



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 120102811 A

(43) 申请公布日 2025.06.06

(21) 申请号 202510593483.9

G01N 30/96 (2006.01)

(22) 申请日 2025.05.09

(71) 申请人 中国能源建设集团广东省电力设计
研究院有限公司

地址 510000 广东省广州市黄埔区广州科
学城天丰路1号

(72) 发明人 林海周 范永春 孙张伟 罗必雄
李伟科 裴爱国 吴大卫 薛榕
罗海中 朱光涛 肖金 曾越

(74) 专利代理机构 广州嘉权专利商标事务所有
限公司 44205

专利代理师 邱敏琪

(51) Int. Cl.

G01N 33/00 (2006.01)

G01N 30/02 (2006.01)

权利要求书1页 说明书10页

(54) 发明名称

一种碳捕集装置运行过程中吸收剂损耗率的
测量方法和测量系统

(57) 摘要

本发明公开了一种碳捕集装置运行过程中
吸收剂损耗率的测量方法和测量系统,属于碳捕
集测试领域。本发明提供的测量方法包括:在吸
收剂中引入标记物,进行碳捕集;在碳捕集装置
运行过程中,获取不同时间下吸收剂中的活性组
分浓度和标记物浓度;基于获取的不同时间下吸
收剂中的活性组分浓度和标记物浓度,计算得到
吸收剂在不同时间段内的活性组分损耗量。本发
明在吸收剂中引入标记物,将其作为吸收剂中活
性组分浓度变化的参照点,能够更准确地测量吸
收剂中的活性组分在碳捕集装置运行过程中的
损耗率,进而有利于准确评价吸收剂的抗降解性
能和损耗成本,以及开发更稳定的吸收剂,本发
明的测量方法和测量系统在碳捕集系统中具有
良好的应用前景。

1. 一种碳捕集装置运行过程中吸收剂损耗率的测量方法,其特征在于,包括:
在吸收剂中引入标记物,进行碳捕集;
在碳捕集装置运行过程中,获取不同时间下吸收剂中的活性组分浓度和标记物浓度;
基于获取的不同时间下吸收剂中的活性组分浓度和标记物浓度,计算得到吸收剂在不同时间段内的活性组分损耗率。
2. 根据权利要求1所述的测量方法,其特征在于,包括:
在吸收剂中引入标记物,进行碳捕集;
获取第一时间下吸收剂中的活性组分第一浓度和标记物第一浓度;
获取第二时间下吸收剂中的活性组分第二浓度和标记物第二浓度;
基于获取的第一时间下吸收剂中的活性组分第一浓度和标记物第一浓度,以及第二时间下吸收剂中的活性组分第二浓度和标记物第二浓度,计算得到吸收剂在第一时间至第二时间的时间段内的活性组分损耗率。
3. 根据权利要求1所述的测量方法,其特征在于,所述吸收剂中含有的活性组分包括胺类化合物。
4. 根据权利要求1所述的测量方法,其特征在于,所述标记物包括水溶性无机盐。
5. 根据权利要求4所述的测量方法,其特征在于,所述水溶性无机盐包括水溶性碳酸盐、水溶性碳酸氢盐或其组合。
6. 根据权利要求5所述的测量方法,其特征在于,所述水溶性无机盐包括碳酸钾、碳酸氢钾、碳酸钠或碳酸氢钠中的至少一种。
7. 根据权利要求1所述的测量方法,其特征在于,所述标记物在吸收剂中的浓度为0.01~5wt%。
8. 一种碳捕集装置运行过程中吸收剂损耗率的测量系统,其特征在于,包括:
标记物引入模块,用于在吸收剂中引入标记物;
浓度获取模块,用于在碳捕集装置运行过程中,获取不同时间下吸收剂中的活性组分浓度和标记物浓度;
损耗率计算模块,用于基于获取的不同时间下吸收剂中的活性组分浓度和标记物浓度,计算得到吸收剂在不同时间段内的活性组分损耗率。
9. 一种碳捕集装置运行过程中吸收剂损耗率的测量设备,其特征在于,所述测量设备包括:处理器以及存储有计算机程序指令的存储器;所述处理器执行所述计算机程序指令时实现如权利要求1~7中任一项所述的测量方法。
10. 一种碳捕集系统,其特征在于,包括如权利要求8中所述的测量系统,或权利要求9中所述的测量设备。

一种碳捕集装置运行过程中吸收剂损耗率的测量方法和测量系统

技术领域

[0001] 本发明属于碳捕集测试领域,尤其涉及一种碳捕集装置运行过程中吸收剂损耗率的测量方法和测量系统。

背景技术

[0002] 燃煤电厂、钢铁厂、水泥厂等主要碳排放工业源可通过碳捕集技术实现大规模二氧化碳减排,在众多碳捕集技术中,化学吸收法碳捕集是一项成熟、应用前景广阔的技术。化学吸收法碳捕集技术中,吸收剂是关键的材料,利用吸收剂中的碱性化合物(一般为有机胺如乙醇胺、N-甲基二乙醇胺、哌嗪等)与烟气中 CO_2 在吸收塔发生可逆的酸碱反应,生产碳酸氢盐、碳酸盐或氨基甲酸盐等,之后在解吸塔中加热碳酸氢盐、碳酸盐或氨基甲酸盐等能够重新释放 CO_2 ,使吸收剂往复循环,从而实现 CO_2 的连续捕集。但是,由于烟气中存在的 O_2 以及解吸过程中 100°C 以上较高的温度,吸收剂中有机胺在长时间运行过程会发生氧化降解和热降解,此外吸收剂还存在随烟气挥发逃逸的现象,这些都会导致吸收剂的损耗。准确评价吸收剂在运行过程中的损耗,对化学吸收法碳捕集技术发展和推广应用具有重要意义。

[0003] 目前,碳捕集装置运行过程中确定吸收剂损耗的方法主要是,对运行过程中的吸收剂进行取样,测量样品的胺浓度,再将测得的胺浓度与新配置的吸收剂胺浓度进行对比,通过胺浓度变化来得知吸收剂损耗量。要利用该方法测得准确的吸收剂损耗量,需要得知取样时准确的吸收剂总量,通过测量浓度乘以吸收剂体积总量来计算取样时的总胺质量,对比吸收剂配置时的总胺质量来计算消耗的胺量。而碳捕集装置需要维持动态水量平衡,使进口湿烟气中水分、出口烟气中水分、排污水、解吸塔塔冷凝水回水、 CO_2 产品气排气中水分、补充的水分等处在一定范围内,体系中的水含量不断发生变化;并且在碳捕集装置运行过程中,吸收剂会分布在包括吸收塔、解吸塔、换热器等设备和管路中,导致了吸收剂体积总量难以有效测量,因而也难以得到准确的吸收剂损耗量。

发明内容

[0004] 为了克服上述现有技术存在的至少一个问题,本发明的目的之一在于提供一种碳捕集装置运行过程中吸收剂损耗率的测量方法,该测量方法能够有效、准确地测量碳捕集装置运行过程中吸收剂损耗率。

[0005] 本发明的目的之二在于提供一种碳捕集装置运行过程中吸收剂损耗率的测量系统。

[0006] 本发明的目的之三在于提供一种碳捕集装置运行过程中吸收剂损耗率的测量设备。

[0007] 本发明的目的之三在于提供一种碳捕集系统。

[0008] 为了实现上述目的,本发明所采取的技术方案是:

本发明的第一方面提供了一种碳捕集装置运行过程中吸收剂损耗率的测量方法，包括：

在吸收剂中引入标记物，进行碳捕集；

在碳捕集装置运行过程中，获取不同时间下吸收剂中的活性组分浓度和标记物浓度；

基于获取的不同时间下吸收剂中的活性组分浓度和标记物浓度，计算得到吸收剂在不同时间段内的活性组分损耗率。

[0009] 目前吸收剂损耗率的常用方法是通过测量吸收剂中活性组分浓度变化来获取，该方法实际上是以水为参照点，但由于碳捕集装置运行过程中，体系中的水会发生挥发或由湿烟气带入等现象，导致体系中的水总量是不断变动的，因此该方法以水作为参照点会存在较大的测量偏差。本发明在吸收剂中引入标记物，标记物在碳捕集循环中具有良好的稳定性，将其作为吸收剂中活性组分浓度变化的参照点，能够更准确地测量吸收剂中的活性组分在碳捕集装置运行过程中的损耗率。

[0010] 在本发明的一些实施方式中，所述测量方法包括：

在吸收剂中引入标记物，进行碳捕集；

获取第一时间下吸收剂中的活性组分第一浓度和标记物第一浓度；

获取第二时间下吸收剂中的活性组分第二浓度和标记物第二浓度；

基于获取的第一时间下吸收剂中的活性组分第一浓度和标记物第一浓度，以及第二时间下吸收剂中的活性组分第二浓度和标记物第二浓度，计算得到吸收剂在第一时间至第二时间的时间段内的活性组分损耗率。

[0011] 在本发明的一些实施方式中，所述吸收剂中的活性组分种类数量为1~10。

[0012] 在本发明的一些实施方式中，所述吸收剂中含有的活性组分包括胺类化合物；在本发明的一些具体实施方式中，所述胺类化合物包括伯胺类化合物、仲胺类化合物或叔胺类化合物中的至少一种。

[0013] 在本发明的一些实施方式中，所述标记物包括水溶性无机盐；在本发明的一些具体实施方式中，所述水溶性无机盐包括水溶性碳酸盐、水溶性碳酸氢盐或其组合；在本发明的一些更具体实施方式中，所述水溶性无机盐包括碳酸钾、碳酸氢钾、碳酸钠或碳酸氢钠中的至少一种。

[0014] 水溶性无机盐作为标记物，在碳捕集装置运行过程中具有溶解性好（尤其可溶于吸收剂）、性质稳定、不挥发、不干扰吸收剂碳捕集性能等优点，其中，水溶性碳酸盐和水溶性碳酸氢盐尤其适用于作为本发明的标记物，原因在于这两类盐都溶于水中，蒸汽压极低，几乎不挥发，且不仅不干扰原吸收剂的捕集性能，还能在一定程度上促进碳捕集，主要是因为水溶性碳酸盐和水溶性碳酸氢盐在CO₂捕集过程中，可有效促进CO₂吸收反应和CO₂解吸反应的进行，水溶性碳酸盐有利于促进CO₂吸收反应，水溶性碳酸氢盐有利于促进CO₂解吸反应。

[0015] 在本发明的一些实施方式中，所述标记物在吸收剂中的浓度为0.01~5wt%。

[0016] 本发明从理论上来说，标记物的种类和浓度范围并不影响测量结果，但考虑到标记物在碳捕集过程的稳定性，为了确保标记物在碳捕集装置运行过程中不挥发不降解，且对吸收剂吸收CO₂没有负向影响，同时基于测量精度和测量成本的考量，提出了上述标记物

种类和标记物浓度范围,采用上述标记物种类和标记物浓度范围,可确保获得良好的测量效果和碳捕集效果,但本发明并不限于上述标记物种类和标记物浓度范围。

[0017] 本发明的第二方面提供了一种碳捕集装置运行过程中吸收剂损耗率的测量系统,包括:

标记物引入模块,用于在吸收剂中引入标记物;

浓度获取模块,用于在碳捕集装置运行过程中,获取不同时间下吸收剂中的活性组分浓度和标记物浓度;

损耗率计算模块,用于基于获取的不同时间下吸收剂中的活性组分浓度和标记物浓度,计算得到吸收剂在不同时间段内的活性组分损耗率。

[0018] 本发明的第三方面提供了一种碳捕集装置运行过程中吸收剂损耗率的测量设备,所述测量设备包括:处理器以及存储有计算机程序指令的存储器;所述处理器执行所述计算机程序指令时实现如本发明的第一方面所述的测量方法。

[0019] 本发明的第四方面提供了一种碳捕集系统,包括如本发明的第二方面中所述的测量系统,或者如本发明的第三方面中所述的测量设备。

[0020] 本发明的有益效果是:本发明在吸收剂中引入标记物,将其作为吸收剂中活性组分浓度变化的参照点,能够更准确地测量吸收剂中的活性组分在碳捕集装置运行过程中的损耗率,进而有利于准确评价吸收剂的抗降解性能和损耗成本,以及开发更稳定的吸收剂,本发明的测量方法和测量系统在碳捕集系统中具有良好的应用前景。

具体实施方式

[0021] 以下通过具体的实施例对本发明的内容作进一步详细的说明。同样应理解,以下实施例只用于对本发明进行进一步说明,不能理解为对本发明保护范围的限制,本领域技术人员根据本发明阐述的原理做出的一些非本质的改进和调整均属于本发明的保护范围。下述示例具体的工艺参数等也仅是合适范围内的一个示例,即本领域技术人员可以通过本文的说明做合适范围内的选择,而非非要限定于下文示例的具体数据。以下实施例和对比例中所用的原料、试剂或装置如无特殊说明,均可从常规商业途径得到,或者可以通过现有已知方法得到。

[0022] 本发明实施例的第一方面提供了一种碳捕集装置运行过程中吸收剂损耗率的测量方法,包括:

在吸收剂中引入标记物,进行碳捕集;

在碳捕集装置运行过程中,获取不同时间下吸收剂中的活性组分浓度和标记物浓度;

基于获取的不同时间下吸收剂中的活性组分浓度和标记物浓度,计算得到吸收剂在不同时间段内的活性组分损耗率。

[0023] 目前吸收剂损耗率的常用方法是通过测量吸收剂中活性组分浓度变化来获取,该方法实际上是以水为参照点,但由于碳捕集装置运行过程中,体系中的水会发生挥发或由湿烟气带入等现象,导致体系中的水总量是不断变动的,因此该方法以水作为参照点会存在较大的测量偏差。本发明在吸收剂中引入标记物,标记物在碳捕集循环中具有良好的稳定性,将其作为吸收剂中活性组分浓度变化的参照点,能够更准确地测量吸收剂中的活性

组分在碳捕集装置运行过程中的损耗率。

[0024] 本发明中,吸收剂损耗率指的是吸收剂中的活性组分损耗率,例如,胺类吸收剂的损耗率指的是胺类吸收剂中的胺组分的损耗率。

[0025] 本发明中,标记物的引入方法可以采用混合的方式,即将标记物与吸收剂混合即可,不需要特殊处理。

[0026] 在本发明的一些实施例中,测量方法包括:

在吸收剂中引入标记物,进行碳捕集;

获取第一时间下吸收剂中的活性组分第一浓度和标记物第一浓度;

获取第二时间下吸收剂中的活性组分第二浓度和标记物第二浓度;

基于获取的第一时间下吸收剂中的活性组分第一浓度和标记物第一浓度,以及第二时间下吸收剂中的活性组分第二浓度和标记物第二浓度,计算得到吸收剂在第一时间至第二时间的时段内的活性组分损耗率。

[0027] 本发明中,第一时间和第二时间可根据实际需要进行设定,通过本发明的方法,可以测量任意时间段内的吸收剂活性组分损耗率。

[0028] 在本发明的一些具体实施例中,将吸收剂中的活性组分记为 A_1 、 A_2 、……、 A_n ;总活性组分记为 $A_{\text{总}}$;第一时间下吸收剂中的活性组分第一浓度包括: A_1 活性组分第一浓度 $C_{A_1T_1}$ 、 A_2 活性组分第一浓度 $C_{A_2T_1}$ 、……、 A_n 活性组分第一浓度 $C_{A_nT_1}$;第二时间下吸收剂中的活性组分第二浓度包括: A_1 活性组分第二浓度 $C_{A_1T_2}$ 、 A_2 活性组分第二浓度 $C_{A_2T_2}$ 、……、 A_n 活性组分第二浓度 $C_{A_nT_2}$;将标记物记为 K ,第一时间下吸收剂中标记物浓度为 C_{KT_1} ,第二时间下吸收剂中标记物浓度为 C_{KT_2} 。则,吸收剂在第一时间至第二时间的时段内,各活性组分损耗率的计算公式为:

$$D_{A_1} = \left(1 - \frac{C_{KT_1} \times C_{A_1T_2}}{C_{KT_2} \times C_{A_1T_1}}\right) \times 100\%;$$

$$D_{A_2} = \left(1 - \frac{C_{KT_1} \times C_{A_2T_2}}{C_{KT_2} \times C_{A_2T_1}}\right) \times 100\%;$$

……

$$D_{A_n} = \left(1 - \frac{C_{KT_1} \times C_{A_nT_2}}{C_{KT_2} \times C_{A_nT_1}}\right) \times 100\%;$$

其中, D_{A_1} 、 D_{A_2} 、 D_{A_n} 分别为 A_1 、 A_2 、 A_n 活性组分的损耗率。

[0029] 以吸收剂中的 A_1 活性组分为例,上述损耗率计算公式的推导过程如下:

第一时间下吸收剂组成为:质量为 $M_{A_{\text{总}}T_1}$ 的总活性组分(其中包括质量为 $M_{A_1T_1}$ 的 A_1 活性组分)、质量为 M_{KT_1} 的标记物以及质量为 M_{WT_1} 的水,则此时 A_1 活性组分的浓度 $C_{A_1T_1}$ 以及标记物的浓度 C_{KT_1} 为:

$$C_{A_1T_1} = \frac{M_{A_1T_1}}{(M_{A_{\text{总}}T_1} + M_{KT_1} + M_{WT_1})} \times 100\% \quad (1);$$

$$C_{KT1} = \frac{M_{KT1}}{(M_{A_{\text{总}T1}} + M_{KT1} + M_{WT1})} \times 100\% \quad (2);$$

可得:

$$\frac{C_{KT1}}{C_{A1T1}} = \frac{M_{KT1}}{M_{A1T1}} \quad (3);$$

碳捕集运行至第二时间,假设此时水质量减少了 ΔM_w ,总活性组分的质量减少了 $\Delta M_{A_{\text{总}}}$ (其中 A_1 活性组分质量减少了 ΔM_{A1}),而标记物性质稳定,不挥发不降解,其质量不变,仍为 M_{KT1} 。则此时的吸收剂组成为:质量为 $M_{A_{\text{总}T1}} - \Delta M_{A_{\text{总}}}$ 的总活性组分(其中包括质量为 $M_{A1T1} - \Delta M_{A1}$ 的 A_1 活性组分)、质量为 M_{KT1} 的标记物以及质量为 $M_{WT1} - \Delta M_w$ 的水,则此时 A_1 活性组分的浓度 C_{A1T2} 以及标记物的浓度 C_{KT2} 为:

$$C_{A1T2} = \frac{M_{A1T1} - \Delta M_{A1}}{(M_{A_{\text{总}T1}} - \Delta M_{A_{\text{总}}} + M_{KT1} + M_{WT1} - \Delta M_w)} \times 100\% \quad (4);$$

$$C_{KT2} = \frac{M_{KT1}}{(M_{A_{\text{总}T1}} - \Delta M_{A_{\text{总}}} + M_{KT1} + M_{WT1} - \Delta M_w)} \times 100\% \quad (5);$$

可得:

$$\frac{C_{KT2}}{C_{A1T2}} = \frac{M_{KT1}}{M_{A1T1} - \Delta M_{A1}} \quad (6);$$

第一时间至第二时间的时段内的 A_1 活性组分的损耗率记为 D_{A1} ,有:

$$D_{A1} = \frac{\Delta M_{A1}}{M_{A1T1}} \times 100\% = \left(1 - \frac{M_{A1T1} - \Delta M_{A1}}{M_{A1T1}}\right) \times 100\% \quad (7);$$

将式(3)和式(6)代入式(7),可得:

$$D_{A1} = \left(1 - \frac{C_{KT1} \times C_{A1T2}}{C_{KT2} \times C_{A1T1}}\right) \times 100\% \quad (8)。$$

[0030] 由式(8)可以看出,吸收剂在引入标记物后,仅需要测量标记物和 A_1 活性组分在运行一段时间前后的浓度,即可得到准确 A_1 活性组分的损耗率。

[0031] 吸收剂中的其他活性组分 A_2 、……、 A_n 的损耗率计算公式的推导过程与 A_1 活性组分相同。

[0032] 作为对比,若不引入稳定的标记物,仅靠常规方法直接测量 A_1 活性组分和总活性组分 $A_{\text{总}}$ 的浓度变化,则计算过程如下:

第一时间:

$$C_{A1T1} = \frac{M_{A1T1}}{(M_{A_{\text{总}T1}} + M_{WT1})} \times 100\% \quad (9);$$

$$C_{A_{\text{总}T1}} = \frac{M_{A_{\text{总}T1}}}{(M_{A_{\text{总}T1}} + M_{WT1})} \times 100\% \quad (10);$$

第二时间:

$$C_{A_1T_2} = \frac{M_{A_1T_1} - \Delta M_{A_1}}{(M_{A_{\text{总}}T_1} - \Delta M_{A_{\text{总}}} + M_{WT_1} - \Delta M_W)} \times 100\% \quad (11);$$

$$C_{A_{\text{总}}T_2} = \frac{M_{A_{\text{总}}T_1} - \Delta M_{A_{\text{总}}}}{(M_{A_{\text{总}}T_1} - \Delta M_{A_{\text{总}}} + M_{WT_1} - \Delta M_W)} \times 100\% \quad (12);$$

将式(9)和式(11)代入式(7),可得:

$$D_{A_1} = \left(1 - \frac{C_{A_1T_2} \times (M_{A_{\text{总}}T_1} - \Delta M_{A_{\text{总}}} + M_{WT_1} - \Delta M_W)}{C_{A_1T_1} \times (M_{A_{\text{总}}T_1} + M_{WT_1})} \right) \times 100\%$$

(13);

由式(10)和式(12)分别得到:

$$M_{A_{\text{总}}T_1} = \frac{C_{A_{\text{总}}T_1} \times M_{WT_1}}{(1 - C_{A_{\text{总}}T_1})} \quad (14);$$

$$M_{A_{\text{总}}T_1} - \Delta M_{A_{\text{总}}} = \frac{C_{A_{\text{总}}T_2} \times (M_{WT_1} - \Delta M_W)}{(1 - C_{A_{\text{总}}T_2})} \quad (15);$$

将式(14)和式(15)代入式(13),可得:

$$D_{A_1} = \left(1 - \frac{C_{A_1T_2} \times (M_{WT_1} - \Delta M_W) \times (1 - C_{A_{\text{总}}T_1})}{C_{A_1T_1} \times M_{WT_1} \times (1 - C_{A_{\text{总}}T_2})} \right) \times 100\%$$

(16)。

[0033] 由式(16)可以看出,采用常规方法直接测量 A_1 活性组分的浓度变化,不仅需要获取 A_1 活性组分和总活性组分 $A_{\text{总}}$ 在运行一段时间前后的浓度,还需要获取体系中的水分总量和水分变化量,而在碳捕集系统工业运行过程,水由于挥发或湿烟气带入等情况而导致其质量不断发生变化,从而使得其在运行前后的质量变化 ΔM_W 无法确定,进而造成 A_1 活性组分的损耗率 D_{A_1} 无法准确测量,现有的常规方法直接假定水质量没发生变化,即 ΔM_W 为0,这明显导致了测量偏差。

[0034] 在本发明的一些具体实施例中,当吸收剂中含有多种活性组分时,吸收剂的活性组分总损耗率 $D_{\text{总}}$ 可以下述公式计算:

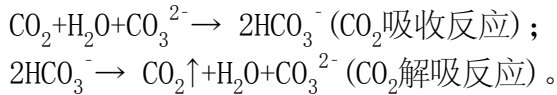
$$D_{\text{总}} = \frac{\sum (D_{A_n} \times C_{A_nT_1})}{\sum C_{A_nT_1}}。$$

[0035] 在本发明的一些实施例中,吸收剂中的活性组分及其种类数量可根据具体情况设置,如可根据碳捕集工况、碳捕集系统进行调整,本发明不作具体限定。在本发明的一些具体实施例中,吸收剂中的活性组分种类数量 n 为1~10,更具体为1~5,例如可以是1、2、3、4或5中的任一值或任意两者之间的范围值。

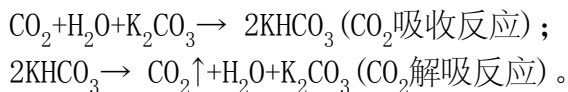
[0036] 在本发明的一些实施例中,吸收剂中含有的活性组分包括胺类化合物;在本发明的一些具体实施例中,胺类化合物包括伯胺类化合物、仲胺类化合物或叔胺类化合物中的至少一种。例如,伯胺类化合物可以是一乙醇胺(MEA)、二乙二醇胺(DGA)、和2-氨基-2-甲基-1-丙醇(AMP)等;仲胺类化合物可以是二乙醇胺(DEA)、二异丙醇胺(DIPA)、哌嗪(PZ)等;叔胺类化合物可以是三乙醇胺(TEA)、N-甲基二乙醇胺(MDEA)等。

[0037] 在本发明的一些实施例中,标记物包括水溶性无机盐;在本发明的一些具体实施例中,水溶性无机盐包括水溶性碳酸盐、水溶性碳酸氢盐或其组合;在本发明的一些更具体实施例中,水溶性无机盐包括碳酸钾、碳酸氢钾、碳酸钠或碳酸氢钠中的至少一种。

[0038] 水溶性无机盐作为标记物,在碳捕集装置运行过程中具有溶解性好(尤其可溶于吸收剂)、性质稳定、不挥发、不干扰吸收剂碳捕集性能等优点,其中,水溶性碳酸盐和水溶性碳酸氢盐尤其适用于作为本发明的标记物,原因在于这两类盐都溶于水中,蒸汽压极低,几乎不挥发,且不仅不干扰原吸收剂的捕集性能,还能在一定程度上促进碳捕集,主要是因为水溶性碳酸盐和水溶性碳酸氢盐在CO₂捕集过程中,可有效促进CO₂吸收反应和CO₂解吸反应的进行,水溶性碳酸盐有利于促进CO₂吸收反应,水溶性碳酸氢盐有利于促进CO₂解吸反应,具体反应可表示如下:



[0039] 更具体地,水溶性碳酸盐可以是碳酸钾、碳酸钠或其组合,水溶性碳酸氢盐可以是碳酸氢钾、碳酸氢钠或其组合。以碳酸钾和碳酸氢钾为例,其作为标记物可在CO₂捕集过程中发生如下反应:



[0040] 在本发明的一些实施例中,标记物在吸收剂中的浓度为0.01~5wt%;在本发明的一些具体实施例中,标记物在吸收剂中的浓度为0.1~0.5wt%;例如可以是0.1wt%、0.2wt%、0.3wt%、0.4wt%或0.5wt%中的任一值或任意两者之间的范围值。

[0041] 本发明从理论上来说,标记物的种类和浓度范围并不影响测量结果,但考虑到标记物在碳捕集过程的稳定性,为了确保标记物在碳捕集装置运行过程中不挥发不降解,且对吸收剂吸收CO₂没有负向影响,同时基于测量精度和测量成本的考量,提出了上述标记物种类和标记物浓度范围,采用上述标记物种类和标记物浓度范围,可确保获得良好的测量效果和碳捕集效果,但本发明并不限于上述标记物种类和标记物浓度范围。

[0042] 本发明实施例的第二方面提供了一种碳捕集装置运行过程中吸收剂损耗率的测量系统,包括:

标记物引入模块,用于在吸收剂中引入标记物;

浓度获取模块,用于在碳捕集装置运行过程中,获取不同时间下吸收剂中的活性组分浓度和标记物浓度;

损耗率计算模块,用于基于获取的不同时间下吸收剂中的活性组分浓度和标记物浓度,计算得到吸收剂在不同时间段内的活性组分损耗率。

[0043] 在本发明的一些实施例中,标记物引入模块可以设置于碳捕集的吸收塔吸收剂进口,用于在该吸收塔吸收剂进口处的吸收剂中引入标记物。

[0044] 在本发明的一些实施例中,浓度获取模块可以设置于碳捕集的吸收塔吸收剂进口,用于获取该吸收塔吸收剂进口处的吸收剂中的活性组分浓度和标记物浓度。

[0045] 在本发明的一些实施例中,浓度获取模块可以先在吸收剂中取样,再测量取样样品中的活性组分浓度和标记物浓度;取样位置可以是吸收塔吸收剂进口的沿线处;浓度测量方法可以采用离子色谱法和/或气相色谱法。

[0046] 本发明实施例第二方面提供的测量系统,可以执行本发明实施例第一方面提供的测量方法,其实现原理以及有益效果类似。

[0047] 本发明实施例的第三方面提供了一种碳捕集装置运行过程中吸收剂损耗率的测量设备,测量设备包括:处理器以及存储有计算机程序指令的存储器;处理器执行计算机程序指令时实现如本发明的第一方面的测量方法。

[0048] 本发明实施例第三方面提供的测量设备,可以执行本发明实施例第一方面提供的测量方法,从而实现本发明实施例第一方面的测量方法和本发明第二方面的测量系统。

[0049] 本发明实施例中提供的测量系统和测量设备基于本发明实施例第一方面的测量方法进行,通过该测量系统和测量设备,能够简单方便且准确地测量碳捕集装置运行过程中吸收剂损耗率。

[0050] 本发明的第四方面提供了一种碳捕集系统,包括如本发明的第二方面的测量系统,或者如本发明的第三方面中的测量设备。

[0051] 在碳捕集系统中采用本发明提供的测量系统或测量设备,有利于准确评价吸收剂的抗降解性能和损耗成本,以及开发更稳定的吸收剂,从而得到碳捕集性能更好、运行更稳定的碳捕集系统。

[0052] 以下提供具体的实施例,对本发明作进一步详细的说明。

[0053] 实施例1

一种碳捕集装置运行过程中的吸收剂损耗率测量方法,具体步骤如下:

碳捕集吸收剂中的胺组分为哌嗪(PZ)和2-氨基-2-甲基-1-丙醇(AMP),两者含量分别为26wt%和14wt%,在某工业碳捕集装置中加入该吸收剂20吨,并添加标记物 K_2CO_3 ,添加量为0.1005吨,添加标记物后吸收剂取样 S_1 ,其中标记物浓度为0.5wt%,钾离子浓度 $C_{K1}=0.2829wt\%$,胺组分PZ浓度 $C_{PZ1}=23.88wt\%$,胺组分AMP浓度 $C_{AMP1}=15.92wt\%$ 。吸收剂经过6个月的运行后,在吸收塔入口处取样 S_2 ,对 S_2 进行化验分析后,由离子色谱测得钾离子浓度 $C_{K2}=0.2363wt\%$,由气相色谱测得胺组分PZ浓度 $C_{PZ2}=16.58wt\%$,胺组分AMP浓度 $C_{AMP2}=11.36wt\%$ 。

[0054] 则样品 S_1 取样时,胺组分PZ的损耗率为:

$$D_{PZ} = \left(1 - \frac{C_{K1} \times C_{PZ2}}{C_{K2} \times C_{PZ1}}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{0.002829 \times 0.1658}{0.002363 \times 0.2388}\right) \times 100\% = 16.877wt\% ;$$

样品 S_1 取样时,胺组分AMP的损耗率为:

$$D_{AMP} = \left(1 - \frac{C_{K1} \times C_{AMP2}}{C_{K2} \times C_{AMP1}}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{0.002829 \times 0.1136}{0.002363 \times 0.1592}\right) \times 100\% = 14.571wt\% ;$$

样品 S_1 取样时,吸收剂总胺损耗率为:

$$D_{总} = \frac{D_{PZ} \times C_{PZ1} + D_{AMP} \times C_{AMP1}}{C_{PZ1} + C_{AMP1}} = \frac{16.877wt\% \times 0.2388 + 14.571wt\% \times 0.1592}{0.2388 + 0.1592} = 15.955wt\% .$$

[0055] 对比例1

针对实施例1的碳捕集装置运行过程,采用现有常规方法1(假设碳捕集运行前后的水质量不变,即 $\Delta M_w=0$),计算胺组分损耗率,具体过程如下:

样品S₁取样时,胺组分PZ的损耗率为:

$$D_{PZ} = \left(1 - \frac{C_{PZ2} \times (M_{WT1} - 0) \times (1 - (C_{PZ1} + C_{AMP1}))}{C_{PZ1} \times M_{WT1} \times (1 - (C_{PZ2} + C_{AMP2}))} \right) \times 100\% ;$$

$$= \left(1 - \frac{0.1658 \times (1 - (0.2388 + 0.1592))}{0.2388 \times (1 - (0.1658 + 0.1136))} \right) \times 100\% = 41.997\text{wt}\%$$

样品S₁取样时,胺组分AMP的损耗率为:

$$D_{AMP} = \left(1 - \frac{C_{AMP2} \times (M_{WT1} - 0) \times (1 - (C_{PZ1} + C_{AMP1}))}{C_{AMP1} \times M_{WT1} \times (1 - (C_{PZ2} + C_{AMP2}))} \right) \times 100\% ;$$

$$= \left(1 - \frac{0.1136 \times (1 - (0.2388 + 0.1592))}{0.1592 \times (1 - (0.1658 + 0.1136))} \right) \times 100\% = 40.387\text{wt}\%$$

样品S₁取样时,吸收剂总胺损耗率为:

$$D_{\text{总}} = \frac{D_{PZ} \times C_{PZ1} + D_{AMP} \times C_{AMP1}}{C_{PZ1} + C_{AMP1}} = \frac{41.997\text{wt}\% \times 0.2388 + 40.387\text{wt}\% \times 0.1592}{0.2388 + 0.1592} ;$$

$$= 41.353\text{wt}\%$$

[0056] 对比例2

针对实施例1的碳捕集装置运行过程,采用现有常规方法2(假设碳捕集运行前后的吸收剂总质量不变),计算胺组分损耗率,具体过程如下:

样品S₁取样时,胺组分PZ的损耗率为:

$$D_{PZ} = \frac{C_{PZ1} - C_{PZ2}}{C_{PZ1}} \times 100\% = \frac{0.2388 - 0.1658}{0.2388} \times 100\% = 30.570\text{wt}\% ;$$

样品S₁取样时,胺组分AMP的损耗率为:

$$D_{AMP} = \frac{C_{AMP1} - C_{AMP2}}{C_{AMP1}} \times 100\% = \frac{0.1592 - 0.1136}{0.1592} \times 100\% = 28.643\text{wt}\% ;$$

样品S₁取样时,吸收剂总胺损耗率为:

$$D_{\text{总}} = \frac{D_{PZ} \times C_{PZ1} + D_{AMP} \times C_{AMP1}}{C_{PZ1} + C_{AMP1}} = \frac{30.570\text{wt}\% \times 0.2388 + 28.643\text{wt}\% \times 0.1592}{0.2388 + 0.1592} ;$$

$$= 29.799\text{wt}\%$$

[0057] 为了获取实际的吸收剂总胺损耗率,将运行6个月的碳捕集系统停止运行,测量系统中的吸收剂总量和浓度,计算得到吸收剂总胺损耗率的实际值为16.82wt%。可见,相比于对比例1~2,实施例1的方法得到的损耗率更接近实际值,具有更高的测量准确率。

[0058] 从以上实施例1可以看出,本发明的测量方法通过在吸收剂中引入标记物,仅需要测量标记物和胺组分在运行一段时间前后的浓度,即可得到准确胺组分的损耗率,该测量方法不需要如现有常规方法一样测量水组分总量和变化量。由于本发明的测量方法不会受到碳捕集装置运行过程中水组分质量变化的影响,也无需测量碳捕集系统中的水总量,测

量过程简单方便,测量结果准确。

[0059] 此外,采用 K_2CO_3 作为标记物,其溶于水,蒸汽压极低,几乎不挥发,且不仅不干扰原吸收剂的捕集性能,还能在一定程度上促进碳捕集,尤其是有利于促进 CO_2 吸收反应,改善碳捕集效率。在液气比等碳捕集条件相同下,组成为24wt%PZ、16wt%AMP和60wt%水的吸收剂,其 CO_2 捕集率为91.1%;组成为24wt%PZ、16wt%AMP、0.5wt% K_2CO_3 和59.5wt%水的吸收剂,其 CO_2 捕集率为91.4%。可见,添加 K_2CO_3 作为标记物后,碳捕集系统的 CO_2 捕集率有所提高。

[0060] 综上所述,本发明在吸收剂中引入标记物,将其作为吸收剂中活性组分浓度变化的参照点,能够更准确地测量吸收剂中的活性组分在碳捕集装置运行过程中的损耗率,进而有利于准确评价吸收剂的抗降解性能和损耗成本,以及开发更稳定的吸收剂,本发明的测量方法和测量系统在碳捕集系统中具有良好的应用前景。