



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106295134 A

(43)申请公布日 2017.01.04

(21)申请号 201610614159.1

(22)申请日 2016.07.29

(71)申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路800号

(72)发明人 张涛 顾洁

(74)专利代理机构 上海汉声知识产权代理有限公司 31236

代理人 郭国中

(51)Int.Cl.

G06F 19/00(2011.01)

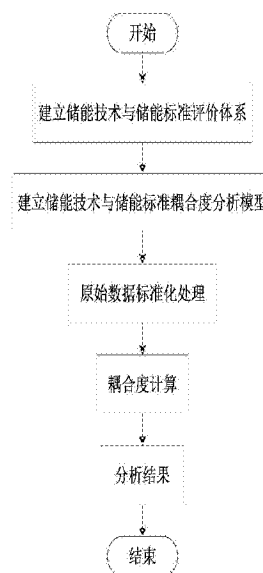
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

储能技术与储能标准的耦合分析方法

(57)摘要

本发明提供了一种储能技术与储能标准的耦合分析方法,包括:确定储能技术评价指标和权重,形成储能技术评价指标体系;确定储能标准评价指标和权重,形成储能标准评价指标体系;建立储能技术与储能标准的耦合模型;原始数据标准化处理,代入耦合函数进行计算;计算结果参照相应标准进行比较,进行分析。本发明中的耦合分析方法建立了储能技术与储能标准之间的耦合模型,从很大程度上降低了储能技术与储能标准耦合分析的计算复杂度,极大地提高了计算效率,能够快速准确的找出影响我国储能产业发展的问题,提出储能产业发展方向建议,有利于我国储能技术与储能标准协调高速地达到世界领先水平。



1. 一种储能技术与储能标准的耦合分析方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤1:建立储能技术评价指标体系,根据构建指标体系科学化、规范化的原则,结合储能技术发展现状,将储能技术的评价指标体系分为技术性指标体系、经济性指标体系以及对环境的影响性指标体系三大类;

步骤2:建立储能标准评价指标体系,所述评价体系包括:技术水平子系统、协调配套性子系统、结构和内容子系统以及应用程度子系统;

步骤3:对原始数据进行标准化处理;

步骤4:将处理后的数据代入耦合函数进行计算,获得耦合度和耦合协调度的值,并分析储能技术与储能标准的耦合关系。

2. 根据权利要求1所述的储能技术与储能标准的耦合分析方法,其特征在于,所述步骤3包括:将数据按设定比例缩放,使得数据落入到一个较小的特定区间,这里用0-1区间,即所有数据的值都在0-1之间,且为无量纲的纯数值;具体处理的公式如下:

$$\text{正向指标标准化: } x_i' = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

$$\text{负向指标标准化: } x_i' = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}}$$

式中, x_i' 表示第*i*个原始指标的标准值, x_i 表示第*i*个指标的原始数据, $x_{\max}$ 、 $x_{\min}$ 分别表示原始指标的最大值和最小值。

3. 根据权利要求1所述的储能技术与储能标准的耦合分析方法,其特征在于,所述步骤4中利用耦合函数的计算过程如下:

$$u_i = \sum_{j=1}^m w_{ij} u_{ij}$$

其中: $i=1,2$

$$C = \left[\frac{u_1 u_2}{\left(\frac{u_1 + u_2}{2} \right)^2} \right]^{\frac{1}{2}};$$

$$T = \alpha u_1 + \beta u_2;$$

$$D = \sqrt{C \times T};$$

式中: u_1 、 u_2 分别表示储能技术、储能标准的评价水平, u_{1j} 、 u_{2j} 分别表示储能技术评价体系、储能标准评价体系中第*j*个指标的数值, w_{1j} 、 w_{2j} 分别表示储能技术评价体系、储能标准评价体系中第*j*个指标的权重, C 表示 u_1 、 u_2 的耦合度, $C \in [0, 1]$; C 的值越大表示储能技术和储能标准之间的耦合度越好,当 $C=0$ 时说明二者处于无关联状态;当 $C=1$ 时说明二者处于最佳耦合状态; T 表示储能技术、储能标准的综合评价指数, α 、 β 为待定系数,能够根据技术、标准的重要程度进行确定; D 表示耦合协调度, $D \in [0, 1]$, D 的值越大,表示储能技术与储能标准水平整体耦合发展程度越高。

4. 根据权利要求3所述的储能技术与储能标准的耦合分析方法,其特征在于,根据技术、标准的重要程度设置 $\alpha=0.6$, $\beta=0.4$ 。

5. 根据权利要求1所述的储能技术与储能标准的耦合分析方法,其特征在于,步骤1中

的所述技术性指标体系包括：容量、密度、寿命、效率四个子指标；所述经济性指标体系包括：初始投资、固定运维成本以及可变运维成本三个子指标；对环境的影响指标体系包括：安全性、环保性两个子指标；

其中：安全性用于评估储能技术运行的安全稳定性，环保性用于评价一项储能技术是否绿色环保，是否对环境产生污染或者对生态环境造成影响。

6. 根据权利要求1所述的储能技术与储能标准的耦合分析方法，其特征在于，还包括步骤5：根据步骤4得出的储能技术与储能标准的耦合关系制定相应的储能标准。

储能技术与储能标准的耦合分析方法

技术领域

[0001] 本发明涉及耦合分析方法,具体地,涉及一种储能技术与储能标准的耦合分析方法。

背景技术

[0002] 我国对于储能技术的研究相对于欧美国家和日本起步较晚,近年来,国家对于这一领域重视程度与日俱增,但是由于我国储能技术标准不健全,导致了我国在储能装置生产及应用环节都缺乏支撑,并不能满足应用需求。随着研究的深入,新技术、新应用场景将会不断出现,储能技术的发展与标准的耦合关系也将呈现动态变化。鉴于目前无论是储能技术本身,还是储能标准的制定都不够成熟,有较大的发展空间,为了提高储能标准制定的针对性,夯实储能标准的技术先进性,需要对二者的耦合关系进行分析。通过对储能技术的发展与储能标准的耦合关系进行分析,将会有利于我国储能标准体系的建立和储能标准的制定工作。储能标准的制定将会保障储能产业的健康发展,进一步促进储能技术的进步与创新,二者呈现良性动态发展过程将会是业界期望得到的结果。

[0003] 储能技术与储能标准的耦合分析涉及评价体系、评价模型的建立,但是目前国内对于这方面的研究尚且处于空白。对于二者的耦合分析,急需解决的技术问题在于需要深入了解目前的储能技术、储能标准发展现状、发展趋势及发展需求后,确定评价体系中的评价指标,确定评价模型中的评价函数。

发明内容

[0004] 针对现有技术中的缺陷,本发明的目的是提供一种储能技术与储能标准的耦合分析方法。

[0005] 根据本发明提供的储能技术与储能标准的耦合分析方法,包括如下步骤:

[0006] 步骤1:建立储能技术评价指标体系,根据构建指标体系科学化、规范化的原则,结合储能技术发展现状,将储能技术的评价指标体系分为技术性指标体系、经济性指标体系以及对环境的影响性指标体系三大类;

[0007] 步骤2:建立储能标准评价指标体系,所述评价体系包括:技术水平子系统、协调配套性子系统、结构和内容子系统以及应用程度子系统;

[0008] 步骤3:对原始数据进行标准化处理;

[0009] 步骤4:将处理后的数据代入耦合函数进行计算,获得耦合度和耦合协调度的值,并分析储能技术与储能标准的耦合关系。

[0010] 优选地,所述步骤3包括:将数据按设定比例缩放,使得数据落入到一个较小的特定区间,这里用0-1区间,即所有数据的值都在0-1之间,且为无量纲的纯数值;具体处理的公式如下:

[0011] 正向指标标准化:
$$x_i' = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

[0012] 负向指标标准化: $x_i' = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}}$

[0013] 式中, x_i' 表示第 i 个原始指标的标准值, x_i 表示第 i 个指标的原始数据, $x_{\max}$ 、 $x_{\min}$ 分别表示原始指标的最大值和最小值。

[0014] 优选地, 所述步骤4中利用耦合函数的计算过程如下:

$$[0015] \quad u_i = \sum_{j=1}^m w_{ij} u_{ij}$$

[0016] 其中: $i=1, 2$

$$[0017] \quad C = \left[\frac{u_1 u_2}{\left(\frac{u_1 + u_2}{2} \right)^2} \right]^{\frac{1}{2}};$$

[0018] $T = \alpha u_1 + \beta u_2$;

[0019] $D = \sqrt{C \times T}$;

[0020] 式中: u_1 、 u_2 分别表示储能技术、储能标准的评价水平, u_{1j} 、 u_{2j} 分别表示储能技术评价体系、储能标准评价体系中第 j 个指标的数值, w_{1j} 、 w_{2j} 分别表示储能技术评价体系、储能标准评价体系中第 j 个指标的权重, C 表示 u_1 、 u_2 的耦合度, $C \in [0, 1]$; C 的值越大表示储能技术和储能标准之间的耦合度越好, 当 $C=0$ 时说明二者处于无关联状态; 当 $C=1$ 时说明二者处于最佳耦合状态; T 表示储能技术、储能标准的综合评价指数, α 、 β 为待定系数, 能够根据技术、标准的重要程度进行确定; D 表示耦合协调度, $D \in [0, 1]$, D 的值越大, 表示储能技术与储能标准水平整体耦合发展程度越高。

[0021] 优选地, 根据技术、标准的重要程度设置 $\alpha=0.6$, $\beta=0.4$ 。

[0022] 优选地, 步骤1中的所述技术性指标体系包括: 容量、密度、寿命、效率四个子指标; 所述经济性指标体系包括: 初始投资、固定运维成本以及可变运维成本三个子指标; 对环境的影响指标体系包括: 安全性、环保性两个子指标;

[0023] 其中: 安全性用于评估储能技术运行的安全稳定性, 环保性用于评价一项储能技术是否绿色环保, 是否对环境产生污染或者对生态环境造成影响。

[0024] 优选地, 还包括步骤5: 根据步骤4得出的储能技术与储能标准的耦合关系制定相应的储能标准。

[0025] 与现有技术相比, 本发明具有如下的有益效果:

[0026] 本发明中的该耦合分析方法建立了储能技术与储能标准耦合分析的评价体系和评价模型, 填补了我国在这方面的技术空白, 为他人后续进行相关研究提供了参照; 该耦合分析方法极大地简化二者之间的耦合分析过程, 降低了计算复杂度, 有利于直观地发现我国储能产业发展中存在的问题, 便于后续进行针对性地研究, 有利于促进储能技术与储能标准朝着协同耦合关系的方向发展。

附图说明

[0027] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述, 本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

- [0028] 图1为本发明提供的能技术与储能标准的耦合分析方法流程示意图；
- [0029] 图2为储能技术评价指标体系示意图；
- [0030] 图3为储能技术指标权重设置示意图；
- [0031] 图4为储能标准评价指标体系示意图；
- [0032] 图5为储能标准指标权重设置示意图。

具体实施方式

[0033] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明,但不以任何形式限制本发明。应当指出的是,对本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变化和改进。这些都属于本发明的保护范围。

[0034] 根据本发明提供的储能技术与储能标准的耦合分析方法,包括如下步骤:

[0035] 步骤1:建立储能技术评价指标体系,根据构建指标体系科学化、规范化的原则,结合储能技术发展现状,将储能技术的评价指标体系分为技术性A、经济性B和对环境的影响C三大类。

[0036] 其中,技术指标下又包含容量A1、密度A2、寿命A3、效率A4四个子指标,对储能技术的一些基本技术特征进行评价;经济性指标包含初始投资B1、固定运维成本B2和可变运维成本B3三个子指标,对储能技术进行经济型评估;对环境的影响包含安全性C1、环保性C2两个子指标,安全性主要是评估储能技术运行的安全稳定性,环保性主要评价一项储能技术是否绿色环保,是否对环境产生污染或者对生态环境造成影响。储能技术评价指标体系如图2所示。各指标权重的设置实际应用中可通过召开专家研讨会、厂商问卷调查、用户意见反馈等多种渠道,综合研究确定各影响因素的相对重要性后得出,暂将各指标权重设置如图3所示。

[0037] 步骤2:建立储能标准评价指标体系,结合层次分析法和专家咨询法确定。该评价体系分为技术水平A、协调配套性B、结构和内容C、应用程度D四个子系统。

[0038] 其中,技术水平类包含与我国生产水平相比的适应性A1,考察标准所规定的技术水平与当前我国在储能领域的主流研究水平、设计水平、工艺水平、生产水平等相比是否适应;与国际标准水平相比的先进性A2,考察我国储能标准的整体技术水平与国际标准水平相比是否先进;结构和内容包含结构合理性C1,该指标仅从是否需要整合的角度考察标准的机构合理性;内容合理性C2重点考察储能标准的技术内容上存在的问题。应用程度D指标主要考察标准当前被多大比率的用户所使用。储能标准评价体系如图4,各指标的权重设置依然采取专家咨询法进行确定,各指标权重设置如图5。

[0039] 步骤3:原始数据标准化处理。储能技术和储能标准评价指标体系都是由若干个指标组成的,由于各评价指标的性质不同,这些指标具有不同的量纲和数量级。当各指标间的水平相差很大时,如果直接用原始指标值进行分析,就会突出数值较高的指标在综合分析中的作用,相对削弱数值水平较低指标的作用。因此,为了保证结果的可靠性,在将数据带入耦合模型计算之前,首先要对数据进行标准化处理。

[0040] 所述步骤3中的数据标准化处理,就是将数据按一定比例缩放,使之落入到一个小的特定区间。常用的一种方法是落到0-1区间,也叫做数据的归一化处理。其公式如下:

[0041] 正向指标标准化: $x_i' = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$ (1)

[0042] 负向指标标准化: $x_i' = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}}$ (2)

[0043] 其中, x_i' 表示原始指标的标准值, x_i 表示指标的原始数据, $x_{\max}$ 、 $x_{\min}$ 分别表示原始指标的最大值和最小值。由公式可以看出, 经过数据的归一化处理, 所有指标的值都在 0-1 之间, 并且是无量纲的纯数值, 便于后续实例分析中对数据进行加权计算。

[0044] 步骤4: 耦合计算分析。将处理后的数据代入耦合函数进行计算, 并对结果进行分析。

[0045] 所述步骤4中耦合函数的分析如下:

[0046] 令 u_1 、 u_2 分别表示储能技术、储能标准的评价水平, 令 u_{1j} 、 u_{2j} 分别表示储能技术评价体系、储能标准评价体系的第 j 个指标的数值, 由原始数据根据指标标准化公式计算得出, 令 w_{1j} 、 w_{2j} 分别表示储能技术评价体系、储能标准评价体系中第 j 个指标的权重。则利用线性加权法, 可以对储能技术、储能标准水平进行测算:

[0047] $u_i = \sum_{j=1}^m w_{ij} u_{ij} \quad (i=1,2)$ (3)

[0048] 可以分别得到储能技术和储能标准的综合发展水平 u_1 、 u_2 , 基于此进行两者间耦合函数计算。

[0049] 借鉴物理学中的耦合度函数, 并在相关研究的基础上, 给出储能技术与储能标准之间耦合度公式为:

[0050] $C = \left[\frac{u_1 u_2}{\left(\frac{u_1 + u_2}{2} \right)^2} \right]^{\frac{1}{2}}$ (4)

[0051] $T = \alpha u_1 + \beta u_2$ (5)

[0052] $D = \sqrt{C \times T}$ (6)

[0053] 其中, C 表示二者耦合度, $C \in [0, 1]$, 且越大表示储能技术和储能标准之间的耦合度越好, 当 $C=0$ 时说明二者处于无关联状态; 当 $C=1$ 时说明二者处于最佳耦合状态。 T 为储能技术、储能标准的综合评价指数, 反映储能产业的整体发展水平, α 、 β 为待定系数, 根据技术、标准的重要程度, 暂定 $\alpha=0.6$, $\beta=0.4$ 。这个取值反映的是储能产业发展过程中, 储能技术的重要程度稍稍大于储能标准, 可根据实际判断标准进行调整。 D 是耦合协调度, 由于耦合度只能说明两个系统间相互作用程度的强弱, 无法反映整个系统协调发展水平的高低, 故引入耦合协调理论对两个系统的耦合协调程度进行评价, 用于反映我国储能技术与储能标准交互耦合的整体协调发展水平。 $D \in [0, 1]$, D 的值越大, 表示储能技术与储能水平整体耦合发展程度越高, 这样有效避免了低储能技术水平与低储能标准水平得出高耦合值难以反映储能技术、标准整体水平的弊端。

[0054] 实施例

[0055] 根据前文所建立的储能技术评价体系、储能标准评价体系和耦合模型, 利用收集到的相关数据对储能技术与储能标准间耦合度进行测算。

[0056] 由于储能技术发展时间较短, 国内外相关数据资料较为缺乏, 但项目研究更侧重于模型与解决问题方法思路的提出, 因此下文暂以目前收集到的数据为例进行方法的展示, 以期能够为未来储能推广应用, 数据资料不断丰富情况下开展相关研究提供参考。

[0057] (1)首先,对储能技术进行评价。这里选择对抽水储能、蓄电池储能、飞轮储能、超导磁储能、超级电容器储能、压缩空气储能目前主流的六种储能技术分别进行评价,然后取平均值作为储能技术系统的最终评价结果。收集到的原始数据如表1所示。

[0058] 表1储能技术原始数据

	容量(MW)	能量密度(Wh/kg)	寿命(年)	效率(%)	可变运维成本(\$/kw.h)	固定运维成本(\$/kw.yr)	投资成本(\$/kw)	安全性(1-5)	环保性
抽水储能	150000	0.1	25	80	0.5	5	3500	3	4
压缩空气	150	0.08	40	70	1.7	15	28000000	4	3.5
蓄电池	0.05	190	15	80	1	500	180	3.5	3
飞轮	1	150	20	90	4	7.5	200000	4	5
超导	0.5	5	15	93	20	25	800	4	5
超级电容器	0.05	5	15	95	5	5.5	800	4	5

[0060] 对原始数据进行标准化处理,并根据各个指标的权重对处理后的数据进行处理后,结果如表2所示:

[0061] 表2标准化处理后储能技术评价指标

[0062]

	容量(MW)	能量密度(Wh/kg)	寿命(年)	效率(%)	可变运维成本(\$/kw.h)	固定运维成本(\$/kw.yr)	投资成本(\$/kw)	安全性(1-5)	环保性	评价结果
抽水储能	1	0.0001	0.4	0.4	1	1	1	0	0.5	0.686202
压缩空气	0.001	0	1	0	0.9385	0.9798	0	1	0.25	0.318038
蓄电池	0	1	0	0.4	0.9744	0	1	0.5	0	0.342891
飞轮	0	0.7894	0.2	0.8	0.8205	0.9949	0.9929	1	1	0.533304
超导	0	0.0259	0	0.92	0	0.9596	1	1	1	0.390622
超级电容器	0	0.0259	0	1	0.7692	0.999	1	1	1	0.417839
权重	0.2907	0.1156	0.1722	0.0359	0.0281	0.0693	0.1709	0.0293	0.0879	

[0063] 对六种储能技术的评价结果取平均值,得到储能技术的综合评价结果为 $u_1 = 0.4481$ 。

[0064] (2)然后,对储能标准进行评价。暂选择目前我国已经制定的在储能领域比较具有代表性的《储能系统接入配电网技术规定》、《储能系统接入配电网测试规范》、《储能系统接入配电网运行控制规范》三个标准为对象,分别进行评价,然后取评价结果的平均值作为储能标准系统的综合评价结果。采用专家打分法,参考相关技术标准体系评价要求,确定储能标准各个指标的评价值,对数据进行标准化处理后得到结果如表3所示。

[0065] 表3标准化后的储能标准评价指标

[0066]

	适应性	先进性	协调配套性	结构合理性	内容合理性	应用程度	评价结果
技术规定	0.7	0.6	0.8	0.8	0.6	0.8	0.715
测试规范	0.8	0.6	0.8	0.8	0.7	0.7	0.73
运行控制规范	0.7	0.5	0.8	0.8	0.6	0.8	0.7
权重	0.15	0.15	0.15	0.15	0.2	0.2	

[0067] 对上述三个标准的评价结果取平均值,得到储能标准的综合评价结果 $u_2 = 0.715$ 。得到储能技术系统和储能标准系统的评价值后,根据耦合模型,可以得到二者耦合度 $C = 0.9733$,综合评价指数 $T = 0.5549$,耦合协调度 $D = 0.7349$ 。

[0068] 对于储能技术系统的评价指数 $u_1 = 0.4481$ 这个结果,还是比较直观的反映了目前

我国储能技术尚且不够成熟的现状,表2中计算结果表明只有抽水储能这一技术相对成熟达到了可以商业化运营的程度。

[0069] 至于储能标准系统评价指数 $u_2=0.715$ 这一结果,应该更为客观地分析,该指标数值并不能表明我国目前在储能标准领域已经十分领先了,从各指标具体数值中不难看出,这些标准在应用程度、协调配套性、结构合理性方面评价较高,而在内容合理性的评价方面则得分较低,与国际标准相比较的先进性评价也比较低。

[0070] 目前,仅从耦合度计算结果来看,储能技术系统与储能标准系统二者之间耦合还是比较高的,但是从就综合评价指数而言,目前我国储能产业还处于比较低的发展水平。储能技术系统与储能标准系统耦合协调度的绝对等级评价标准如表4所示。

[0071] 表4耦合协调度绝对等级评价表

[0072]

耦合协调度(D)	协调等级
$0 \leq D < 0.1$	极度失调
$0.1 \leq D < 0.2$	严重失调
$0.2 \leq D < 0.3$	中度失调
$0.3 \leq D < 0.4$	轻度失调
$0.4 \leq D < 0.5$	濒临失调
$0.5 \leq D < 0.6$	勉强协调
$0.6 \leq D < 0.7$	初级协调
$0.7 \leq D < 0.8$	中级协调
$0.8 \leq D < 0.9$	良好协调
$0.9 \leq D < 1$	优质协调

[0073] 对照计算得到的储能技术与储能标准的耦合协调度 $D=0.7349$,从耦合协调度的绝对等级评价标准表中可以看出,二者目前处于一个中级协调的水平

[0074] 从整个储能技术与储能标准耦合度分析的结果来看,目前我国储能技术与储能标准耦合较好,仍有上升空间,二者之间的协同耦合关系可以进一步加强,促进良性耦合。

[0075] 在实例计算中,储能技术系统和标准系统的评价结果都比较低。储能技术系统评价结果低,主要原因在于我国目前在储能领域的技术依旧是十分落后的。相比较于美国、日本等在储能领域处于领先地位的国家,国内对于新兴的储能技术研究起步比较晚而且力度不够,应该予以重视,防止日后被其他国家在这个领域形成技术壁垒。对于储能标准系统评价结果低这个现状,可以从评价结果中看到标准先进性指标评价很低,现实是我国目前制定储能标准往往都需要参照国外早就制定好的标准,这样不仅仅会导致制定的标准可能难以跟最新的技术同步,内容上难以做到与时俱进,而且使得我国很难在储能领域掌握话语权,以后很可能丢失很大的市场。因此加强我国制定储能标准的积极性和主动性也是十分必要的。

[0076] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是,本发明并不局限于上述特定实施方式,本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变化或修改,这并不影响本发明的实质内容。在不冲突的情况下,本申请的实施例和实施例中的特征可以任意相互组合。

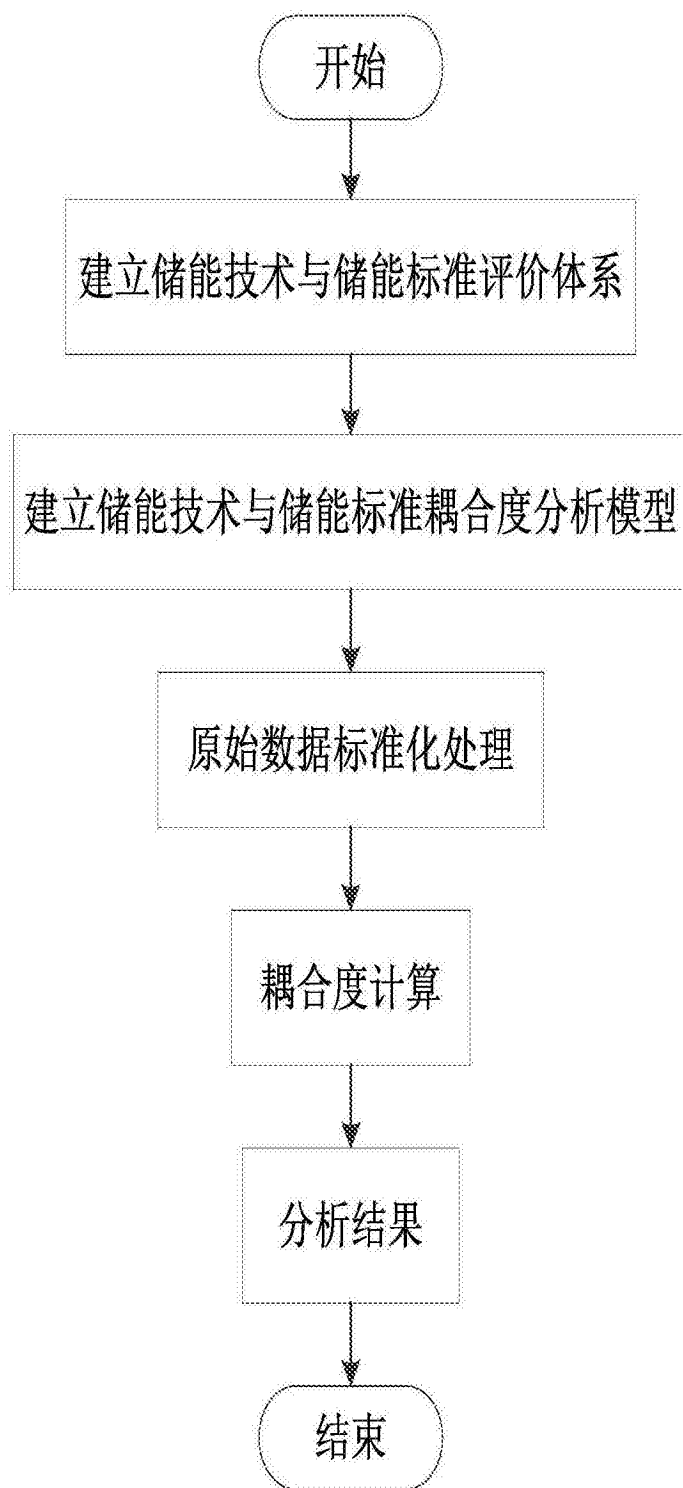


图1

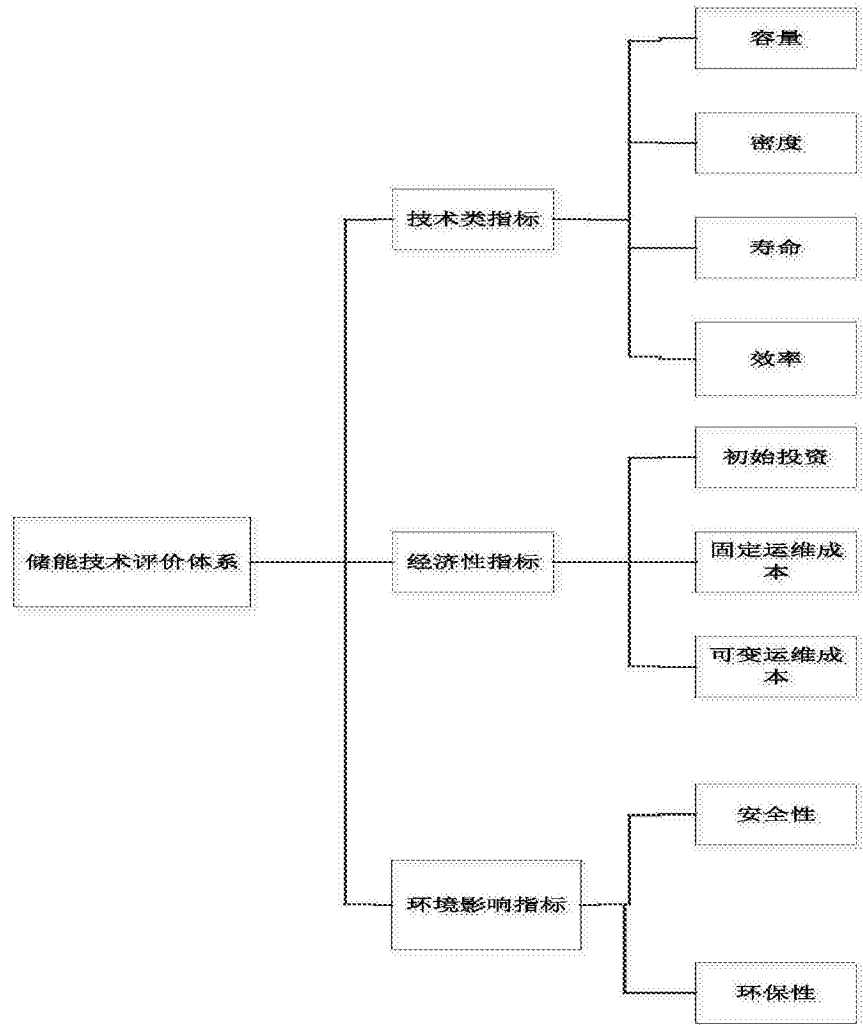


图2

指标	储能的技术类指标				储能的经济性指标			储能的环境影响指标	
	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	C1	C2
权重	0.2907	0.1156	0.1722	0.0359	0.1709	0.0693	0.0281	0.0293	0.0879

图3

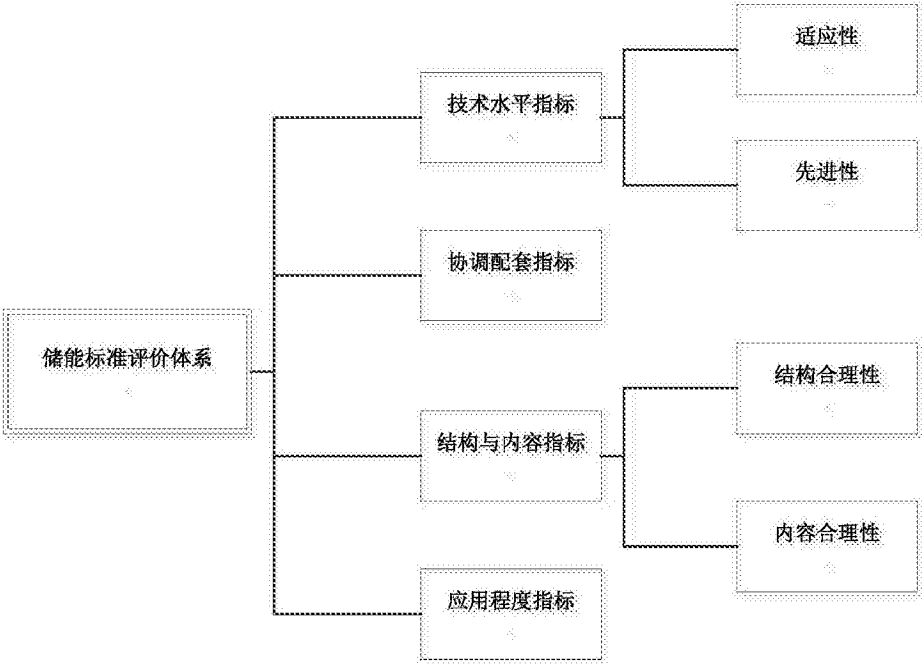


图4

指标	技术水平指标		协调配套指标	结构与内容指标		应用程度指标
	A1	A2	B	C1	C2	D
权重	0.15	0.15	0.15	0.15	0.2	0.2

图5