

低碳排放化石能源产生方法及装置

技术领域

本发明低碳排放化石能源产生方法及装置，用于以低碳大气排放的方式使用化石及生物质燃料产生能源，适用于滨海及海洋区域，属于清洁能源和气候减缓技术领域。

背景技术

UNFCCC 巴黎协定提出本世纪下半叶实现“排放源”和“清除汇”规模平衡的气候目标以来，海洋占地球自然碳汇碳库 93%并自然清除着近 40%人为排碳量的科学事实被重新重视，利用地球最大的自然“清除汇”海洋资源，实现化石能源大气低碳排放的方案被重新提出。

美国 15568596 号专利申请“海水式碳捕集封存方法与装置”，公开了一种仅利用天然海水洗涤含碳气体捕集二氧化碳，并使洗涤海水以符合法律规定的水质指标排往海洋实现海洋自然碱度碳封存的技术方案，可以安全和生态环境友好并具有成本效益地利用海洋自然碳汇碳库资源减少大气中的二氧化碳；但由于一般烟气中二氧化碳浓度较低，捕集二氧化碳所需的洗涤水量及洗涤器占地面积较大，其应用范围和成本效益存在提升空间。

另一方面，为实现二氧化碳地质封存（包括海底地质和亚地质碳封存，以及海底二氧化碳湖封存）及采油驱油需要高浓度二氧化碳，长期存在一种富氧燃烧碳捕集加胺剂洗涤碳提纯与地质碳封存的碳捕集与封存（CCS）方案。其中的富氧燃烧环节是使化石燃料燃烧环境空气的氧气浓度大于自然环境空气氧气浓度 20.95%的现有技术，其燃烧环境空气的氧气浓度 $\geq 21\%$ ，因而燃烧烟气中的二氧化碳浓度大于在自然环境空气中燃烧时的二氧化碳浓度，可以降低使用胺剂洗涤二氧化碳的捕集成本。如欧洲公开的一例全链式富氧燃烧低碳排放发电项目设计，是在常规发电厂基础上增加空气分离系统（ASU）和烟气处理系统（GPU）形成的，其 ASU 系统使燃烧环境空气的氧气浓度 $\geq 95\%$ 时，可以使烟气中的二氧化碳浓度达到 85%以上。但由于这类方案的目标是地质封

存（包括陆地、海底地质驱油）及需要远距离输送，要求对烟气中的二氧化碳进一步提纯并压缩，一直面临包括环境安全成本在内的技术成本障碍。

发明内容

本发明低碳排放化石能源产生方法及装置的发明目的在于，进一步提升海水洗涤碳捕集与封存方案的应用范围和成本效益，克服现有富氧燃烧方案的技术成本障碍，提供一种低碳大气排放化石能源产生方法及装置。

本发明第一个方面是提供了一种低碳排放化石能源产生方法，所述方法包括如下步骤：

- 1) 富氧燃烧：增加化石燃料燃烧环境空气的氧气浓度，使燃烧产生热能的同时提高燃烧烟气中的二氧化碳浓度；
- 2) 海水洗涤碳捕集：使用海水洗涤步骤 1) 的富氧燃烧烟气，以使烟气中的二氧化碳溶入海水进行碳捕集，产生清洁的脱碳烟气和溶有烟气中二氧化碳的酸性洗涤水；
- 3) 水质恢复：使用新鲜海水稀释步骤 2) 生成的酸性洗涤水，使酸性洗涤水的 pH 恢复到允许排往海洋的法律规定值，成为洗涤排放海水；
- 4) 海洋水体碳封存：将步骤 3) 的洗涤排放海水注入海洋水体，以实现长期安全和海洋生态环境友好的海洋碳封存；
- 5) 低碳大气排放：将步骤 2) 的脱碳烟气排往大气；
- 6) 能源输出：将步骤 1) 富氧燃烧产生的热能转换为应用能源输出。

进一步的技术方案是：

所述步骤 2) 的使烟气中的二氧化碳溶入海水进行碳捕集，是使烟气中二氧化碳量的 3%~99%溶入海水进行的碳捕集。

所述步骤 1) 的增加化石燃料燃烧环境空气的氧气浓度，是增加取自于深冷式液化空气法，和/或 PSA 式变压吸附法，和/或膜分离法之类制取氧气步骤制取的氧气在化石燃料燃烧环境空气中的浓度。

所述步骤 4) 的洗涤排放海水注入海洋水体，包括采用常压管道注入步骤 3) 的水质恢复实施地点近旁的海洋水体。

所述步骤 6) 的使富氧燃烧产生的热能转换为应用能源输出，包括转换为电能，动

能，热能介质等应用能源中的一种或多种组合输出。

所述制取氧气的步骤，是同时回收利用副产物氮气的制取氧气步骤。

所述的化石燃料包括石油，天然气，可燃冰，生物质，煤炭这类含碳燃料中的一种或多种组合。

所述的富氧燃烧是使化石燃料燃烧环境空气的氧气浓度 $\geq 21\%$ 。

所述的海水是取自海洋的自然海水，包括取自海洋用于工业设施冷却后的海水。

本发明的第二个方面是提供一种用于本发明方法的低碳排放化石能源产生装置，它包括增氧器，燃烧器，以及碳捕集器；所述增氧器为增加氧气浓度的设备，包括进气通道，富氧风送风通道，排氮通道，该进气通道与大气联通，富氧风送风通道与燃烧器联通；所述燃烧器包括燃料输送器，排烟通道，能源转换输出装置，该排烟通道与碳捕集器连接；所述碳捕集器包括洗涤水导入通道，海水抽取设备，脱碳烟气导出通道，该洗涤水导入通道与海水抽取设备连接，脱碳烟气导出通道通过排气筒连通至大气，海水排出口通过水质恢复器与海水排水管联接，海水排水管的出口连通至海洋水体。

进一步的技术方案是：所述增氧器选自于深冷式空气液化分离装置，和/或 PSA 变压吸附装置，和/或膜分离装置。

所述增氧器是进气增压制氧装置，该进气增压制氧装置包括进气压气机，和/或进气增压器。

所述的碳捕集器由海水烟气洗涤器构成；所述碳捕集器连接的水质恢复器由水流混合装置构成。

所述增氧器通过排氮通道与氮气回收利用装置相连接；该氮气回收利用装置由合成氨和/或氮肥生产装置构成，和/或由化工密封气储存输送装置构成。

所述碳捕集器的海水排出口通过温差发电器和水质恢复器与海水排水管联接，温差发电器通过内部供电系统与增氧器及海水抽取设备电连接。

所述燃烧器是由燃烧化石和/或生物质含碳燃料的锅炉，和/或内燃机构成；所述燃烧器连接的能源转换输出装置，是由汽轮发电机，和/或燃气轮机，和/或供热锅炉，和/或推进器构成。

一种低碳排放化石燃料发电厂，包括上述用于本发明方法的低碳排放化石能源产生装置技术方案和进一步的技术方案所述的任一技术特征。

一种低碳排放化石燃料动力的海洋船舶，包括上述用于本发明方法的低碳排放化石

能源产生装置技术方案和进一步的技术方案所述的任一技术特征。

本发明的技术原理和效果：

本发明利用二氧化碳是可溶于海水并大量存在于海水中的天然物质，可以在海洋中友好地长期和海量贮存，使海水洗涤化石燃料烟气，溶出烟气中的二氧化碳实现碳捕集，再对溶有烟气中二氧化碳形成的酸性海水调整恢复水质，使 pH 恢复到允许排往海洋的法律规定值，然后注入到海洋水体实施海洋碳封存。这时储存在海水中的二氧化碳主要转化为碳酸氢根离子形态，被气候科学文献认为是一种最安全稳定的海洋碳储存方式。

当烟气中二氧化碳浓度较低时，捕集二氧化碳所需的洗涤水量及洗涤器占地面积较大，影响其应用范围和成本效益的进一步提升，因此采用富氧燃烧的方式来提高烟气中的 CO₂ 浓度，成为一种富氧燃烧海水洗涤碳捕集与海洋碳封存的本发明 CCS（碳捕集与封存）方案。与现有富氧燃烧 CCS 方案相比，本发明方案的碳捕集成本大约降低 50%~80%，封存成本大约降低 2 个数量级。这是由于两种 CCS 方案碳捕集和封存方式存在基本差异，而且本发明方案产生的含碳烟气不压缩，以及供氧浓度和产生的二氧化碳浓度的选择范围较大，同时本发明方案的碳捕集器兼具烟气脱硫的技术效果，所以比现有富氧燃烧 CCS 方案至少省略了烟气处理装置（GPU）和 FGD 装置及其物耗能耗，而且空气分离（ASU）装置不要求制备高纯度氧气，而是综合考虑洗涤水量等总体成本因素，优化设计供氧浓度和产生的二氧化碳浓度。

而富氧燃烧能够提高燃烧器的能源转换率约 1~3%，以及制氧同时回收利用氮气资源，起到碳捕集利用与封存即 CCUS 的功效，也在本发明方案中得以实现。

因此，本发明低碳排放化石能源产生方法及装置的技术方案，利用化石燃料、生物质燃料等含碳矿物资源产生对大气低碳排放并且低成本的清洁能源，使安全和生态环境友好地利用海洋自然碳汇碳库的减缓方案，得以进一步提升应用范围和成本效益，从而有利于更大规模和更迅速地减排大气中的温室气体。

附图说明

图 1 是本发明方法的一种实施步骤示意图。

图 2 是用于本发明方法的装置的结构示意图。

图 3 是应用本发明方法和装置方案改造滨海发电厂的实施例示意图。

图 4 是应用本发明方法的海洋船舶实施例示意图。

附图中的图号标记对象的名称为：

1—增氧器，1.1—进气通道，1.2—富氧风送风通道，1.3—排氮通道，1.4—氮气回收利用装置，2—燃烧器，2.1—燃料输送器，2.2—排烟通道，2.3—能源转换输出装置，3—碳捕集器，3.1—洗涤水导入通道，3.2—海水抽取设备，3.3—脱碳烟气导出通道，3.4—排气筒，3.5—海水排出口，3.6—水质恢复器，3.7—海水排水管，3.8—温差发电机，3.9—海洋水体，3.10—洋流。

具体实施方式

结合附图和实施例对本发明作进一步说明如下。

实施例 1：是本发明方法的一种基本实施例。如附图 1 所示，实施步骤包括：1) 富氧燃烧：增加化石燃料燃烧环境空气的氧气浓度，使燃烧产生热能的同时提高燃烧烟气中的二氧化碳浓度；2) 海水洗涤碳捕集：使用海水洗涤步骤 1) 的富氧燃烧烟气，以使烟气中的二氧化碳溶入海水进行碳捕集，产生清洁的脱碳烟气和溶有烟气中二氧化碳的酸性洗涤水；3) 水质恢复：使用新鲜海水稀释步骤 2) 生成的酸性洗涤水，使酸性洗涤水的 pH 恢复到允许排往海洋的法律规定值，成为洗涤排放海水；4) 海洋水体碳封存：将步骤 3) 的洗涤排放海水注入海洋水体，以实现长期安全和海洋生态环境友好的海洋碳封存；5) 低碳大气排放：将步骤 2) 的脱碳烟气排往大气；6) 能源输出：将步骤 1) 富氧燃烧产生的热能转换为应用能源输出。

实施例 2：是在实施例 1 基础上的一组实施例，所述的化石燃料，分别是石油、天然气、可燃冰、生物质燃料、煤炭。本实施例将生物质燃料与普通化石燃料同样作为含碳燃料用于低碳排放能源生产，而生物质燃料的低碳排放燃烧具有负面排放的气候减缓意义。

在实施例 1 基础上还有一组实施例，是所述的化石燃料，分别是石油和天然气组合，天然气和可燃冰组合，生物质燃料和煤炭组合，石油和煤炭组合。

在实施例 1 基础上又一组实施例，是所述增加化石燃料燃烧环境空气的氧气浓度，是使燃烧环境空气中氧气所占的体积百分比分别增加到 21%~25%，25%~35%，35%~55%，55%~75%，75%~99%。

实施例 3：是在实施例 1 基础上的一组实施例，所述提高燃烧烟气中的二氧化碳浓

度,提高后烟气中二氧化碳的浓度比环境空气助燃的烟气二氧化碳浓度,分别增加 1%~10%, 10%~50%, 50%~100%。

在实施例 1 基础上还有一组实施例,所述提高燃烧烟气中的二氧化碳浓度,提高后烟气中二氧化碳的浓度比环境空气助燃的烟气二氧化碳浓度,分别增加 1~2 倍, 2~5 倍, 5~10 倍, 10~20 倍, 20~30 倍。

实施例 4: 是在实施例 1 基础上的一组实施例,所述使烟气中的二氧化碳溶入海水进行碳捕集,烟气中溶入海水的二氧化碳量分别达到 3%~5%, 5%~15%, 15%~35%, 35%~55%, 55%~75%, 75%~99%。

实施例 5: 是在实施例 1 基础上的又一种基本实施例:所述的增加化石燃料燃烧环境空气的氧气浓度,是使燃烧环境空气中增加取自于深冷式空气液化分离方法制取的氧气;另一基本实施例是使燃烧环境中增加由 PSA 式变压吸附方法制取的氧气;还有一实施例是使燃烧环境中增加由膜分离方法制取的氧气。

在实施例 1 基础上的另一种基本实施例:所述步骤 6)使富氧燃烧产生的热能转换为应用能源输出,是通过加热锅炉产生蒸汽推动汽轮发电机转换为电能输出到电网;另一实施例是富氧燃烧产生的热能,通过内燃机转换为推动船舶推进器的动能;又一实施例是富氧燃烧产生的热能,由供热锅炉转换为热蒸汽和/或热水介质输出;还有一实施例是富氧燃烧产生的热能,通过燃气轮机转换为动能。还有另一组实施例是使富氧燃烧产生的热能,同时转换为电能和动能及热能介质的应用能源组合。

实施例 6: 是本发明装置技术方案的一种基本实施例,如附图 2 所示,它包括增氧器 1,燃烧器 2,以及碳捕集器 3;所述增氧器 1 为增加氧气浓度的设备,包括进气通道 1.1,富氧风送风通道 1.2,排氮通道 1.3,该进气通道 1.1 与大气联通,富氧风送风通道 1.2 与燃烧器 2 联通;所述燃烧器 2 包括燃料输送器 2.1,排烟通道 2.2,能源转换输出装置 2.3,该排烟通道 2.2 与碳捕集器 3 连接;所述碳捕集器 3 包括洗涤水导入通道 3.1,海水抽取设备 3.2,脱碳烟气导出通道 3.3,该洗涤水导入通道 3.1 与海水抽取设备 3.2 连接,脱碳烟气导出通道 3.3 通过排气筒 3.4 连通至大气,海水排出口 3.5 通过水质恢复器 3.6 与海水排水管 3.7 联接,海水排水管 3.7 的出口连通至海洋水体。

实施例 7: 是在实施例 6 基础上的实施例,如附图 2,所述的碳捕集器 3 由海水烟气洗涤器构成;所述碳捕集器 3 连接的水质恢复器 3.6 由水流混合装置构成,以使新鲜海水与酸性海水在与大气隔绝的环境中充分混合。

在实施例 6 基础上的另一组实施例是增氧器包括增加氧气设备，分别选自深冷式空气液化分离装置，和/或 PSA 变压吸附装置，和/或膜分离装置。

在实施例 6 基础上还有一组实施例是所述燃烧器分别由燃烧化石和/或生物质含碳燃料的锅炉，和/或内燃机，和/或燃气轮机构成。

在实施例 6 基础上又有一组实施例是所述燃烧器连接的能源转换输出装置，是由汽轮发电机，和/或供热锅炉，和/或内燃机，和/或推进器，和/或燃气轮机构成。

实施例 8：是在实施例 6 基础上的实施例，如附图 3，增氧器 1 通过排氮通道 1.3 与氮气回收利用装置 1.4 相连接；该氮气回收利用装置由完整的合成氨生产厂构成。另一实施例的氮气回收利用装置由整套氮肥生产厂构成。还有一实施例的氮气回收利用装置由化工密封气储存输送装置构成。

以上实施例中制取氧气的步骤，是同时回收利用副产物氮气的制取氧气步骤，因此也是一种碳捕集、利用与封存即 CCUS 实施例。

实施例 9：是在实施例 6、实施例 7 和基础上的一种发电厂改造实施例，如附图 2 所示，燃烧器为 600MW 汽轮发电机组配套的超临界燃煤锅炉，燃用煤粉和生物质燃料，改造分二期实施。

一期改造实施例，在锅炉进风通道加装一套增氧器，在出烟通道加装一套海水洗涤碳捕集器；加装的增氧器选自深冷式空气液化分离装置，可使锅炉进风的氧体积浓度增加到约 40%，产生的燃烧烟气二氧化碳的体积浓度约为 36%；加装的海水洗涤碳捕集器，采用填料塔以降低高度，其布水器高度约为 9m；洗涤海水直接利用电厂现有的冷却海水，不另建取排水设施，可实现年捕集封存二氧化碳约 30 万吨，发电厂的 CO₂ 排放减少约 10%，SO₂ 减少约 99%。富氧燃烧还使锅炉燃烧效率提高了约 3%。

二期改造实施例，在一期改造基础上，在锅炉进风通道增加增氧器的规模和出力，在出烟通道扩建海水洗涤碳捕集器，并扩建海水取水泵站。增加的增氧器采用一套 PSA 变压吸附装置，2 套膜分离装置。增加增氧器规模出力后锅炉进风的氧浓度达到约 80%，燃烧烟气的二氧化碳浓度约为 76%；洗涤海水量增加到约 210,000t/h，来自扩建的海水取水系统，洗涤海水经水质恢复装置调整 pH 值，达到环境管理部门依照法律规定的不低于 6.5，然后采用常压管道注入发电厂水质恢复系统近旁的海洋水体；可实现年捕集封存二氧化碳约 230 万吨，发电厂的 CO₂ 排放减少约 80%。

二期改造实施例满足发展氢能源产业的规模化 CCS 需要。

实施例 10: 是一组低碳排放化石燃料发电厂实施例, 分别包括实施例 6、实施例 7、实施例 8、实施例 9 所述低碳排放化石能源产生装置技术特征中的一个或多个技术特征。

另一实施例是在实施例 6 的基础上, 在燃气蒸汽联合循环发电厂的实施例, 其增氧器 1 是进气增压制氧装置, 该进气增压制氧装置利用燃气轮机的进气压气机加氧氮分离膜构成。

实施例 11: 是在实施例 6、实施例 7 基础上的一种海洋船舶实施例, 如附图 4 所示, 燃烧器 2 包括 1 台 23MW 船用柴油机作为连接推进器的主推发动机, 和 1 台作为辅机的供热锅炉, 在发动机和锅炉进气口安装了进气增压制氧装置, 该进气增压制氧装置利用柴油机进气涡轮增压器加氧氮分离膜构成; 碳捕集器 3 的海水排出口 3.5 通过水质恢复器 3.6 与海水排水管 3.7 联接; 尾气通道安装了船用海水洗涤碳捕集器; 排水符合 MARPOL 公约附则 VI 下 MEPC 规则, 许可直接排注至海洋水体。船舶尾气 CO₂ 减少 3%~5% (具体数值与船舶航行所在的海水水质和水温有关), SO₂ 减少 99%。富氧燃烧使船用柴油机效率提高了约 3.8%。

另一船舶实施例的燃料为 LNG, 产生的碳排放少于燃煤和燃油, 但仍属于需要减少和控制碳排放的化石能源。

实施例 12: 是在实施例 11 基础上的一种海洋船舶实施例, 如附图 4 所示, 碳捕集器 3 的海水排出口 3.5 通过温差发电器 3.8 和水质恢复器 3.6 与海水排水管 3.7 联接, 温差发电器 3.8 通过内部供电系统与增氧器 1, 海水抽取设备 3.2 电连接。由于船舶内燃机尾气温度较高, 使得海水在洗涤过程更易于吸收尾气余热 (燃料热量的 60% 以上), 利用这部分余热温差发电, 可以降低增氧器和海水洗涤能耗。本实施例尾气排放的 CO₂ 减少约 5%~10%

实施例 13: 是一组低碳排放化石燃料动力的海洋船舶的实施例, 分别包括实施例 6、实施例 7、实施例 11、实施例 12 所述低碳排放化石能源产生装置技术方案中的一个或多个技术特征。

本发明的权利要求保护范围不限于上述实施例。