组的方式进行分组；

**步骤53：**对于每组有向图模型，以交叉概率随机确定是否进行交叉操作，若进行交叉操作，则在该组图模型对应的2个关联矩阵中，随机选取相同位置的代表一个电池或一个开关的列进行互换，得到2个新的有向图模型；

4. 如权利要求1 所述的可重构电池系统拓扑结构优化设计方法，其特征在于，所述步骤6中的“对个新的有向图模型进行变异操作，获得个改进有向图模型”进一步包括以下内容：

**步骤61：**对于每个有向图模型，构建其对应的关联矩阵，其中关联矩阵的前列分别代表个电池与有向图中各顶点的连接关系，关联矩阵的剩余列中每两列代表一个开关与有向图中各顶点的连接关系；

**步骤62：**对于每个有向图模型，以变异概率随机确定是否进行变异操作，若进行变异操作，则在该图模型对应的关联矩阵中，随机选取代表一个电池或一个开关的一列或两列，随机选择该电池或开关的两个连接点，得到一个改进有向图模型。

说明书

**一种可重构电池系统拓扑结构优化设计方法**

## 所属技术领域

本发明提出一种可重构电池系统拓扑结构优化设计方法，属于优化设计技术领域。

## 背景技术

相较于传统固定串并联的电池系统，可重构电池系统由于具有能够精准控制电池单体能量流、主动调节系统输出、最大化系统可用容量、隔离故障电池能优势，近年来正在受到越来越多的关注。由于可重构电池系统的潜在功能受其拓扑结构（系统中的电池与电池、电池与开关、开关与开关间的连接关系）的直接影响，因此对系统拓扑结构的设计是构建可重构电池系统的基础。在现有研究中，对可重构电池系统拓扑结构的设计大多基于专家经验，且仅考虑单一目标。然而由于可重构电池系统具有多重功能，基于专家经验的设计显然无法证实是多目标下的最优解。因此，有必要开发一种通用的可重构电池系统拓扑结构优化设计方法框架。

## 发明内容

为解决现有对可重构电池系统拓扑结构设计的不足，本发明提供一种可重构电池系统拓扑结构优化设计方法，能够根据实际需要实现不同优化目标下的可重构电池系统拓扑结构优化设计，具有很高的实际应用价值。

一种可重构电池系统拓扑结构优化设计方法，具体包括以下步骤：

**第一步：**记拓扑结构待优化的可重构电池系统中的电池数量为，记可重构电池系统所允许的开关数量上限为；

**第二步：**设置遗传算法参数，包括最大迭代次数、种群数量、交叉概率和变异概率；

**第三步：**随机生成个具有个电池和不多于个开关的可重构电池系统的拓扑结构方案，作为遗传算法的初始种群；

**第四步：**基于有向图针对步骤3中的每个拓扑结构，构建一个有向图模型，其中以有向图模型的一条有向边代表拓扑结构中的一个电池，有向边的方向为从电池负极指向电池正极的方向，以顶点相同但方向相反的两条有向边代表拓扑结构中的一个开关，以有向图模型的顶点代表拓扑结构中电池与电池、电池与开关或开关与开关的连接点，获得代表不同拓扑结构的个图模型，记为原始有向图模型，并记迭代次数；

**第五步：**对个原始有向图模型进行交叉操作，获得个新的图模型。首先对于每个有向图模型，构建其对应的关联矩阵，其中关联矩阵的前列分别代表个电池与有向图中各顶点的连接关系，关联矩阵的剩余列中每两列代表一个开关与有向图中各顶点的连接关系；其次将所有的原始有向图模型以两个一组的方式进行分组；最后，对于每组有向图模型，以交叉概率随机确定是否进行交叉操作，若进行交叉操作，则在该组图模型对应的2个关联矩阵中，随机选取相同位置的代表一个电池或一个开关的列进行互换，得到2个新的有向图模型；

**第六步：**对个新的有向图模型进行变异操作，获得个改进有向图模型。首先，对于每个有向图模型，构建其对应的关联矩阵，其中关联矩阵的前列分别代表个电池与有向图中各顶点的连接关系，关联矩阵的剩余列中每两列代表一个开关与有向图中各顶点的连接关系；然后，对于每个有向图模型，以变异概率随机确定是否进行变异操作，若进行变异操作，则在该图模型对应的关联矩阵中，随机选取代表一个电池或一个开关的一列或两列，随机选择该电池或开关的两个连接点，得到一个改进有向图模型。

**第七步：**对个原始有向图模型和个改进有向图模型分别进行分析评价，获得每个有向图模型的适应度；

**第八步：**从个原始有向图模型和个变异后的图模型中选择个适应度最小的图模型，重新记为原始有向图模型；

**第九步：**令，当时，按顺序依次重复第六、七、八、九步；

**步骤10：**在第九步获得的个原始有向图模型中，选取具有最小适应度的原始有向图模型，将其所代表的可重构电池系统拓扑结构作为最终优化结果。

## 附图说明

图1为本发明实施例的可重构电池系统拓扑结构优化设计方法的步骤流程图。

图2为本发明实施例的可重构电池系统拓扑结构优化过程中最优拓扑结构的适应度变化曲线。

图3为本发明实施例的针对4电池规模的可重构电池系统拓扑结构的优化结果。

## 具体实施方式

下面结合附图说明及具体实施案例对本发明提出的可重构电池系统拓扑结构优化设计方法进行进一步说明。

如图1所示，一种可重构电池系统拓扑结构优化设计方法，包括一下步骤：

S1. 本实施例中，以3电池可重构电池系统的拓扑结构为优化对象，即，参考现有可重构电池系统拓扑结构，记可重构电池系统所允许的开关数量上限为。

S2. 在本实施例中，选择遗传算法参数如下：最大迭代次数、种群数量、交叉概率和变异概率。

S3. 随机生成100个包含4个电池和不多于20个开关的可重构电池系统拓扑结构，作为遗传算法的初始种群。

S4. 基于有向图针对步骤3中的每个拓扑结构，构建一个有向图模型，其中以有向图模型的一条有向边代表拓扑结构中的一个电池，有向边的方向为从电池负极指向电池正极的方向，以顶点相同但方向相反的两条有向边代表拓扑结构中的一个开关，以有向图模型的顶点代表拓扑结构中电池与电池、电池与开关或开关与开关的连接点，获得代表不同拓扑结构的个有向图模型，记为原始有向图模型，并记迭代次数；

S5. 对个原始有向图模型进行交叉操作，获得个新的有向图模型。首先对于每个有向图模型，构建其对应的关联矩阵，其中关联矩阵的前列分别代表个电池与有向图中各顶点的连接关系，关联矩阵的剩余列中每两列代表一个开关与有向图中各顶点的连接关系；其次将所有的原始有向图模型以两个一组的方式进行分组；最后，对于每组有向图模型，以交叉概率随机确定是否进行交叉操作，若进行交叉操作，则在该组图模型对应的2个关联矩阵中，随机选取相同位置的代表一个电池或一个开关的列进行互换，得到2个新的有向图模型；

S6. 对个新的有向图模型进行变异操作，获得个改进有向图模型。首先，对于每个有向图模型，构建其对应的关联矩阵，其中关联矩阵的前列分别代表个电池与有向图中各顶点的连接关系，关联矩阵的剩余列中每两列代表一个开关与有向图中各顶点的连接关系；然后，对于每个有向图模型，以变异概率随机确定是否进行变异操作，若进行变异操作，则在该有向图模型对应的关联矩阵中，随机选取代表一个电池或一个开关的一列或两列，随机选择该电池或开关的两个连接点，得到一个改进有向图模型。

S7. 对个原始有向图模型和个改进有向图模型分别进行分析评价，获得每个有向图模型的适应度。在本实施例中，选择系统中允许被单独连通的电池数和开关总数的加权和作为可重构电池系统拓扑结构的评价指标，其具体计算公式如下：

其中为可重构电池系统拓扑结构的适应度，为可重构电池系统中允许被单独连通的电池数量，为可重构电池系统中的开关数量，和分别为与的权重，取值分别为1，-0.2。

S8. 从个原始有向图模型和个变异后的图模型中选择个适应度最小的图模型，重新记为原始有向图模型。

S9. 令，当时，按顺序依次重复S6、S7、S8和S9。最终得到优化过程中，最优解的适应度变化曲线如图2所示。

S10. 在S9获得的个原始有向图模型中，选取具有最小适应度的原始有向图模型，将其所代表的可重构电池系统拓扑结构作为最终优化结果。最终得到可重构电池系统拓扑结构优化结果如图3所示，其对应的适应度为-3.2。

说明书附图



图1

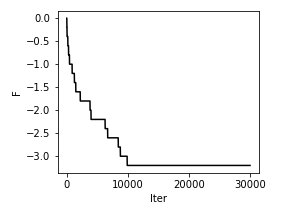


图2

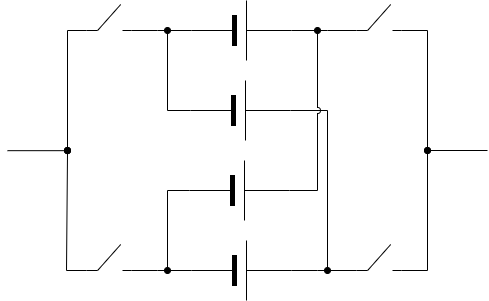


图3

说明书摘要

本发明公开了一种可重构电池系统拓扑结构优化设计方法，针对可重构电池系统的实际应用场景，首先确定系统电池规模、开关数量上限和遗传优化算法参数。随后，随机生成可重构电池系统拓扑结构，作为优化过程中的初始种群，基于有向图理论构建可重构电池系统拓扑结构的有向图模型，并在拓扑结构的有向图模型上迭代开展交叉、变异和选择操作，从而产生更优解，最终获得可重构电池系统拓扑结构的优化设计结果。本发明能够面向不同的设计需求开展可重构电池系统拓扑结构的优化设计，并针对不同的需求给出对应的拓扑结构优化设计结果，具有较高的适用范围和较强的实际应用价值。