(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 101687141 B
(45)授权公告日 2012.09.05

(21)申请号 200880016492.6
(22)申请日 2008.04.02
(30)优先权数据
60/923,373 2007.04.12 US
(85)PCT申请进入国家阶段日
2009.11.18
(86)PCT申请的申请数据
PCT/US2008/004292 2008.04.02
(87)PCT申请的公布数据
WO2008/127557 EN 2008.10.23
(73)专利权人 CEFCO有限责任公司
地址 美国得克萨斯
(72)发明人 H·B·H·库伯 R·E·唐
D·E·蒂格陵 T·K·尤恩
S·M·尤恩
(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所 11038
代理人 柳冀
(51)Int.Cl.
B01D 53/75(2006.01)
F23J 15/00(2006.01)
(56)对比文件
US 4272499 A,1981.06.09,
US 4921886 A,1990.05.01,
US 6447574 B1,2002.09.10,
CN 2369086 Y,2000.03.15,
CN 1088131 A,1994.06.22,
US 4369167 A,1983.01.18,
审查员 武立民

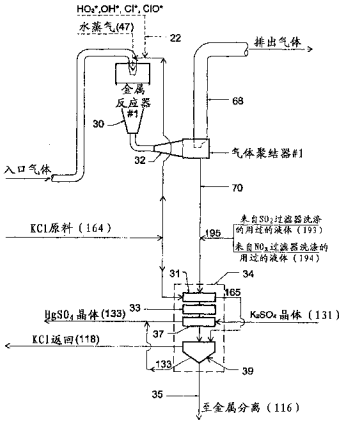
权利要求书 6 页 说明书 39 页 附图 13 页

(54)发明名称

在来自烃燃料源的烟道气中进行碳捕捉并去除多种污染物以及回收多种副产物的方法及设备

(57)摘要

多阶段设备及方法，其依次使用气体动力学反应器及气体聚结器来选择性捕捉并去除纯化的二氧化碳气体，通过再循环化学产生－再生系统使用碱金属氯化物溶液依次捕捉并去除汞、金属及微粒状气溶胶，接着依次多次氧化汞蒸气及一氧化氮，通过两阶段吸收由再循环化学产生－再生系统使用碱金属氢氧化物－碳酸盐－碳酸氢盐溶液选择性捕捉并去除二氧化硫及二氧化氮，同时通过蒸发和结晶依次氧化成碱金属硫酸盐和碱金属硝酸盐化合物。通过从碱性液体选择性热脱二氧化碳接着作为纯化的气流回收来依次实现二氧化碳捕捉和回收。



CN 101687141 B

1. 一种从燃烧气体混合物流中捕捉并去除二氧化碳气体、重金属、微粒、硫的氧化物、氮的氧化物或它们的混合物的方法，其包括：

a) 用第一可压缩流体所形成的第一自由射流来驱动所述燃烧气体混合物流通过第一气体动力学反应器，所述第一自由射流具有包括于其中的第一雾化液滴或蒸气；

b) 将所述金属或所述微粒包封入第一液滴内并通过扩散、冷凝、冲击、截留或它们的组合使所述第一液滴生长成为第一更大液滴；

c) 在第一气 / 液分离器中将所述第一更大液滴与所述燃烧气体混合物流分离开以形成第一流出气体混合物和第一流出液流；

d) 用第二可压缩流体所形成的第二自由射流来驱动所述第一流出气体混合物通过第二气体动力学反应器，所述第二自由射流具有包括于其中的碱金属碱性溶液的第二雾化液滴或蒸气；

e) 使所述碱金属碱性溶液的第二雾化液滴或蒸气、所述硫的氧化物或所述氮的氧化物与所述二氧化碳的至少一部分反应以形成呈第二液滴形态的第一反应产物；

f) 通过扩散、冷凝、冲击、截留或它们的组合使所述第二液滴生长成为第二更大液滴；

g) 在第二气 / 液分离器中将所述第二更大液滴与所述第一流出气体混合物分离开以形成第二流出气体混合物和第二流出液流；

h) 通过脱二氧化碳、氧化、蒸发、结晶或它们的组合处理所述第二流出液流，从而释放一部分二氧化碳气体和水蒸气且以固体形式分离出碱金属硫酸盐和硝酸盐；

i) 排放所述第二流出气体混合物。

2. 一种从燃烧气体混合物流中捕捉并去除二氧化碳气体、重金属、微粒、硫的氧化物、氮的氧化物或它们的混合物的方法，其包括：

a) 用第一可压缩流体所形成的第一自由射流来驱动所述燃烧气体混合物流通过第一气体动力学反应器，所述第一自由射流具有包括于其中的第一雾化液滴或蒸气；

b) 将所述金属或所述微粒包封入第一液滴内并通过扩散、冷凝、冲击、截留或它们的组合使所述第一液滴生长成为第一更大液滴；

c) 在第一气 / 液分离器中将所述第一更大液滴与所述燃烧气体混合物流分离开以形成第一流出气体混合物和第一流出液流；

d) 用第二可压缩流体所形成的第二自由射流来驱动所述第一流出气体混合物通过第二气体动力学反应器，所述第二自由射流具有包括于其中的碱金属碱性溶液的第二雾化液滴或蒸气；

e) 使所述碱金属碱性溶液的第二雾化液滴或蒸气、所述硫的氧化物与所述二氧化碳的至少一部分反应以形成呈第二液滴形态的第一反应产物；

f) 通过扩散、冷凝、冲击、截留或它们的组合使所述第二液滴生长成为第二更大液滴；

g) 在第二气 / 液分离器中将所述第二更大液滴与所述第一流出气体混合物分离开以形成第二流出气体混合物和第二流出液流；

h) 通过脱二氧化碳、氧化、蒸发、结晶或它们的组合处理所述第二流出液流，从而释放第一部分的二氧化碳气体和水蒸气且以固体形式分离出碱金属硫酸盐；

i) 用第三可压缩流体所形成的第三自由射流驱动所述第二流出气体混合物通过第三气体动力学反应器，所述第三自由射流具有包括于其中的碱金属碱性溶液的第三雾化液滴

或蒸气；

j) 使所述碱金属碱性溶液的第三雾化液滴或蒸气、所述氮的氧化物与所述二氧化碳的至少一部分反应以形成呈第三液滴形态的第二反应产物；

k) 通过扩散、冷凝、冲击、截留或它们的组合使所述第三液滴生长成为第三更大液滴；

l) 在第三气 / 液分离器中将所述第三更大液滴与所述第二流出气体混合物分离开以形成第三流出气体混合物和第三流出液流；

m) 通过氧化、脱二氧化碳、冷却、蒸发、结晶或它们的组合处理所述第三液体流出物流，从而释放第二部分的二氧化碳气体和水蒸气且以固体形式分离出碱金属硝酸盐；

n) 排放所述第三流出气体混合物。

3. 一种从热的燃烧气体混合物流中捕捉并去除二氧化碳气体、痕量金属、大微粒和小微粒、氮及硫的氧化物、一氧化碳、有机化合物或它们的混合物的方法，其包括：

a) 加压所述热的燃烧气体混合物流以得到增压的热的燃烧气体混合物流；

b) 调节所述增压的热的燃烧气体混合物流以去除大微粒并将其温度降至 250 至 400° F 的范围以得到经调节的燃烧气体混合物流；

c) 在第一气体动力学反应器中处理所述经调节的燃烧气体混合物流，其中通过由至少一个供以可压缩流体以便形成超音速自由射流的超音速喷嘴所排出的自由射流来部分地驱动所述经调节的燃烧气体混合物流通过亚音速喷嘴，所述超音速自由射流与所述亚音速喷嘴联合充当喷射泵，所述超音速自由射流具有包括于其中的从与所述超音速自由射流相关联的喷嘴所发出的雾化液滴或蒸气，并且接触所述经调节的燃烧气体混合物流以通过穿过所述亚音速喷嘴形成湍流的亚音速自由射流进入下游的反应室，从而所述重金属和痕量金属及微粒提供用于将所述重金属和痕量金属和所述微粒在冲击、截留、冷凝、扩散或它们的组合的条件下包封液滴的成核点，接着通过冲击、截留、成核、冷凝或它们的组合使液滴生长成为第一更大液滴；

d) 在第一气 / 液分离器中以含有所述重金属和痕量金属及所述微粒的第一液体流出物流的形式从所述经调节的燃烧气体混合物流中去除所述第一更大液滴；

e) 移出所述第一液体流出物流以供后继处理或物理及化学回收；

f) 从所述第一气 / 液分离器中排放包含碳的氧化物、氮的氧化物和硫的氧化物的第一流出气流；

g) 在用于去除二氧化硫及一部分二氧化碳的第二气体动力学反应器中处理来自所述第一气 / 液分离器的第一流出气流，所述气体动力学反应器包含亚音速喷嘴，通过由至少一个供以可压缩流体以便形成超音速自由射流的超音速喷嘴所排出的超音速自由射流来部分地驱动所述第一流出气流通过所述亚音速喷嘴，所述超音速自由射流与所述亚音速喷嘴联合充当喷射泵，所述超音速自由射流具有包括于其中的从与所述超音速自由射流相关联的喷嘴所发出的碱金属碱性溶液的雾化液滴或蒸气，并且接触所述第一流出气流以通过穿过所述亚音速喷嘴形成湍流的亚音速自由射流进入下游的反应室，从而使所述二氧化硫、所述二氧化碳及所述碱金属碱性溶液紧密接触并反应以产生呈第二液滴形态的反应产物，所述第二液滴通过扩散、冲击、截留、冷凝或它们的组合生长成为第二更大液滴；

h) 在第二气 / 液分离器中以含有所述液体反应产物的第二液体流出物流的形式从所述第一流出气流去除所述第二更大液滴；

i) 通过过滤来处理所述第二液体流出物流，通过水或金属氯化物溶液来洗涤，所述洗涤溶液用管道输送以供后继处理或物理及化学回收；

j) 将所述处理过的第二液体流出物流通至第一混合槽；

k) 通过包括脱二氧化碳、氧化、蒸发、结晶或它们的组合的步骤处理来自所述第一混合槽的所述第二处理过的流出物流的第一部分，从而释放一部分二氧化碳气体和水蒸气并以固体形式分离出碱金属硫酸盐，同时将来自所述后继脱二氧化碳、氧化、蒸发、结晶或它们的组合处理的流出液流再循环至所述第一混合槽；

l) 添加水及碱金属碱性溶液至所述第一混合槽；

m) 使来自所述第一混合槽的所述第二处理过的液体流出物流的第二部分循环至所述第二气体动力学反应器；

n) 使来自所述二氧化碳和水蒸气的水蒸气冷凝而产生二氧化碳气体；

o) 将所述第一流出气流的其余部分以包含氮的氧化物及二氧化碳的第二流出气流的形式从所述第二气 / 液分离器中排放；

p) 在用于去除所述氮氧化物及额外部分的所述二氧化碳的第三气体动力学反应器中处理来自所述第二气 / 液分离器的所述第二流出气流，所述第三气体动力学反应器包含亚音速喷嘴，通过由供以可压缩流体以便形成超音速自由射流的超音速喷嘴来部分地驱动所述第二流出气流通过所述亚音速喷嘴，所述超音速自由射流与所述亚音速喷嘴联合充当喷射泵，所述超音速自由射流具有包括于其中的从与所述超音速自由射流相关联的喷嘴所发出的碱金属碱性溶液的雾化液滴或蒸气，并且接触所述第二流出气流以通过穿过所述亚音速喷嘴形成湍流的亚音速自由射流进入下游的反应室，从而使所述氮氧化物、所述二氧化碳及所述碱金属碱性溶液紧密接触且反应产生呈第三液滴形态的反应产物，所述第三液滴通过扩散、冲击、截留、冷凝或它们的组合生长成为第三更大液滴；

q) 在第三气 / 液分离器中以含有所述液体反应产物的第三液体流出物流的形式从所述第二流出气流去除所述第三更大液滴；

r) 通过过滤来处理所述第三液体流出物流，通过水或金属氯化物溶液来洗涤，并去除所述流出洗涤液以供后继处理或物理及化学回收；

s) 将来自所述第三流出物流的所述过滤后的液体反应产物通至第二混合槽；

t) 将来自所述第三流出物流的所述过滤后的液体流出物的第一部分循环至所述第三气体动力学反应器；

u) 通过氧化、脱二氧化碳、冷却、蒸发、结晶或它们的组合处理来自所述第二混合槽的所述第三流出物流的所述过滤后的液体反应产物的第二部分，从而释放二氧化碳气体和水蒸气并以固体形式分离出碱金属硝酸盐，同时将其余产物液流再循环至所述第二混合槽；

v) 添加水及碱金属碱性溶液至所述第二混合槽；

w) 使来自所述二氧化碳气体和水蒸气中的水蒸气冷凝而产生二氧化碳气体；及

x) 以第三流出气流的形式排放所述第二流出气流的其余部分。

4. 根据权利要求 2 的方法，其中步骤 (a) 中的液滴或蒸气包含碱金属氯化物溶液。

5. 根据权利要求 2 的方法，其中步骤 (d) 中的碱金属碱性溶液包含氢氧化钾及碳酸钾 - 碳酸氢钾 (potassium carbonate-bicarbonate) 的溶液，和步骤 (h) 中的碱金属硫酸盐包含硫酸钾。

6. 根据权利要求 2 的方法，其中步骤 (i) 中的碱金属碱性溶液包含氢氧化钾和碳酸钾 - 碳酸氢钾的溶液，和步骤 (m) 中的碱金属硝酸盐包含硝酸钾。

7. 根据权利要求 2 的方法，其中步骤 (a)、(d) 及 (i) 中的可压缩流体包含气体。

8. 根据权利要求 2 的方法，其进一步包括在所述第一气体动力学反应器之前用过氧化氢、氯气、二氧化氯气体、水或它们的组合的光解作用所产生的自由基流处理所述燃烧气体混合物流，并经由步骤 (a) 中的所述第一雾化液滴或蒸气导入自由基的第二流以将汞氧化成汞盐并将其它痕量金属氧化成它们各自的盐。

9. 根据权利要求 8 的方法，其中经由步骤 (d) 中的所述第二雾化液滴或蒸气导入自由基的第三流以将一氧化碳气体和有机蒸气氧化成二氧化碳气体和水蒸气。

10. 根据权利要求 9 的方法，其中经由步骤 (i) 中的所述第三雾化液滴或蒸气导入自由基的第四流以将一氧化氮气体氧化成二氧化氮气体，将一氧化碳气体氧化成二氧化碳气体，并将痕量有机蒸气氧化成二氧化碳气体和水蒸气。

11. 根据权利要求 2 的方法，其中进一步对所述第一流出液流进行下列步骤以分离出含汞的污染物，所述步骤包括 ：

a) 从所述流出液流去除不溶性粒子而得到含有可溶性含汞的污染物的滤液 ；

b) 使所述滤液通过活性炭吸附床以得到经炭处理的滤液 ；

c) 使用能与汞形成不溶性盐的碱性溶液使汞盐从所述经炭处理的滤液中沉淀出来。

12. 根据权利要求 11 的方法，其进一步包括利用酸性溶液来提取所述不溶性粒子以得到可溶性汞盐。

13. 根据权利要求 12 的方法，其进一步包括利用能与汞形成不溶性盐的碱性溶液来处理所述可溶性汞盐。

14. 根据权利要求 11 的方法，其进一步包括利用碱性溶液来提取所述不溶性粒子以得到第一组金属的氧化物或氢氧化物。

15. 根据权利要求 11 的方法，其进一步包括利用氧化性溶液来提取所述不溶性粒子以得到第二组金属的氧化产物。

16. 根据权利要求 11 的方法，其进一步包括利用硝酸来提取所述不溶性粒子以得到可溶性铀化合物，接着利用碱性溶液来处理所述可溶性铀化合物以得到固态铀化合物。

17. 根据权利要求 11 的方法，其进一步包括利用碳酸盐来提取所述不溶性粒子以得到金属碳酸盐。

18. 根据权利要求 11 的方法，其进一步包括利用有机溶剂来提取所述不溶性粒子以得到金属有机络合物。

19. 根据权利要求 2 的方法，其进一步包括下列步骤 ：使来自步骤 (h) 的所述处理过的第二流出液流通过第一离子交换除矿物质树脂床以去除硒离子。

20. 根据权利要求 2 的方法，用于生产生物柴油燃料，其中步骤 (d) 和 (i) 中的碱金属碱性溶液包含氢氧化钠和碳酸钠 - 碳酸氢钠的溶液，步骤 (h) 中的碱金属硫酸盐包含硫酸钠，和步骤 (m) 中的碱金属硝酸盐包含硝酸钠，并所述方法进一步包括下列步骤 ：

a) 将所述第二和第三流出物流的一部分合并到混合槽中 ；

b) 将盐水溶液加入到所述混合槽中 ；

c) 将所述溶液从所述混合槽进料到藻塘中 ；

d) 将种子生物加入到所述藻塘中；

e) 利用日光或人造光处理所述藻塘以促使藻类固体生长；

f) 从所述藻塘获取所述藻类固体；

g) 使所述藻类固体发酵以生产生物柴油燃料。

21. 根据权利要求 2 的方法，用于生产乙醇燃料，其中步骤 (d) 和 (i) 中的碱金属碱性溶液包含氢氧化钠和碳酸钠－碳酸氢钠的溶液，步骤 (h) 中的碱金属硫酸盐包含硫酸钠，和步骤 (m) 中的碱金属硝酸盐包含硝酸钠，并所述方法进一步包括下列步骤：

a) 将所述第二和第三流出物流的一部分合并到混合槽中；

b) 将盐水溶液加入到所述混合槽中；

c) 将所述溶液从所述混合槽进料到藻塘中；

d) 将种子生物加入到所述藻塘中；

e) 利用日光或人造光处理所述藻塘以促使藻类固体生长；

f) 从所述藻塘获取所述藻类固体；

g) 使所述藻类固体发酵以生产乙醇燃料。

22. 根据权利要求 2 的方法，用于从二氧化碳气体生产甲醇，所述方法进一步包括下列步骤：

a) 使步骤 (h) 和 (m) 中所释放的二氧化碳气体与氢气和水蒸气在变换反应器中反应以生产一氧化碳气体和水蒸气；

b) 使所述一氧化碳气体与额外的氢气在甲醇合成反应器中反应以生产甲醇。

23. 根据权利要求 22 的方法，用于从二氧化碳生产乙烯气体，所述方法进一步包括使所述甲醇与热量及氢气在乙烯裂解单元中反应以形成乙烯气体的步骤。

24. 根据权利要求 23 的方法，用于从二氧化碳生产乙醇，所述方法进一步包括使所述乙烯气体与水及氢气在乙醇合成反应器中反应以生产乙醇的步骤。

25. 根据权利要求 23 的方法，用于从二氧化碳气体生产 1,2- 二氯乙烷，所述方法进一步包括使所述乙烯气体与氯气在反应器中反应以生产 1,2- 二氯乙烷的步骤。

26. 根据权利要求 22 的方法，用于生产汽油，所述方法进一步包括使所述甲醇在汽油合成反应器中反应以生产汽油的步骤。

27. 根据权利要求 25 的方法，用于从二氧化碳气体生产氯乙烯，所述方法进一步包括使所述 1,2- 二氯乙烷与乙烯气体反应以生产氯乙烯的步骤。

28. 根据权利要求 27 的方法，用于从二氧化碳气体生产聚氯乙烯，所述方法进一步包括使所述氯乙烯与额外的乙烯气体反应以生产聚氯乙烯的步骤。

29. 根据权利要求 2 的方法，其中步骤 (a)、(d) 及 (i) 中的可压缩流体包含水蒸气或空气。

30. 一种从被污染的气流中去除微粒状污染物及气态物质且从所述被污染的气流中回收想要的副产物的设备，所述设备包含：

a) 第一气体动力学反应器，其具有：

(i) 具有第一出口的第一入口段；

(ii) 具有第一入口端和第一出口端的第一反应室，所述第一反应室的第一入口端连接至所述第一入口段的所述第一出口；

(iii) 连接至所述第一入口段的所述第一出口的第一喷嘴，所述第一喷嘴具有第一喉部和在所述第一喉部内的至少一个第一孔口；

(iv) 位于所述第一入口段内的至少一个第二喷嘴，其产生可压缩流体的第一自由射流以驱动并产生所述被污染的气流的湍流混合物并驱动所述第一自由射流通过所述第一喷嘴以在所述第一反应室中形成第二自由射流；

(v) 与所述第一气体动力学反应器的所述至少一个第二喷嘴和所述第一喷嘴中的至少一个相连的至少一个第一液体雾化或蒸气喷嘴；

b) 第一气 / 液分离器，其连接至所述第一反应室的所述第一出口端将所述微粒状污染物与所述被污染的气流分离开，以提供第一经分离的气态物质；

c) 第二气体动力学反应器，其与所述第一经分离的气态物质相连通，所述第二气体动力学反应器具有：

(i) 具有第二出口的第二入口段；

(ii) 具有第二入口端和第二出口端的第二反应室，所述第二反应室的第二入口端连接至所述第二入口段的所述第二出口；

(iii) 连接至所述第二入口段的所述第二出口的第三喷嘴，所述第三喷嘴具有第三喉部和在所述第三喉部内的至少一个第三孔口；

(iv) 位于所述第二入口段内的至少一个第四喷嘴，其产生可压缩流体的第三自由射流以驱动并产生所述第一经分离的气态物质的湍流混合物并驱动所述第三自由射流通过所述第三喷嘴以在所述第二反应室中形成第四自由射流；

(v) 与所述第二气体动力学反应器的所述至少一第四喷嘴和所述第三喷嘴中的至少一个相连的至少一个第二液体雾化或蒸气喷嘴；及

d) 第二气 / 液分离器，其连接至所述第二反应室的所述第二出口端将所述液体副产物与所述第一经分离的气态物质分离开，以提供第二经分离的气态物质。

31. 权利要求 30 的设备，其中所述至少一个第二喷嘴包含超音速喷嘴。

32. 权利要求 30 的设备，其中所述可压缩流体的第一自由射流包含水蒸气、空气或气体。

33. 权利要求 30 的设备，其中所述第一气体动力学反应器的所述第一反应室在其入口端含有第一扩大的截面部分。

34. 权利要求 30 的设备，其中所述至少一个第四喷嘴包含超音速喷嘴。

35. 权利要求 30 的设备，其中所述可压缩流体的第三自由射流包含水蒸气、空气或气体。

36. 权利要求 30 的设备，其中所述第二气体动力学反应器的所述第二反应室在其入口端含有第二扩大的截面部分。

37. 权利要求 30 的设备，其进一步包括至少一个第三气体动力学反应器和串联连接的第三气 / 液分离器。

在来自烃燃料源的烟道气中进行碳捕捉并去除多种污染物以及回收多种副产物的方法及设备

[0001] 本申请要求 2007 年 4 月 12 日申请的标题为“在来自化石燃料燃烧源的烟道气中进行碳捕捉并去除多种污染物以及从中回收多种副产物的方法及设备”的美国临时专利申请序号 60/923,373 的优先权，在此以引用方式将其全文并入本文。

[0002] 本发明涉及纯化的二氧化碳气体的选择性捕捉并去除、二氧化硫及氮氧化物加上重金属和痕量金属（例如，但不限于汞、硒、镉、砷、锗、铀及铍，这些重金属和痕量金属来自含有这些组分的气态混合物，尤其是来自具有低浓度的烟道气流）的选择性去除及回收方法。这些气态混合物包括发电厂以及工业、农业及市政炉灶的煤炭、油、天然气及其它烃燃料燃烧以及类似排气源所产生的燃烧烟道气或废气。

[0003] 通过传统手段特别难以从这些烟道气混合物去除例如一氧化氮的较低价氮氧化物及包括汞蒸气的痕量金属而不需在它们所发生的低浓度下事先的预氧化步骤。通过传统手段，尽管二氧化硫及二氧化碳有时候单独以更大浓度发生但是由于与液体溶解度有关或在其它材料存在之下，亦难以从这些烟道气流去除二氧化硫及二氧化碳。

[0004] 所有上述组分皆被视为在大气及相关的人类环境中具有各种负面效应的空气污染物。采用许多国家已充分建立且规定的排放标准及环境空气品质标准，二氧化硫和氮氧化物是以中等浓度存在于烟道气流中的空气污染物。汞蒸气及类似的痕量金属组分皆为空气污染物，它们以非常低的浓度存在于烟道气流中，这对于人类健康而言是潜在的问题，其排放标准才正要开始发展。二氧化碳为以较高浓度存在于这些烟道气流中的气态组分，其逐渐被联系为现在倍受关注的全球变暖及气候变化的推因。

[0005] 本发明能以某种方式遵守这些空气污染控制的管制命令，这使得它们能以商业上可行的副产物的形式以一定的数量和质量被回收以致控制且再利用这些组分在最好的情形中可能变得有益，而在最坏的情形中比传统排放控制手段更便宜。

[0006] 本发明包括气体动力学反应器系统，重金属和微粒状气溶胶在其中除去，而且在汞蒸气、氮氧化物及有机化合物氧化之后接着在其中将二氧化硫、二氧化碳及氮氧化物与流出气流分离开。

[0007] 先前已经揭示不同形式的湿式洗涤器。举例来说 :Raymond 的美国专利号 467,264 显示利用水蒸气湿润烟然后离心地分离固体粒子而纯化烟的早期方法。Jackson 的美国专利号 723,531 揭示利用一对洒水器使烟、烟雾或气体冷凝而且通过重力或通过过滤分离粒子的设备。英国专利号 925,711 揭示一种液体灰尘过滤器，其中使含灰尘的气体加速经过窄化的通道或喷嘴，然而导向液流。Gorman 的美国专利号 3,894,851 利用水蒸气所冷凝的水滴与被污染的气体混合。之后，在旋风分离器中分离湿润的微粒。Barnhart 的美国专利号 3,812,656 揭示一种风扇驱动的文丘里管，含灰尘的空气通过该文丘里管排出。将水喷洒到该文丘里管的喉部以湿润该含灰尘的空气，而且通过重力来分离灰尘和水同时通过该风扇排出空气。Baum 的美国专利号 3,898,308 中揭示另一种形式的文丘里管洗涤器，为了气 / 液接触其在该文丘里管的喉部提供一系列的可调整的水射流。

[0008] 最近，发表了一系列专利，其中通过将微粒包封或夹带于小液滴中来捕捉精细

微粒，之后使该液滴尺寸长大直到它们易于根据离心或流动分离的分离原理与气体分离。这些专利包括Ewan等人的美国专利号3,852,408；Martin、Ewan等人的美国专利号3,852,409；Ewan等人的美国专利号3,912,469；Ewan等人的美国专利号4,141,701；Cason、Ewan等人的美国专利号4,272,499以及Frier、Bass及Ewan的美国专利号6,447,574 B1。在后面的专利中，流过该系统的烟道气完全为亚音速的而且该系统不能单独去除微粒状污染物及酸性气体污染物，或单独回收它们且以有价值的副产物的形式再生它们。再者，上述专利无一含有与二氧化碳的捕捉相关的任何技术或机理。上述专利有些也揭示通过例如碳酸钠、氢氧化钠、氧化钙、氢氧化钙、氧化镁、氢氧化铵和高锰酸钾的碱性化学试剂来去除酸性气体例如二氧化硫及氮氧化物。就全部上述专利而言，这些去除方法的最终产物要么是较低价值的物质例如石膏或铵基肥料要么是可抛弃的物质例如污泥或固态废弃残余物。

[0009] 本发明的另一个方面是以例如硫酸钾或硝酸钾的形式从流出气体中分离且回收硫、氮及碳化合物，该硫酸钾或硝酸钾作为肥料是有价值的。被捕捉且回收的二氧化碳可作为最终产品出售，该最终产品用于强化三次采油或用于增进蔬菜作物生长，或生产用于生物柴油燃料的藻类，或被隔离起来。二氧化碳也可作为生产商业终端产品例如甲醇、乙醇（它们可被视为生产生物柴油及运输燃料的原料）及乙烯（而乙烯，或更明确地说1,2-二氯乙烷，为聚氯乙烯塑料生产的中间物）的原料。

[0010] Cooper的美国专利号4,425,313及4,426,364中揭示从发电厂的例如燃烧气体的气态混合物中去除且回收氮氧化物及硫氧化物的方法。在这些专利中氮氧化物及硫氧化物单独或一起被去除而且被转化成可能用作肥料的硫酸盐和硝酸盐。然而，这些早期专利并未揭示如何分离气体以便防止该烟道气中的重金属及极精细的微粒状物质(PM)污染所回收的硫酸盐和硝酸盐以使它们可以较纯的肥料形态出售(1)或以气体力学或化学的方式避开捕捉而被释放至大气中(2)。如上文提到的，重金属例如汞及其它痕量金属及极精细的微粒状物质一般都避开捕捉而且现在被认为是显著影响环境及人类健康的空气污染物。

[0011] 美国专利号6,132,692及7,052,662所述的Powerspan电催化氧化法为铵基而非钾基的方法（同时使用干式及湿式去除法），其生产价值较低的铵基肥料例如硝酸铵及硫酸铵的有潜在危险性及爆炸性的混合物作为其终端产品。而且，该Powerspan方法使用元素汞及一氧化氮的催化氧化，其效率比本发明所用的高温气相热氧化更差，而且Powerspan法将可能造成催化剂阻塞或积垢。

[0012] 美国专利号6,315,976、6,375,824及6,334,990所述的Airborne碳酸氢钠法为钠基的传统化学方法，对比之下，本发明一般其优选实施方案中为钾基的气动物理及化学方法的结合。结果，该Airborne法无法回收二氧化碳而且必需额外使用氢氧化铵作为补给的化学品，其造成类似于前述Powerspan法形成硫酸铵及潜在危害性硝酸铵的情况。

[0013] Gansley的美国专利号6,638,342最近揭示另一种用于去除二氧化硫、二氧化氮及痕量或毒性金属的铵基传统化学法。当该痕量金属与二氧化硫及二氧化氮同时被去除时，铵基肥料（由Gansley法所生产）必然被沉淀的金属盐污染，而无法为前述毒性问题提高提供任何补救。该Gansley法仅试图部分去除该毒性金属；然而，此效果似乎非常耗费能量而且没有效率，而且无法从该烟道气生产商业上可出售的且无毒的副产物。

[0014] 美国专利申请号20060185985所述的Skyonic碳酸钠法采用氯化钠电解成氢氧化

钠来以碳酸钠及碳酸氢钠的形式捕捉二氧化碳。接着通过由氢气和氯气所生产的氢氯酸从该碳酸盐溶液中释出二氧化碳气体（其打算为经纯化的气体）。然而，该方法并未涉及硫氧化物、氮氧化物及痕量金属的去除，而且仅生产呈副产物化学品形式的低价值碳酸钠及碳酸氢钠。既然 Skyonic 并不能使汞或其它痕量金属在鼓泡过程的上游氧化，则金属固体将累积在液体溶液中。此外，未反应及未处理的元素汞蒸气或者能以气体力学的方式逸散至该烟道气流本体中，或者也能累积在吸收液中然后与二氧化碳气体一起释放出来而污染二氧化碳。该 Skyonic 法宣称仅能去除所排放的二氧化碳的 70％但消耗掉发电厂总能量输出量的 30％。因此，存在毒性、不可实行性及无成本效益的顾虑。

[0015] Cooper 的美国专利号 6,969,486 及 6,676,912 涉及使用紫外光将过氧化氢光解氧化成羟基自由基以分别将一氧化氮、一氧化碳及有机蒸气氧化成二氧化氮、二氧化碳及水。这些早期专利并未陈述元素汞蒸气能在上游单独地且选择性地被氧化成汞盐而因此变得在下游洗涤步骤中与氮氧化物分离开，从而避免硝酸钾的污染（其它痕量金属类似）。本发明在此提出、揭示并产生了一种解决该问题的解决方案。再者，在所有前述早期的专利中，与本发明对照之下，没有回收且生产甲醇或乙醇或乙烯。

[0016] 发明概述

[0017] 选择性氧化元素汞并加入二氧化氯、氯气以及氯基 (chloro)、氯氧基 (chloroxyl) 和由过氧化氢所产生的羟基自由基，以通过气体动力学反应器系统通过碱金属氯化物反应在下游去除汞微粒及金属气溶胶。通过碱金属硫酸盐再循环来回收汞和其它金属化合物固体以再生用于电解槽的碱金属氢氧化物和 / 或氯化物物质。从碱金属氯化物电解作用生产氯气及氢气以通过该气体动力学反应器及气体聚结器 (aero-coalescers) 依次产生用于吸收二氧化硫、二氧化氮及二氧化碳的碱金属氢氧化物碱性液体。氯气与乙醇发酵所产生的乙烯利用氢气催化起反应以生产 1,2- 二氯乙烷中间体，而与额外的乙烯反应生产氯乙烯单体及聚氯乙烯塑料。氢气与氯气反应以生产氢氯酸，该氢氯酸用于提取并回收汞及其它金属例如铝，以再生碱金属氯化物和 / 或氢氧化物电解原料，并用于产物再循环及回收。氢气及二氧化碳发生反应而由从该烟道气流捕捉而收集到的二氧化碳变成合成气，该合成气用于生产乙醇、甲醇、乙烯和它们的衍生物。

[0018] 本发明有可能有效地捕捉且去除 (1) 来自燃煤发电厂及其它烃燃料工业源所产生的烟道气流的高浓度二氧化碳 ;(2) 来自这些烟道气流的中等浓度二氧化硫及氮氧化物 ;及 (3) 来自这些气流的小浓度的汞蒸气及其它金属和其它精细微粒气溶胶。接着可在通过多个连续的预氧化、去除、回收及再生阶段通过多个循环过程的系列对呈气态及微粒状形态的各类物质进行处理和吸收之后，从该烟道气流中回收如此除去的这些空气污染物。该空气污染物可从不可收集的形式转化成可收集的形式，然后从发电厂或工业燃烧器烟道气流中去除。预期这些污染物后继转化及回收成可用的副产物，并通过一系列循环过程再生呈再循环吸收溶液形式的收集液介质，显示消耗性资源的高转化率及硫氧化物及氮氧化物回收以生产硫酸钾和硝酸钾肥料的高度经济的方法，及回收二氧化碳以致该二氧化碳可转化成各式各样可用的化学品及清洁的燃料副产物。

[0019] 本发明涉及经纯化的二氧化碳气体的选择性捕捉和去除，用于去除及回收燃煤发电厂及其它烃燃料工业来源所排放的附加汞及其它金属气溶胶的气流混合物中的二氧化硫及氮氧化物及其它气体的选择性方法。这些空气污染物为就保护公共卫生及环境而言越

来越关心的问题，其需要用于排放控制的综合再循环的生产及再生系统，该系统运用碱氯化物作为再循环原料物质以供去除及回收，以有效且经济为基础，以生产可用的化学及肥料副产物。这些烟道气流最初通过多阶段气体动力学反应器来处理，该反应器运用使一氧化氮变成二氧化氮、使汞蒸气变成离子汞化合物附带使一氧化碳及有机化合物变成二氧化碳和水蒸气的预氧化作用。该气态方法涉及在具有碱金属氯化物试剂溶液的气体动力学反应器系统中依次选用可压缩流体，例如水蒸气/空气（或气体），连同水、氯气、二氧化氯、过氧化氢及选用经光解的氯气、二氧化氯及过氧化氢来处理，接着在第一阶段气体聚结器气/液分离单元中去除汞盐及金属气溶胶及微粒。

[0020] 所得的化学去除及回收系统接着顺序通过过滤、沉淀及脱二氧化碳然后通过酸性及碱性提取而从该第一阶段气体聚结器流出液体系中去除汞化合物及其它金属气溶胶盐。所得的回收固体接着利用氢氯酸及碱金属氢氧化物来处理以便从固态残余物流中回收金属。使再生的碱金属卤化物溶液以来自该固体分离步骤的再循环液流的形式返回至该气体动力学反应器以建立再循环再生程序而使额外的化学补给需求最少化。

[0021] 使经金属及微粒去除之后持续向前移动的烟道气流穿过使用碱金属氢氧化物、碳酸盐及碳酸氢盐的再循环试剂溶液的第二气体动力学反应器系统（其优选包括具有气/液分离功能的气体聚结器，但是其它气/液分离器也可使用）以去除二氧化硫及二氧化碳。然后该气流的剩余部分继续行至使用碱金属氢氧化物、碳酸盐和碳酸氢盐的类似再循环试剂溶液的第三阶段气体动力学反应器系统（其优选地也包括具有气/液分离功能的气体聚结器）以去除二氧化氮及其余的二氧化碳。

[0022] 第二阶段气体动力学反应器和第三阶段气体动力学反应器皆使用其本身各自的气体聚结器以分离气体与液体流出物流。来自第二阶段二氧化硫去除系统和第三阶段二氧化氮去除系统的液体流出物流接着依次通过氧化、脱二氧化碳及蒸发加上结晶来处理以促使各自的碱金属硫酸盐和硝酸盐作为回收固体而去除。在二氧化硫及二氧化氮去除步骤中通过碱金属碳酸氢盐分解成碳酸盐而从该脱二氧化碳单元排出的气体以单独经纯化气流的形式捕捉且回收二氧化碳。在二氧化硫及二氧化氮去除步骤中从蒸发及结晶步骤所产生的回收的碱金属碳酸盐溶液接着以水稀释而且在添加来自化学产生－再生系统补给的碱金属氢氧化物之后再循环且返回到其各自的反应器中。结果，然后可使用再循环及再生液试剂溶液来额外去除进来的烟道气流中的污染物。

[0023] 独立的再循环化学产生－再生系统运用并联的碱金属氯化物及乙烯处理单元，该单元都使用现有的技术。从乙醇的催化热转化通过与来自该单独电解单元的氢气的反应生产而生成乙烯，而乙醇通过上游的玉米或其它农作物来源或生物来源的发酵反应，或通过氢气和二氧化碳的合成生产而产生。使该碱金属氯化物盐溶液通过电解槽，碱金属氢氧化物在该电解槽中以液体溶液的形式产生以补给用于二氧化硫及二氧化氮吸收步骤的化学品。相反的电极处也有氢气及氯气流产生，其中氢气行至单独的催化反应器以将甲醇或乙醇转化成乙烯及它们的相关衍生物，或单独用于生产化学副产物过氧化氢，该过氧化氢后继用于锅炉烟道气的预氧化步骤。此外，甲醇及乙醇及所有它们相关的衍生物，包括例如生物柴油，皆可由该电解步骤所产生的氢气及从该烟道气流中作为可用且有价值的副产物而去除的二氧化碳来合成。如上所述的所有副产物的生产皆为本发明的结果。

[0024] 本发明首次针对从燃烧气体混合物去除所有污染物、污染物质及温室气体以使最

终流出气体基本上为纯空气的问题提供出乎意外的完整解决方法。近乎 40 年以前，主要由 1970 年代初期发表的不同 Ewan 专利所证实的气动方法证明了以浆料的形式从燃烧气体中去除甚至是亚微米的微粒、金属及酸性气体的能力。然而，该浆料至多包含例如受微粒及金属所污染的石膏的产物，而且可捕捉小量的，若有的话，二氧化碳。另一方面，开始于几乎 40 年前的已经开始研发出来而且依赖标准化学反应器在 1970 年代发表的 Cooper 专利示范的 Cooper 方法尽管能分离硫及氮产物，但是这些产物必定会受到微粒及金属的污染。尽管在至少 30 年内本领域技术人员可取得 Ewan 及 Cooper 方法，但是无一，直到本发明人，想出一种特定方式将这些各自有缺陷的方法合并而形成一种方法，该方法第一次能单独去除所有污染物及污染物质以便提供未被污染且有价值的副产物，同时，消除温室气体的问题。在清洁煤炭技术、煤气化和烟道气处理上已经花费非常大量的努力及金钱，但是此努力无一得到能去除超过 90％二氧化碳以及二氧化硫及氮的氧化物的经济方法。事实上，已发现数个被提出的方法并不经济而且研究计划已被取消。鉴于某些发明人本身研究的这些失败及缺点，本发明的成功既是非显而易见的又是出乎意料之外的。

[0025] 附图简述

[0026] 图 1a 及 1b 显示该系统的流程图，通过该系统从烃燃料燃烧过程的流出气体中去除并回收微粒、重金属、二氧化硫、氮氧化物和二氧化碳，和它们各自用于副产物回收的再循环化学试剂产生 - 再生系统；

[0027] 图 2 以部分截面显示了超音速及次音速喷嘴的排列及相关的混合 / 反应室；

[0028] 图 3 以部分截面显示了运用多个超音速喷嘴的替代性喷嘴排列；

[0029] 图 4 显示了沿着图 3 的 A-A 线取得的超音速喷嘴配件的截面；

[0030] 图 5 显示了用于水蒸气或空气喷射的超音速喷嘴的详细截面图；

[0031] 图 6 显示了用于从该烟道气流中分离液体的气体聚结器的详细截面图；

[0032] 图 7 显示了用于从液体及气体生产自由基的紫外光光解单元；

[0033] 图 8 显示了用于从该烟道气中去除及回收汞的液体处理系统；

[0034] 图 9 显示了用于从该烟道气中去除及回收硒的液体处理系统；

[0035] 图 10 显示了对图 1a 和 1b 的系统的补充流程图，由此可由藻类合成及发酵来生产生物柴油燃料油；

[0036] 图 11 显示了对图 1a 和 1b 的系统的补充流程图，由此可由氢气、氯气及二氧化碳来合成甲醇、乙醇、乙烯、1,2- 二氯乙烷和生物燃料；及

[0037] 图 12a 和 12b 显示了特别适用于将二氧化碳的回收和生产最大化的图 1a 和 1b 图的系统的变型的流程图。

[0038] 图中的附图标记也列在附录 1 中。

[0039] 优选实施方案的详细描述

[0040] 本发明能有效地捕捉且去除：(1) 来自燃煤发电厂及其它烃燃料工业源所产生的烟道气流的高浓度二氧化碳；(2) 来自这些烟道气流的中等浓度的二氧化硫及氮氧化物；及 (3) 来自这些气流的小浓度的汞蒸气及其它金属和精细微粒气溶胶。接着可在通过多个连续的预氧化、去除、回收及再生阶段通过多个循环过程的系列对呈气态及微粒状形态的各类物质进行处理和吸收之后，从该烟道气流中回收如此除去的这些空气污染物。该空气污染物可从不可收集的形式转化成可收集的形式，然后从发电厂或工业燃烧器烟道气流中

去除。预期这些污染物后继转化及回收成可用的副产物，并通过一系列循环过程再生呈再循环吸收溶液形式的收集液介质，显示消耗性资源的高转化率及硫氧化物及氮氧化物回收以生产硫酸钾和硝酸钾肥料的高度经济的方法，及回收二氧化碳以致该二氧化碳可转化成各式各样可用的化学品及清洁的燃料副产物。

[0041] 进行该预氧化预处理过程以转化该一氧化氮、元素汞蒸气及其它具有表现得像汞蒸气的特征的痕量金属蒸气，加上一氧化碳及有机蒸气，加上精细微粒气溶胶，以便将它们从不可收集的状态变成可收集的状态。将一氧化氮转化成二氧化氮及将元素汞变成离子汞盐化合物而且变成更易于从该烟道气流中捕捉且去除的更大尺寸的粒子。用于将一氧化氮预处理成二氧化氮的预氧化过程通过一系列气相氧化反应进行，该反应运用经光解的过氧化氢加上在碱金属氯化物液体试剂溶液中的氯气及二氧化氯气体。此外，该预氧化步骤造成一氧化碳部分氧化成二氧化碳以及将有机蒸气氧化成二氧化碳和水蒸气，以使它们能更容易地从该气流中去除。

[0042] 现在参照图 1a 和图 7，用于将不可溶的元素汞蒸气转化成可溶性的氧化后的汞盐化合物的预氧化预处理过程通过所述的气相多步骤处理来进行。氯气和二氧化氯流 56 及过氧化氢 18 进料至光解单元 14 中而且施以紫外光 20 以便生产氯基、氯氧基、羟基及过氧氢自由基流 22，306。在图 7 中，管线 306 中的一部分自由基流通过用于自由基的加热器 308 来导引以使该物流的液体成分蒸发。优选地，穿过进料管道 11 的空气 19 通过空气加热器 309 来加热并导入混合室 311，在那里它与自由基、水、水蒸气及过氧化氢的蒸发了的物流混合。合并的物流通过管道 24 离开该混合室 311 并注入锅炉排出管道 26 中，在那里该烟道气的温度仍然是高的。优选地，如图 1a 所示，该点可介于空气预热器 13 与节热器 15 之间。在一些工厂中，该节热器可位于该空气预热器的上游。在这种情况下，注入点优选在该节热器的上游以得到较高烟道气温度的优点，较高烟道气温度将促使预期的氧化反应发生以使污染物然后转化成更易于收集的形式。

[0043] 来自该锅炉的排出管道 26 与初级粒子收集装置 28 的入口相通，该初级粒子收集装置 28 可例如为现有的静电沉淀器、旋风分离器或布袋室。该初级收集装置的功能为将大型微粒状物质例如飞灰与热烟道气分离开，且如果如果希望的话，降低该热气 10 的温度至 140℃至 160℃ (285° 至 320° F) 的范围以及提供该气流的增湿。代替该初级收集装置 28，在一些工厂中可使用包含装配洒水器的喷雾塔的调节室。用于将该精细的微粒气溶胶从不可收集的形式转化成可收集的形式的预处理过程涉及使该烟道气在液体溶液存在下通过包括音速及超音速自由射流二者的第一阶段气体动力学反应器 30 以产生湍流的混合、成核、粒子生长及冷凝而促使通过气体聚结器 32 从该烟道气流去除以分开液体与气相。此步骤允许所捕捉的微粒状物质及氧化后的汞化合物被移入液体溶液中以供后续通至金属分离及回收单元 34，并在那里接着使该液体试剂溶液再生并再循环以在气相去除过程中经济地再使用以去除额外的空气污染物。

[0044] 现在参照图 1a、2 和 5，所述第一气体动力学反应器 30 包含进入管道 36，其使来自初级收集装置 28 的排出管道 38 与混合 / 反应室 40 之间相通。亚音速喷嘴 42 位于该进入管道 36 的出口与该混合 / 反应室 40 的入口之间。优选为超音速喷嘴 44 的喷嘴位于该进入管道 36 内并可通过可压缩流体例如物流 47 或空气或气体来驱动。“超音速”在本发明中意指可压缩流体在比声音在被污染气流的介质中的速度更高的速度下从该超音速喷嘴 44 排

出，该被污染气流的介质在设置该超音速喷嘴的通风管 36 中流动。集管 43，其设在该优选的超音速喷嘴 44 的出口端附近，装配有多个喷雾喷嘴 45。水和化学试剂溶液 164（若使用的话，其包括碱金属氯化物盐例如氯化钾或氯化钠的），通过 58，和自由基 22 可经过该喷嘴 45 以液体或蒸气的形式加入。如果希望的话，氯气和二氧化氯气体 56 也可经过该喷嘴 45 加入到该气流中。从该超音速喷嘴 44 排出的超音速自由射流 46 接触该亚音速喷嘴 42 的喉部 48 并起到喷射泵的作用以抽引、强加及冲压该被污染的流出气体 10 进入并经过该超音速自由射流 46 并从那里经过该亚音速喷嘴 42 并进入亚音速自由射流 50 中。在气体动力学科学中，术语“自由射流”意指不受束缚、不受约束且不受限制的喷射强气流。在本发明中，对用于初始驱动及混合功能的亚音速喷嘴的使用而言，该超音速喷嘴，其生产超音速自由射流，的使用系优选的，因为该超音速喷嘴将利用比该亚音速喷嘴更低的能量需求来提供大大改善的混合效果。另一方面，位于该反应室入口的亚音速喷嘴 42 足以使通过该可压缩流体、注入液体连同被污染的气流所形成的合并射流内发生物理和化学反应。如果希望的话，额外的水或化学试剂溶液可优选地通过装配有喷雾喷嘴 51 且位于该亚音速喷嘴 42 出口端周围的集管 49 导入到亚音速自由射流 50 中。由于尚存于该超音速自由射流 46 中的冲击波和能量以及气相和液相中的布朗运动造成的分子扩散，在该被污染的气体 10、试剂（若使用的话）及超音速自由射流 46 之间发生亲密且无可避免的撞碰以致使该气流中的所有分子将会存在有效且亲密的气 / 液接触和混合。

[0045] 该混合 / 反应室 40 包括接触该亚音速自由射流 50 以致形成第二喷射泵的截面渐减段 52。在此称为孔口 54 的一系列送气开口设置于该亚音速喷嘴 42 的喉部 48。该孔口 54 与在该混合 / 反应室 40 内但在该亚音速自由射流 50 外侧的更大内径的区域相通。由于该气体流过具有朝该孔口 54 送气或向内部吸气的效应的亚音速喷嘴 42 的喉部 48，使在该亚音速自由射流 50 外侧的混合 / 反应室 40 区域中的压力降至低于大气压力。刚好在该亚音速喷嘴 42 下游的压力也由于该喷嘴排出射流的渐增速度及气体喷出且扩展的空间膨胀而变成低于大气压力。从而发生受此影响的气流的显著且快速的冷却。既然该流出气流，已经完全与液滴或蒸气混合，且（若使用）化学试剂，通过且排出该亚音速喷嘴而形成第二湍流自由射流，其将送气并在该亚音速自由射流 50 的区域外侧产生低于大气压力的区域。因此与该亚音速自由射流相关的排出气体将在该混合 / 反应室内膨胀并经历快速温降，其增进该亚微米微粒及气溶胶上的湿气冷凝，该亚微米微粒及气溶胶充作将它们包封在水滴的成核点。由于该亚音速自由射流内的湍流条件，含有该亚微米微粒及气溶胶的液滴的尺寸将由于多重碰撞、冲击及成核以及进一步的冷凝而迅速长大，直到它们达到可轻易地与流出气流分离开的尺寸为止。该气 / 液分离装置优选为气体聚结器，其中含污染物的液滴在截面渐增室中以气体动力学的方式分离，该截面渐增室以液滴的形式从剩余的气流中去除该液体及其夹带的气溶胶。

[0046] 在气体动力学反应器 30 内低于大气压力的区域将通过去除该气溶胶周围的边界层而补充且帮助该自由射流中的混合作用，从而增进预期的化学反应（若有的话）及液滴的形成及生长，该液滴已经包封该微粒物质及化学反应产物（若有的话），由此能通过气体聚结器或其它气 / 液分离器来确保分离及收集。这是应用于分子物理及不同于传统化学的表面化学背景中的气体动力学反应器系统和方法的结果。再者，气体动力学系统的内部自动清洁和去除效率是供应至该气体动力学反应器的能量的函数，并可通过调节供应至该气

体动力学反应器的加压水蒸气或化学试剂的量而予以控制。

[0047] 尽管单个超音速/亚音速喷嘴配件及混合/反应室一般足以去除重金属及包含非常小的微粒的气溶胶，但是如果希望的话，可在它与随后的气体聚结器或其它气/液分离器之间安装第二个类似的喷嘴配件及混合/反应室。以类似的方式在替代性排列中，如图2中所示的单个超音速喷嘴，可被如图3中所示的均朝向该亚音速喷嘴42的喉部48的多个小型超音速喷嘴来代替。如果希望的话，上文所谈到的一部分或全部化学试剂可通过一个或多个超音速喷嘴以液体或蒸气形式导入。然而，这些试剂优选通过与各自的超音速喷嘴相连的集管和喷雾喷嘴导入。优选地，该超音速/亚音速喷嘴配件和混合/反应室垂直放置以使该超音速和亚音速自由射流垂直朝下以便促使该液滴与该气流组分之间的迅速混合与接触。另一方面，也可配置水平配件，但结果是它可能提高该地点的物理空间需求。

[0048] 图3和图4分别显示了图2的超音速喷嘴44的替代性排列。在图3和图4中，显示了三个超音速喷嘴44a、44b及44c。这三个喷嘴44a、44b和44c中的每一个朝向亚音速喷嘴42的喉部48。水蒸气47或空气可用于驱动超音速喷嘴44a、44b及44c以促使有效的气/液接触。自由基羟基和氢过氧基加上氯基及氯氧基以及化学试剂氯气、二氧化氯及碱金属氯化物可经过集管43a、43b及43c并经过该喷雾或雾化喷嘴45a、45b和45c导入。“雾化喷嘴”，本发明意指当其喷射液体时能使该液体分裂成非常小的液滴的喷嘴。尽管图3和图4示出了三个超音速喷嘴，可以理解的是，如果希望的话可提供额外的喷嘴。如图1所示，（若使用的话）该化学试剂氯气和二氧化氯将通过管线56进入该管道36，而碱金属氯化物和氯基、氯氧基、羟基和氢过氧基自由基22将通过管线58进入该管道36。如上文提及的，这些化学试剂优选通过对应的集管43和喷雾或雾化喷嘴45以液体或蒸气形式导入该超音速射流46中，但是它们也可导入管道36内的气流10中，然后与一股或多股超音速射流46混合。

[0049] 部分清洁后的烟道气及含污染物的液滴排出该垂直取向的气体动力学反应器30，进入弯头60中并从那里进入图6所示的水平取向气体聚结器32中。参照图6，用于将液滴与气体分离开的气体聚结器32包含截面渐增部分62及截面固定或均匀部分64。气体动力学流体分离装置66，其可为固定的或可调节的或弯曲的条、阻障物、刀片或流体流，其位于该气体聚结器32的截面渐增部分62的入口附近。该流体分离装置66造成该气流的液滴部分朝向该气体聚结器32的壁被向下导引，而该气流的气体部分在旋转旋涡效应下向上升起且通过管道68离开该气体聚结器。离开该气体聚结器32的气流的气体部分含有来自热气10的二氧化硫、氮氧化物及二氧化碳，而所分离出的较重的并因此向下流动的并通过管线70从该气体聚结器排出的液体含有微粒状物质和重金属、痕量金属和其它从热气流10中捕捉到的微粒，接着再收集且回收它们。

[0050] 尽管不想受任何理论所束缚，但是下文将提供可能的机械装置及理论上的讨论。

[0051] 气体动力学机械装置

[0052] 如上述第一气体动力学气体清洁反应器（在此称为ADGC）所显现的，该ADGC设备本身在机械上极为简单并且不包括移动零件，并且三个或四个气体动力学反应器中的每一个（用于后文中本发明的完整系统及方法全文当中时）实质上为相同的，并因此它们各自的描述是类似的。然而，在各个气体动力学反应器及其各自的气体聚结器内执行的过程是极其复杂的并且不像传统污染控制装备中执行的过程。

[0053] 所述超音速喷嘴 44(或喷嘴 44a、44b、44c)位于入口管道 36 中,且与所述亚音速喷嘴 42 联合形成喷射泵,该喷射泵抽吸被污染的气流 10 穿过该系统。图 2、3 和 5 中所示的超音速及亚音速喷嘴的设计本领域技术人员众所周知并不需在此详细描述。与该超音速喷嘴 44 相连的喷雾或雾化喷嘴 45 将经雾化的水或化学试剂直接喷雾至超音速自由射流 46 内。该经雾化的液滴被粉碎并进一步减小尺寸且与该超音速自由射流 46 紧密混合,该超音速自由射流 46 由喷嘴 44 产生并在超过 1,180 英尺 / 秒的速度下运动。为了使排出该喷嘴的该自由射流成型且完全有效,该入口管道 36 的截面积应至少为射流喷嘴 44 出口的截面面积的约四倍。较小的面积比将不利地影响该反应器的性能。部分由于存在于该超音速自由射流 46 中的冲击波及能量,在该超音速自由射流 46 的冲击波区域中的自由射流 46 内,将发生最初以 40 至 60 英尺 / 秒的标称速度行进的被污染的气流 10 与非常精细的水滴及化学试剂(若使用的话)的湍流及紧密混合。该混合物,经过该湍流混合之后,将掺混它们各自的行进速度并平均化为 150 至 250 英尺 / 秒的速度。

[0054] 当该气流混合物被推入或被迫进入并通过亚音速喷嘴 42 时,因为该气体内容物被强迫通过喷嘴 42,所以此物流的速度将大幅提高至在喷嘴 42 出口处的音速范围的速度。此加速物流现在突然进入直径大得多的反应室 40 中,反应室 40 具有为该亚音速喷嘴 42 的出口截面积的至少四 (4) 至五 (5) 倍的内部室截面积,并该气流在体积上突然膨胀,而该物流的压力在进入该室 40 之后突然降至低于大气压力的程度。如上文提及的,较小的面积比将不利地影响该反应器的性能。由此,当该亚音速自由射流 50 从该亚音速喷嘴 42 发出时,压力将变得明显低于大气压力并温度将变得明显更低。此外,由于在该亚音速喷嘴 42 的喉部 48 中的孔口 54 的送气或向内吸气效应,使刚好在该亚音速自由射流 50 外侧的混合 / 反应室 40 中的压力也会在一定距离内低于大气压力。降低的压力造成非常小或经雾化的蒸气或气溶胶粒子及液滴,以及试剂(若使用的话)上的表面边界层剥离,从而使该气溶胶、粒子、液滴及试剂(若使用的话)全都立即相互接触并迅速反应。此过程吸热。由于该液滴及试剂(若使用的话)非常小的尺寸,所以接触面的面积对体积的比例可为正常条件下传统化学反应相关的或所涉及的比例的数千倍。此外,该湍流的气 / 液混合物的气相和液相中将会有分子扩散或布朗运动。若使用化学试剂的话,该化合物的离子与它们各自的目标物的分别带相反电荷的离子反应,导致预期的反应,并发生吸热反应从而吸收能量。

[0055] 由于使用气体动力学科学原理的反应室 40 内产生低于大气压力且吸热的条件,预期的化学反应可在数毫秒内完成,并该主要过程或机理将变成一种分子表面化学,而非传统化学。该预期的反应将在至高约 150° F 的迅速温降范围内进行。降低的温度将造成水蒸气冷凝在由所述微粒及反应产物所提供的成核点上。由于在亚音速自由射流 50 内的湍流,包封该微粒及反应产物的液滴通过极度迅速和反复的冲击、截留、扩散、反应、成核及冷凝而生长。持续的冲击、截留、扩散、反应及成核部分是由于非常小的粒子及离子的布朗运动造成的。此方法本身以不规则顺序非常迅速地重复并造成又更大的液滴的“生长”及又更多成核点的包封 - 再包封直到该物流行至反应区域的外侧并超出该反应区域。

[0056] 当气体及液滴的混合物朝向该反应室 40 的后面部分行进且超出该反应室 40 的后面部分时,发生了压力恢复 :(1) 放热条件开始发生,其提供约 50° F 至 75° F 的温度恢复,及 (2) 在收敛段 52 内,压力开始恢复至正常大气压力水平,同时液滴持续成长。由此,超出该反应区,有时候介于该收敛段 52 与气体聚结器 32 之间,预期的化学反应将达到平衡点,

并重新建立传统化学的放热及正压条件。

[0057] 在垂直取向的气体动力学反应器 30 与气体聚结器 32 之间的弯头 60 用作延伸或额外混合管，在那里通过持续的冲击、成核及冷凝发生进一步的液滴生长。当该气体混合物进入气体聚结器 32 时，它包含气体与较大液滴的混合物，该较大液滴含有所捕捉的重金属和痕量金属以及其它通过凝聚被包封或再包封到非常大的液滴中的微粒，该非常大的液滴可接着被分离出来。

[0058] 如图 6 所示，气体聚结器 32 包含为气相组分提供一些额外的压力恢复的发散段 62 和固定直径段 64 以及位于该发散段 62 入口附近的流体分离装置 66。该流体分离装置 66 使完全包封的液滴转而朝向该气体聚结器 32 的底部壁并经设计以引发一系列的旋转的旋涡，这造成其余的液滴以液体形式沉降，而该气相组分走掉并上升经过该柱状排出管道 68。一个或更多额外的成形的流体分离装置 67 可位于该气体聚结器内，该气体聚结器经设计以确保具有更多能量的气相与包封目标反应产物的载满水分的液滴的最终分离，该载满水分的液滴具有更少能量且较冷并将以液滴的形式向下运动，累积成细流，并通过该气体聚结器的承接盘 (catch-pan) 底部流出去。风机 69（如果希望的话）可位于该排出管道 68 中以协助牵引该气相经过该排出管道 68 且向上，并补给 4 至 5 英寸水柱的合并压力损失，该压力损失发生于该气体动力学反应器 30 中并可能无法在气体聚结器 32 中被充分恢复。尽管独立的风机 69 可位于各个聚结器的排出管道中，但是更希望在集成的多阶段气体动力学反应器系统末端和进入该烟道 98 之前采用单个的引导式引风机 97，或者替代但是较不合意地，当可能需要替代性工程设计时，在进入该第一气体动力学反应器之前设置强迫性的通风机。

[0059] 通过管道 68 离开该气体聚结器 32 的经部分清洁的气体被导入第二气体动力学反应器 72 的入口以去除二氧化硫。经管线 74 的碱金属氢氧化物加上碳酸盐和碳酸氢钠的合并溶液，加上经管线 23 的羟基和氢过氧基自由基（如果希望的话），通过与该反应器的超音速喷嘴 44 相连的各自的喷雾或雾化喷嘴 45 进料至该第二气体动力学反应器 72 中。该反应器排出的液体和气体在第二气 / 液分离器或气体聚结器 76 中分离开，而排出的液体通过管线 78 通往二氧化硫和三氧化硫化学回收系统以获得化学副产物。通过前述的气体动力学方法以 99.0％或更大的效率完成二氧化硫的去除。一部分二氧化碳也随着该硫副产物一起回收在该液流中。

[0060] 经部分清洁的气体（在很大程度上含有 NO_x 及其余的 CO_2）通过管道 84 离开该硫的氧化物反应器系统 72，76 并被导入第三气体动力学反应器 85 的入口以去除氮氧化物。此反应器实质上与第一和第二气体动力学反应器相同。通过管线 86 供入第二碱金属氢氧化物 - 碳酸盐 - 碳酸氢盐溶液，以及通过管线 23 供入羟基及氢过氧基自由基（如果希望的话）。该试剂溶液通过与该反应器的超音速喷嘴 44 相连的各自的喷雾或雾化喷嘴 45 进料至该第三气体动力学反应器 85 中。因为与氮氧化物的化学反应进行得比与硫氧化物的化学反应慢得多，可能希望提供以相同方式串联在该第三气体动力学反应器 85 之后的第四气体动力学反应器 88。再循环试剂溶液 86 也可经过与该第四气体动力学反应器 88 的超音速喷嘴 44 相连的各自的喷雾或雾化喷嘴 45 导入该气流中。

[0061] 离开该第四气体动力学反应器 88 的气体及液滴被导入气 / 液分离器或气体聚结器 90 中，在那里将含有碱金属亚硝酸盐和硝酸盐成分加上其余部分的二氧化碳的用过的

试剂液体92以及碱金属碳酸盐-碳酸氢盐试剂溶液通往副产物回收系统，该副产物回收系统类似于用于二氧化硫的副产物回收系统。在该氮氧化物去除过程中，可通过在此所述的气体动力学方法实现99.0％或更高的效率。

[0062] 来自氮氧化物气体动力学反应器85、88的清洁后的气体通过管道96排出该系统。如早先所解释的，可能希望运用引导式引风机97来帮助此点处的清洁后的气体向上运动。在释放至该烟道98之前，该清洁后的气体可在再加热器100中再加热。此外，可能希望在排出管道68、84、96（如图1a和1b中所示）和407（如图12b所示）中的一个或多个中增加加热器以控制进入各自的气体动力学反应器72、85（如图1b所示）和404（如图12b所示）的气流的温度。通过管线108将从该烟道冷凝液中回收的水导至水处理设备110以供后继再利用。

[0063] 综合回收及副产物回收系统

[0064] 现在参照图9，来自用于去除硫氧化物的第二气体动力学反应器72和第二气体聚结器76的出口液体78首先通过预滤器188以通过用水或碱金属氯化物溶液190洗涤而去除不溶性物质。所去除的不溶性物质和含有水及钾盐的洗涤溶液接着通过管线193进入金属分离及回收单元34（参见图8）。然后使经过滤的用过的试剂液体192在进入再循环混合槽140之前通过管线205通往硒去除步骤。在该混合槽140中，接着加入来自蒸发器-结晶器132的碱金属碳酸盐返回溶液136以及碱金属氢氧化物补给进料流138和水162以产生再循环液体74，该再循环液体74接着返回该第二阶段（二氧化硫）气体动力学反应器72以捕捉额外的气态污染物。

[0065] 在步骤188中过滤用过的溶液78（来自用于去除硫氧化物的气体动力学反应器72和气体聚结器76）并接着使该液体192通入离子交换除矿物质树脂床198中以选择性地去除呈硒离子形式的硒。一部分或全部的硒可通过该离子交换除矿物质树脂床198靠离子选择性去除而被除去。其余的溶液根据所需或所想的硒去除通过液体旁路物流200来配置，同时在去除硒之后使经清洁且除矿物质的溶液205返回至混合槽140。该硒通过额外的离子交换除矿物质步骤201选择性地与硫酸盐离子分离开，然后送到硒回收步骤202。该离子交换除矿物质树脂床201由于添加再生剂溶液203的结果而再生，而经清洁的离子交换除矿物质树脂199则返回树脂床198以便在完成该循环再生步骤之后经济地再利用。

[0066] 接着将由该离子交换除矿物质树脂再生201所产生的硒溶液204送去处理或送至进一步的化学回收步骤202。若在合格设施中处置该废硒溶液，该废硒溶液可被蒸发并利用石灰或其它物质固化并置于罐中。替代方法是通过蒸发使该废溶液富含硒并部分浓缩它，接着回收该硒以供后续在电气或电子零件或太阳能光伏电池的生产中再利用或用于其它经济的用途。可能需要将硒转化为碳化物或氧化物化合物，或转化为纯元素形式以促使其回收及再利用于制造可用产品例如电气及电子工业零件。

[0067] 现在对图1b及图8所示的化学金属回收及补给化学品再生过程34进行评述。过滤后的洗液193（来自该硒去除预滤器单元188）和过滤后的洗液194（来自该固体预滤器93）被合并为过滤器洗液物流195，使其与富含金属的液流70合在一起。先过滤31该液流70、195以去除不可溶性粒子然后通过活性炭吸附床33以去除任何残余的元素汞和有机物。

[0068] 将碱金属氯化物溶液164用作该预滤单元31的洗液并将洗涤流出液165接着通

往离心分离器 39 以去除固体。该液流接着通过沉淀单元 37，在那里加入来自混合槽 130 的碱金属硫酸盐化合物 131 和水 162（参见图 1a）以使该可溶性氯化汞化合物以硫酸汞 133 的形式沉淀。该液流接着被离心处理 39 以去除硫酸汞及其它不溶性固体，然后对该液流进行水洗 220，然后进行酸提取 222，并行至碱提取 224 系统（参见图 1a）。来自该离心分离器 39 的可溶性液体是再生的碱金属氯化物 118，它被再循环至该化学回收系统的入口以再生该碱金属氢氧化物溶液。

[0069] 现在对图 1b 所示的二氧化硫化学再生过程进行评述。该二氧化硫化学回收系统采用热脱二氧化碳单元 124，在那里将不稳定的碱金属碳酸氢盐转化为稳定的碱金属碳酸盐化合物。由水蒸气加热 128 所释放出来的二氧化碳气体 127，接着在该水蒸气冷凝之后作为纯二氧化碳气体排放。再者，一部分留在溶液中的未释放的二氧化碳可通过该脱二氧化碳单元的操作通过管线 159 再循环以提高作为有价值副产物形式的二氧化碳气体的最终产率。在脱二氧化碳之后，该二氧化硫回收系统利用过氧化氢 18（分支到管线 146 中）及空气 125 采用氧化步骤 126 将该不稳定的碱金属亚硫酸盐化合物氧化成稳定的金属硫酸盐化合物。接着使来自该脱二氧化碳步骤的含碱金属硫酸盐及碳酸盐的经氧化且脱二氧化碳的液体溶液通往蒸发－结晶单元 132 以浓缩至足以去除呈固体 134 形态的碱金属硫酸盐化合物的固体程度。其余的碱金属碳酸盐溶液 136、水 162 及碱金属氢氧化物 138 被经济地再循环并作为补给化学品添加，之后再通过混合槽 140。接着使这些组分返回气体动力学反应器 72 中以通过一系列多个再循环步骤通过管线 74 从烟道气流 10 中去除额外的二氧化硫。

[0070] 现在对图 1b 所示的相关氮氧化物化学－再生过程进行评述。该氮氧化物化学回收系统类似于用于去除二氧化硫的系统。利用水或碱金属氯化物洗涤溶液 190 使从该氮氧化物气体动力学反应器系统 85、88 去除的液体溶液 92 通过预滤器单元 93，然后通过混合槽 142。该入口进料洗涤溶液 190 经过管线 194 和 195 通往金属分离和回收单元 34。来自混合槽 142 的液体溶液 92 则穿过管线 143 到达氧化步骤 144，该氧化步骤 144 主要利用过氧化氢溶液 146，以便将碱金属亚硝酸盐转化为碱金属硝酸盐。氧化后的液流，其含有碱金属硝酸盐加上碱金属碳酸盐和碳酸氢盐，接着被通往热脱二氧化碳单元 148 以通过水蒸气加热 128 来分解碱金属碳酸氢盐化合物而变成稳定的碱金属碳酸盐化合物。

[0071] 然后移出来自该氮氧化物脱二氧化碳步骤的二氧化碳气体 152 并与来自二氧化硫脱二氧化碳步骤的二氧化碳排出气体 127 合并。再者，一部分留在溶液中未释放的二氧化碳可通过脱二氧化碳单元 148 的操作通过管线 149 再循环以增加呈有价值副产物形态的二氧化碳气体的最终产率。该经纯化的二氧化碳气体接着在冷凝器 154 中除湿并泵抽到装置外以便通过注入油田而用于三极级强化油回收，或用于其它用途，例如通过物流 155 用于封存。这是用于碳管理、捕捉及二氧化碳利用以形成有价值的副产物的综合化学系统的一部分，该有价值的副产物包括作为化学品或生物燃料的甲醇、乙醇和乙烯。步骤 154 中去除的水通过管线 109 及 113 被送到水处理厂 110 使其能被加工再利用。

[0072] 含有碱金属硝酸盐和碳酸盐的脱二氧化碳的液体溶液接着通过穿过冷冻单元 156 而被冷却。此溶液接着通过蒸发－结晶单元 158 以回收呈晶体 160 形态的碱金属硝酸盐化合物。其余的碱金属碳酸盐溶液 161 接着在混合 142 及通过管线 86 加水稀释 162 之后再循环至氮氧化物气体动力学反应器 85、88。将该碱金属氢氧化物进料溶液 138 加入混合槽 142 中作为化学品补给物以补偿结晶步骤 158 中呈硝酸盐形态去除的氮氧化物，以维持化

学回收系统的平衡。

[0073] 加至二氧化硫及氮氧化物气体动力学反应器 72、85、88 的碱金属氢氧化物溶液 138 由电解槽 120(参见图 1a) 中的碱金属氯化物溶液 164 的电解而产生。该碱金属氯化物盐的电解导致生成氢气 166 和氯气 168 以及碱金属氢氧化物溶液 138。该氢气可接着或者在裂解单元 170 中用于将乙醇转化为乙烯或者在单元 172 中与氧气反应生产过氧化氢,该二者皆为本发明的污染物去除系统的补给化学品。氯气可与氢气反应以生产用于单元 174 中的金属提取的氢氯酸,或在单元 176 中与乙烯反应制成 1,2- 二氯乙烷,其可接着用于生产氯乙烯单体 178,且接着生产聚氯乙烯塑料材料 180。本发明的再循环及再生化学系统的多重用途是经过设计的以使资源保存及经济地再利用最优化,以由从烟道气中捕捉到的空气污染物获得多种有价值的副产物。

[0074] 自由基的光解以促使去除痕量金属及 NO_x

[0075] 光解单元 14 经设计以从过氧化氢生产羟基 (OH*) 和氢过氧基 (HO_2*) 自由基并从氯气和二氧化氯气体生产氯基 (Cl*) 及氯氧基 (ClO*) 自由基。在高温下,这些自由基促使较低价的氮氧化物迅速氧化为二氧化氮,而在较低温度下这些自由基将有助于硫氧化物及氮氧化物与碱金属碳酸盐和碳酸氢盐的反应。在 500-600℃ (930-1,110° F) 的高温下,该自由基也会促使元素汞、汞蒸气、重金属和痕量金属 (例如镉、砷、锗、铀及铍) 的迅速反应以形成然后可被该气体动力学反应器 30 捕捉的微粒。在该光解单元内的停留时间应为至少介于 0.1 与 3.0 秒之间。在较低温度 (甚至低到 120℃或 250° F) 下,想要的反应可能需要更长的驻留时间才发生。

[0076] 现在参照图 7,该光解单元 14 优选包含延长的圆柱形金属段 266 及通过多个螺钉 271 固定在那里的端板 268、270。优选地,该圆柱段 266 的内表面是抛光的或装备反射面 272。石英或玻璃圆柱体 274 被可密封地固定于端板 268、270 上以便基本上与该段 266 同中心从而在该圆柱段 266 内限定中心空间 276 及环状空间 278。通过空气管线 282 在压力下供应来自泵 280 的空气 19,其通过端板 268 至环状空间 278。如果希望的话,适当的空气喷嘴 284 可位于环状空间 278 内的空气管线 282 上。过氧化氢 18 以液流的形式提供并经过端板 268 进入环状空间 278 及中心空间 276 内。雾化喷嘴 286 位于环状空间 278 及中心空间 276 内,并在该过氧化氢管线的末端以将该过氧化氢雾化。如果希望的话,可提供多个过氧化氢管线及雾化喷嘴 286 以更均匀地在环状空间 278 及中心空间 276 内分散过氧化氢。氯气 168 及二氧化氯气体 16 通过穿过端板 268 的管线 56 传送至光解单元 14。如果希望的话,可提供适合的喷嘴 288 以在环状空间 278 内分散氯气及二氧化氯。当然,如果希望的话,可提供多个氯气及二氧化氯喷嘴。水 17 以液流的形式通过穿过端板 268 且终止于旋流喷嘴 (swirl nozzle)292 的水管线 290 提供至中心空间 276。尽管图 7 中显示了两个此类喷嘴 292,但是可以明白的是,如果希望的话,可提供额外的喷嘴,以改善液滴的分布。

[0077] 多个紫外光灯 294 位于环状空间 278 中并通过固定于延长的圆柱段 266 内表面的环 296 设置于环状空间 278 内。优选地,在该环 296 所形成的孔口中所放置的索环 297 将该紫外光灯 294 锁紧。如果希望的话,可提供石英或玻璃管 (未显示) 以保护该紫外光灯以免受周围的气体影响。电源供应器 298 通过电线 300 提供电力给该紫外光灯,并供应空气风机及水泵。操作时,空气、经雾化的过氧化氢以及氯气及二氧化氯气体的混合物通过来自灯 294 的紫外光进行光解作用以便在环状空间 278 中产生羟基、氢过氧基、氯基及氯氧基

自由基，以及未反应的空气、过氧化氢、氯气及二氧化氯。以类似的方式，中心空间 276 中的水及过氧化氢通过来自灯 294 的紫外光进行光解作用以便产生待注入烟道气内的羟基及氢过氧基自由基和未反应的水及过氧化氢。

[0078] 该光解单元 14 的中心及环状空间 276、278 中所产生的光解产物连同未反应的空气、水、过氧化氢、氯气及二氧化氯在该光解单元 14 的出口处合并。自由基产物管线 302 从环状空间 278 延伸经过端板 270，而自由基产物管线 304 从中心空间 276 延伸经过端板 270。自由基产物管线 302 及 304 汇和，形成自由基管线 306。管线 306 进入位于混合室 311 内的加热器 308 中。管线 306 中的自由基流的液体组分被加热器 308 蒸发然后与来自管道 11 经过空气加热器 309 的受热空气混合。合并的空气及自由基流接着通过管道 24 回注到锅炉排出管道 26 中，注入点处温度仍高到足以促进化学反应。

[0079] 优选地，如图 1a 所示，该注入点可介于该空气预热器 13 及节热器 15 之间。在一些工厂中，该节热器可位于该空气预热器上游。在这种情况下，该注入点优选在该节热器的上游以取得较高烟道气温度的优点，该较高烟道气温度将促使想要的氧化反应发生以使得该污染物接着被转化为更易于收集的形式。

[0080] 含有自由基羟基、氢过氧基、氯基及氯氧基的液体溶液的初级注入点可为该热气流在 500-600℃ (930-1,110° F) 的温度范围下行进之处。优选地，对于某些类型的煤来说，此点在节热器的上游，而对于其它类型的煤炭，可在节热器的下游。

[0081] 一氧化氮至二氧化氮的氧化反应主要部分发生于这些高温下，伴随着元素汞蒸气转化为氧化汞气溶胶。有一些氧化汞可接着在作为初级微粒收集装置 28 的下游静电沉淀器或织物过滤器（它们也可用作用于粒子去除的调节室）中去除。此外，至少一部分一氧化碳可在该空气加热器下游在这些提高的温度下氧化成二氧化碳。还有一部分以燃烧副产物的形式存在的有机蒸气及气溶胶可被转化为二氧化碳和水蒸气以完成该氧化过程。

[0082] 离开该光解单元 14 的自由基产物管线 302 及 304 汇和而形成自由基管线 22。用于注入富含自由基的水性液流 22 的第二导入点可在 135-150℃ (275-300° F) 的温度下位于初级微粒去除装置下游的第一气体动力学反应器 30 的入口处（参见图 1a、7、8）。在此位置，将汞蒸气额外氧化为氧化汞并转化为可溶性的氯化汞气溶胶。该氧化汞粒子可接着通过与氯化钾或水溶液的反应在预处理溶液中去除。呈可溶形式的溶解的氯化汞接着通往金属分离及回收段 34，在那里添加来自硫氧化物去除步骤的碱金属（钾）硫酸盐 131 以使汞呈不可溶的硫酸汞 133 的形式沉淀。该硫酸汞沉淀物 133 接着被去除且分离出来并接着干燥并置于罐中或经进一步处理以供回收制成可用的副产物。

[0083] 单独且替代地，从该光解单元 14 的中心室 276 延伸出来的专用管线 23 仅将羟基及氢过氧基自由基分配至与气体动力学反应器 72、85 及 88 相关的注入点三和注入点四（参见第 1a、1b、7、9 及 10 图）。

[0084] 选定的来自紫外光光解单元的富含自由基的液体溶液的第三注入点可在用于去除硫氧化物的第二气体动力学反应器系统 72 的入口气流上。如果希望仅添加该羟基及氢过氧基自由基，此步骤可通过使用如上所述的自由基管线 23 而完成。做此注入的主要理由在于通过为该气相反应提供充分的停留时间而促使一氧化氮完全氧化成二氧化氮发生于后继氮氧化物气体动力学反应器 85、88 的上游。然而，还有一些二氧化硫气相氧化为三氧化硫的益处也会发生以助于将溶液中的亚硫酸根离子转化为硫酸根离子而促进碱金属

（钾）硫酸盐肥料的形成，以及免除在此阶段的三氧化硫排放。此外，转移到液相内的羟基自由基留存物也可增进该用过的试剂溶液中的亚硫酸根氧化为硫酸离子以促进结晶。

[0085] 用于注入选定的来自紫外光光解单元的富含自由基的溶液的第四注入位置可在用于去除氮氧化物的第三和第四气体动力学反应器 85、88 的入口处。如果希望仅添加该羟基及氢过氧基自由基，此步骤可通过使用如上所述的自由基管线 23 而完成。此羟基及氢过氧基自由基的添加使其有可能将一氧化氮氧化为二氧化氮以使其可转化为碱金属（钾）硝酸盐肥料。此外，多个部分的二氧化碳（经由一氧化碳气体加上该气流中的有机蒸气及气溶胶在空气加热器后的氧化加上从锅炉燃烧区直接进来的二氧化碳而形成）可在下游的硫氧化物及氮氧化物气体动力学反应器二者中去除。这是用于碳管理、二氧化碳的捕捉和利用以形成有价值的副产物的综合化学系统的一部分，该有价值的副产物包括作为化学品或生物燃料的甲醇、乙醇及乙烯。

[0086] 金属回收及副产物回收系统

[0087] 现在参照图 1a，该金属回收系统 116 运用三阶段水洗涤 220、利用氢氯酸 175 的酸提取 222 及利用该金属分离液体流出物 35 的碱金属（钾）氢氧化物 138 的碱提取 224 以分离可回收的金属，其中所述金属分离液体流出物流夹带来自第一气体动力学反应器系统 30、32 的固体物质。

[0088] 该金属回收系统 231 截取来自煤燃烧的飞灰 208 及底灰 206 固体流进行处理。该处理的目的在于将可用的金属及其它组分与煤灰分离开以便再循环且以有价值的金属材料形态回收并去除有潜在毒性的物质以供后继分离及处理。来自飞灰 208 的未回收、无毒性的组分 210 可用于生产水泥，而未回收的底灰 212 可作为可用的副产物制成路基材料。

[0089] 该底灰及飞灰回收系统 231 运用三步骤的固－液接触系统以便相继使用水洗 219、氢氯酸提取 112 及碱金属（钾）氢氧化物提取 114 来处理该飞灰及底部固体流以去除金属。完全构成该灰金属回收系统 231 的流出液体 216、228、230（分别地，来自该灰洗水系统提取单元 219、氢氯酸提取步骤 112 和碱金属（钾）氢氧化物提取步骤 114，它们含有溶解了的金属组分）接着被送至该金属回收系统 232 以供分离成各自的金属组分，这些各自的金属组分可接着在装置外的金属熔炼厂进一步加工成有用的产物。

[0090] 该金属回收系统 232 由氧化提取 234、硝酸盐提取 236、碳酸盐提取 238 及有机物提取 240 串联组成的四个连续液体提取步骤中的任何一个或全部构成，目的是使用易从其它现场工艺物流得到的化学溶液将金属分离为具体的各自组分。铝可直接从该酸性提取流 228 以氯化铝的形式回收以便通过在单元 250 中利用碱金属（钾）氢氧化物 138 处理及后继的干燥 252 转化为氧化铝。所回收的氧化铝可接着载运至矾土处理设施，或将氧化铝加工成铝金属的铝熔炉。镁可以以氢氧化镁的形式通过干燥物流 233 从碱性提取步骤 114 及 224 中直接回收而产生固体残余物。

[0091] 此外，铀可通过类似的两步骤顺序 256 利用硝酸和硝酸钾以物流 255 中的可溶性硝酸铀的形式从硝酸盐提取单元 236 回收，其接着通过氢氧化钾在单元 257 中进行沉淀而转化，以形成不可溶的氢氧化铀固体 258。该氢氧化铀固体 258 接着进行热干燥以在单元 260 中形成氧化铀 261，而液体经由管线 259 再循环至碳酸盐提取单元 238 以回收和再利用。所回收的氧化铀被载运至铀处理设施用于转化为燃料棒，以便经由复杂的多步骤顺序依次采用研磨、转化、浓缩及生产，用于在核反应堆中产生电力。

[0092] 其它的金属可通过穿过四阶段提取利用过氧化氢氧化溶液 18、146 和硝酸盐提取水溶液 160 和硝酸溶液 229 进行选择性连续处理而在单元 236 中单独地回收。利用碱金属（钾）碳酸盐进料流管线 139 进行水溶液处理可导入该碳酸盐提取单元 238 以供进一步去除残余的铀及其它金属，并且乙醇 119 或其它反应剂可导入最终的有机物提取步骤 240 以去除可以以有机络合物的形式提取的其它金属。从任何或全部阶段中回收的液体可接着通过改变离子交换树脂或其它步骤来处理以视需要去除其它衍生自煤或任何烃燃料的金属。个别的提取液流可接着进一步经处理以去除且回收个别金属，这些个别金属在现场或被载运至其它位置以供熔解或精炼或其它金属回收操作以形成各种有用产物。

[0093] 在该金属提取系统 232 中，氧化液体提取物流 235 离开该氧化单元 234 并且进入硝酸盐提取单元 236。硝酸盐液体提取物流 237 离开该硝酸盐提取单元 236 并且进入碳酸盐提取单元 238。碳酸盐液体提取物流 239 离开该碳酸盐提取单元 238 并且进入有机物提取单元 240。有机物液体提取物流 241 离开该有机物提取单元 240 并且进入返回液体处理单元 243，在那里用碱金属（钾）氯化物 164 来处理该液体。该返回液体洗涤固体 215 被送去废弃固体处理 218，和未被提取的钾盐及其它液体 214 返回液体清洁单元 213。在单元 213 中，去除不可溶的固体 218 并使再生的碱金属（钾）氢氧化物进料溶液 118 返回混合槽 209。来自该混合槽 209 的液体被送至电解槽 120 以生产碱金属（钾）氢氧化物。因此，本发明的资源保存也通过在化学再生系统内再循环用于金属回收及电解的溶液以经济地使用而得以实现。

[0094] 将从氧化提取单元 234、硝酸盐提取单元 236、碳酸盐提取单元 238、有机物提取单元 240 及返回液体处理单元 243 所提取的金属送至回收金属储存设施 244，并从那里经由管线 242 送到适合的装置外金属熔炉、精炼炉或其它回收厂。

[0095] 用于资源最佳保存的化学试剂的再循环

[0096] 经部分清洁的烟道气流 10 在第一气体动力学反应器 30 的金属去除步骤之后接着通过第二气体动力学反应器 72，在那里二氧化硫及三氧化硫通过吸收至再循环的碱金属氢氧化物 - 碳酸盐 - 碳酸氢盐溶液 74 内而去除。该二氧化硫去除在反应温度为约 50-60℃ (120-140° F)、全部循环溶液 74 对补给进料液体 138 的再循环 - 流动比位约 4.0-5.0、碱金属试剂对硫氧化物（二氧化物加三氧化物）浓度比位约 2.0-3.0、液体 pH 为约 7.0-7.5 的条件下进行。在大于 99.0％的二氧化硫与基本上全部的三氧化硫一起被去除之后，该经清洁的气流接着继续来到该氮氧化物气体动力学反应器 85、88。此外，通过该阶段，在整个烟道气处理过程的该第二阶段，也将 50-75％的二氧化碳连同二氧化硫一起从烟道气中捕捉到出口试剂液体系统中。

[0097] 以下描述了用于该过程且通过化学产生 - 再生综合体所提供的试剂液流再循环，所述化学产生 - 再生综合体是为了资源最佳保存和经济性而设计的。来自该二氧化硫反应器系统的排出液流 78 含有由二氧化硫及三氧化硫的去除所造成的碱金属亚硫酸盐及亚硫酸氢盐化合物与来自二氧化碳的去除的碱金属碳酸氢盐和碳酸盐合在一起的混合物。也可能有非常少量的碱金属亚硝酸盐和硝酸盐化合物存在于来自二氧化硫反应器单元 72 的液流中，它们也可能是从该烟道气流移出的。此液流行至脱二氧化碳单元 124，在那里先释放并去除绝大部分的二氧化碳气体 127，而一部分留在溶液中未释放的二氧化碳作为物流 159 的形式再循环至脱二氧化碳单元 124 以通过循环强化后继的二氧化碳释放和总产率。

[0098] 将再循环的液体排出流 196 从混合槽 140 送出并进料至热脱二氧化碳单元 124 以利用水蒸气 128 汽提。到该脱二氧化碳单元的入口液体含有碱金属亚硫酸盐和亚硫酸氢盐加上硫酸盐连同碳酸盐及碳酸氢盐。利用水蒸气 128 加热该液流至沸腾，这造成该碱金属碳酸氢盐分解为碱金属碳酸盐及二氧化碳气体 127。二氧化碳气体以湿式饱和气流的形式从该脱二氧化碳单元逸出并释放，该湿式饱和气流通过冷凝器 154 以去除夹带的水蒸气并以经纯化的气流 155 的形式回收自硫氧化物及氮氧化物回收系统，作为本发明的用于转化为一系列可用的副产物的综合碳管理及二氧化碳捕捉系统的一部分，该可用的副产物可包括甲醇、乙醇和乙烯或它们的衍生物。

[0099] 该脱二氧化碳的液流接着通往氧化单元 126，在那里碱金属亚硫酸盐经由添加空气 125 而转化为碱金属硫酸盐，其中氧气与亚硫酸根离子反应以生产呈可溶性盐类的碱金属硫酸盐。该空气氧化步骤 126 也使用过的试剂液体经过水蒸发到该排放气流中然后该排放气流通到大气中而部分浓缩。亚硫酸盐变成硫酸盐的转化联合溶液中的碱金属离子也使来自该空气氧化单元的用过的试剂溶液的 pH 值降低。来自该空气氧化单元的排出液体接着通常以粘稠浆料的形式通往蒸发结晶单元 132 以回收硫酸盐化合物。

[0100] 硫酸钾在水中具有比亚硫酸钾明显更低的溶解度，并在碳酸钾溶液中具有甚至更低的溶解度，所以其可经由结晶轻易地从产物水性介质中去除。亚硫酸盐氧化器的排放物由于去除了大量的水和硫酸钾在该产物水性介质中的低溶解度而一般为浆料。该浆料可接着被冷却并在蒸发器 - 结晶器 132 中去除硫酸钾 134。所回收的硫酸钾 134 一般都经离心处理并去除以干燥 245 及包装 246 为有价值的肥料，并该产物水性介质从该离心单元排出。来自该结晶器的产物水性介质 136 主要为碳酸钾，并也可含有少量硫酸钾加上任何未氧化的亚硫酸钾。使该水性母液再循环，其中存在抽出物流 (bleed stream)137 以预防该试剂溶液中的非反应性物质的过量累积。接着将碱金属（钾）氢氧化物 138 加入该混合槽 140 中以使该再循环产物水性介质 136 可补偿在硫酸钾产物 134 生产时已经被去除的二氧化硫成分，以维持适当的化学平衡。

[0101] 从该二氧化硫气体动力学反应器 72、76 排出的其余的经部分清洁的烟道气流（包含氮氧化物及其余的二氧化碳）接着通往氮氧化物气体动力学反应器单元 85（其可采用第二气体动力学反应器 88），经由管线 23 向二者中加入经光解的过氧化氢，同时加入 pH 值为约 9.0-9.5 的碱金属氢氧化物 - 碳酸盐 - 碳酸氢盐试剂液体 86，从而去除多达 98％的氮氧化物和多达总共 90％的剩余的二氧化碳。经清洁的气体（由 N_2 及 O_2、水蒸气及可能的痕量的不固定的排放物构成）经由管道 96 冒出。以化学的方式，事先在气体聚结器 76 中除去二氧化硫大大降低所需的氧化剂数量，并避免了在去除及回收氮氧化物的过程中生成硫酸钾。生产硝酸钾产物所需的再循环的氢氧化钾补给化学品可由碳酸钾再循环 86 加入，或由氯化钾进料流 164 在该电解槽 120 中电解生产的氢氧化钾 138 加入。

[0102] 来自氮氧化物 ADGC 反应器单元 85、88 的用过的液体 92 接着行至氮氧化物回收系统 141，其与二氧化硫产物化学品回收单元 123 所运用的类似。过氧化氢溶液 146 最初加至该氧化器单元 144 以促使碱金属亚硝酸盐氧化为硝酸盐。包含再生的或未消耗的过氧化氢、硝酸钾及亚硝酸钾、碳酸钾及碳酸氢钾的产物水性介质再循环物流 143 从混合槽 142 通过并再循环至氧化器单元 144 入口直到亚硝酸盐或硝酸盐或二者的浓度达到足够的浓度为止。之后，至少一些产物水性介质进入副产物回收循环。优选地，待进行副产物回收的产

物水性介质通过硝酸盐转化步骤，在那里加入过氧化氢溶液以将该亚硝酸根离子氧化为硝酸盐晶体，该硝酸盐晶体将产出呈有价值的副产物形式的硝酸盐肥料。

[0103] 在碱金属亚硝酸盐氧化成硝酸盐之后该液流接着通往热脱二氧化碳单元 148，该单元使用水蒸气汽提 128，其方式与用于二氧化硫去除的方式类似。溶液中未释放的二氧化碳经由管线 149 从该出口再循环以使碱金属碳酸氢盐的生成最大化，其中二氧化碳经过该脱二氧化碳单元再循环以有助于将碳酸盐转化为碳酸氢盐，由此将 pH 值降至小于约 9.0 并通过未消耗的氧化剂过氧化氢促使亚硝酸盐氧化为硝酸盐。产物水性介质，现在富含硝酸钾及碳酸氢钾，从热脱二氧化碳 148 通往冷却单元 156 接着到达蒸发器 - 结晶器 158。因此，绝大部分的碳酸氢盐通过在热脱二氧化碳单元 148 中的热分解转化为碳酸盐及二氧化碳气体。

[0104] 二氧化碳和水蒸气接着上升和经纯化的二氧化碳可被回收、干燥且用于别处。它也可被再循环以将碳酸钾转化为碳酸氢钾并促使亚硝酸钾氧化为硝酸钾。加压的二氧化碳有助于将碳酸盐转化为碳酸氢盐并促使在该产物水性介质中生成碳酸。当该液流中存在碳酸且不存在碳酸盐时亚硝酸钾氧化为硝酸钾可进行得更快，这暗示着该液相中的温和酸性至中性的 pH 将伴随硝酸钾的结晶。

[0105] 离开该脱二氧化碳单元 148 的产物水性介质主要含有硝酸钾和亚硝酸钾加上碳酸钾，并被冷却单元 156 冷却至大约 10℃ (50° F)，然后行进至蒸发器 - 结晶器 158，在那里硝酸钾 160 被结晶。该硝酸钾晶体 160 在离心分离之后从该液体中去除。然后对该硝酸钾进行干燥 247 并包装 248。残余的碱性水性介质流 161 的第一部分被再循环回到混合槽 142。混合之后，它与该富含碳酸盐的水性试剂介质溶液 86 的再循环合在一起，其被再循环至氮氧化物去除系统的 ADGC 反应器 85、88 的入口，同时添加氢氧化钾进料溶液 138 及水 162。一些再循环水性介质 161 可掺入分离流体 137 中以使惰性固体的浓度最小化。留在该产物水性介质流 161 中的第二部分的残余亚硝酸钾可通过可调节阀装置转移，并经由直接管线以物流 145 的形式再循环至氧化单元 144 内，或与经由管线 146 添加且亦进料到该氧化单元 144 的氧化剂过氧化氢合在一起，以使硝酸盐的提取最大化。

[0106] 用于二氧化硫、氮氧化物、二氧化碳、汞及其它金属的化学再生及回收系统采用一系列循环过程以去除空气污染物。该碱金属硫酸盐和硝酸盐化合物连同二氧化碳气体的副产物回收直接与汞化合物及其它金属组分一同从该烟道气流进行。从碱金属氯化物盐 164 的电解生产碱金属氢氧化物溶液 138 使其可能从相反电极产生氢气 166 和氯气 168。然后可生产氢氯酸 175 及二氧化氯气体 16，加上 1,2- 二氯乙烷 176 及聚氯乙烯 180 副产物，以及在整个排放控制系统综合体内作为补给化学品的过氧化氢 18 及乙烯 121。若乙烯在进行该烟道气处理的场所以外产生的话，可进一步使碱金属氯化物盐 115 及乙醇 119 变成唯一必须作为原料供入该系统的由外界补给的化学品。本发明的再循环及再生化学系统的多重用途经设计以使资源保存及经济的再利用最优化以获得多种有价值的副产物。因此，这是资源系统的保存及所有的所需试剂溶液的总体再生的一个例子。

[0107] 在本系统中，利用一系列循环再生过程去除个别的空气污染物并将它们转化为可用的副产物同时将补给化学品回收再利用。有独立的循环化学品回收过程来处理汞及金属回收、硫氧化物回收及氮氧化物回收加上氯气循环成为用于金属回收的氢氯酸。再者，也产生氢气以供后继用于生产过氧化氢及乙烯气体作为总体过程的再循环化学品。

[0108] 整个化学品补给和回收系统中的循环再生驱动器及关键步骤是碱金属氯化物盐164变成碱金属氢氧化物液体溶液138的电解作用120，加上释放出氢气166及氯气168，以及对于总体去除过程钾作为优选的碱金属氯化物，因为KCl可进一步用于生产硫酸钾(K_2SO_4)134、246和硝酸钾(KNO_3)160、248，二者皆为有价值的肥料。补给的氢氧化钾138在该电解槽120中生产很方便，其中将氯化钾164的浓缩溶液进料至阳极室，在那里它在液体中以电解方式转化为氢氧化钾138，而氢气166及氯气168以气流的形式直接在该电解槽120的相反电极端释放出来。使用阳离子膜来过滤并生产不含氯化物的氢氧化钾产物溶液138，其在全部后继过程中有多种用途。

[0109] 来自电解槽120的氢气166可用于生产乙烯121及过氧化氢18。该过氧化氢可由氢气加氧气在现场生产，其中氧气或来自空气分离单元171，或来自外部来源。当现场生产过氧化氢时，氢气与空气反应。优选地，氢气166全部或部分由该电解槽120供应以生产过氧化氢溶液18、146。该过氧化氢接着利用紫外光20在紫外光光解单元14中光解以生产在全部后继过程中有多种用途的羟基及氢过氧基自由基。尽管一部分氢气会在氢氯酸生产及乙烯裂解时消耗掉，但是有过量的氢气存在，其可能不被本发明所涉及的化学过程所需要。此过剩的氢气可以被提取并压缩为纯化的气体或液体并作为额外的有价值的副产物出售，例如出售给炼油厂用于将原油裂解成例如汽油的产物，或出售给使用者用于氢燃料电池中或作为运输燃料源。

[0110] 来自该电解槽120的氯气168可有益地用于生产液体氢氯酸175或二氧化氯气体16。该氯气168与氢气166反应以直接生产用于金属提取操作的氢氯酸液体175。二氧化氯气体16可用于将一氧化氮氧化为二氧化氮以及从元素汞蒸气变为氯化汞。该电解槽120所生产的氯气168的主要用途在于使其与由乙醇119所生产的乙烯气体121反应。再者，该氯气可经由与乙烯反应生产1,2-二氯乙烷(EDC)176、通过氯乙烯单体(VCM)中间物178作为生产聚氯乙烯(PVC)塑料180的构成原料(其中必须在各个步骤添加额外的乙烯气体121)而生产非常有价值的副产物链。现在有一个此类副产物的市场，因为它们是由石化工业所供应的更昂贵许多的原料制成的相同化学品的直接替代物。

[0111] 碳捕捉及管理系统以及氢气生产

[0112] 燃烧气体的二氧化碳(CO_2)含量可在该燃烧气体体积的约5％至约60％的范围内。现在广泛相信二氧化碳明显造成全球变暖。已经进行努力来限制二氧化碳释放到大气中且政府规定可能马上要求进一步的限制。本发明独特地设计了二氧化碳的管理，因为硫氧化物及氮氧化物的化学回收过程的脱二氧化碳步骤将释放出呈纯气体形态的二氧化碳，其接着可以作为所收获的气体而回收或加压成液体。大部分剩余的碳都以碱性金属碳酸盐的形式出现，其被再循环至硫氧化物及氮氧化物反应器。结合使用碱-碳酸盐-碳酸氢盐溶液作为碳含量及碳值的管理工具为本发明的新颖的益处。当该溶液中有过量的储存碳值时，额外的碱金属碳酸盐及碳酸氢盐就可以某种形式出售给使用者或用于转化为合成燃料(如图11所示)。这是用于碳管理、二氧化碳的捕捉及利用以形成有价值的副产物的综合化学系统的一部分。本发明的结果是，仅痕量的碳氧化物及其它组分可能变成难以捕捉且以废气的形式逸出烟道。

[0113] 非常有价值的副产物为二氧化碳气体，其通过在硫氧化物及氮氧化物化学回收步骤过程中利用水蒸气和加热来热脱二氧化碳过程中从碱金属(钾)碳酸氢盐溶液中释放出

来而产生。在各个情形中通过将来自各自的硫氧化物及氮氧化物化学回收过程的碱金属碳酸盐-碳酸氢盐的液体再循环物流加热至沸腾的条件而从溶液中释放出二氧化碳。在各个物流中的碱金属（钾）碳酸氢盐接着分解以从溶液中释放饱和润湿气体 127、152 形式的二氧化碳加上碱金属（钾）碳酸盐。该二氧化碳接着通过用于除湿的冷凝器 154 并接着作为产物离开，该产物用于三次强化采油及其它应用例如促进温室中的蔬菜生长，或利用光合作用生长藻类以生产合成燃料或生物柴油燃料（如图 10 所示）。

[0114] 一般的工艺操作模式是使用氯化钾（钾盐）作为输入的化学品补给溶液以便能生产作为肥料的有价值的硫酸钾（K_2SO_4）和硝酸钾（KNO_3）。

[0115] 以纯化的气体的形式回收的二氧化碳（CO_2）是具有相当高价值的副产物，其要么用于限制性封存要么用于商业用途。一部分回收的二氧化碳气体可以通过注水注入附近的油田中以提高岩石孔隙度且降低流体密度而用于三次强化采油。该二氧化碳注入的结果为多孔地层中的原油分子具有更大的流动空间并能更容易地从岩层中流出。则可回收更大量的油，由此导致改善的原油产率，提高油田蕴藏量估算，并延长现存油田寿命。用二氧化碳作为用于三次强化采油的试剂，无论同时注入水蒸气还是通过其本身，在增加潜在能源方面对油市场都具有很大的经济益处。

[0116] 该二氧化碳也可单独或与输入的空气同时导入到水-无土栽种温室（hydro-aeroponic greenhouse）以增进例如蔬菜、水果及幼树的农作物的生产量。然后可使用来自发电厂的电力利用人造光将作物及农业生长季节延长至寒冷气候以助于来自发电厂的二氧化碳。该二氧化碳副产物也可用于生产乙醇、甲醇、乙烯、合成燃料及其它化学品或利用光合作用生长藻类用于生产生物柴油燃料。简而言之，由这样的解决方案，本发明具有调节并控制二氧化碳释放的能力，该解决方案含有实际上全部碳捕捉、碳再利用及碳管理的新颖方法，并从而使二氧化碳逸散至大气中降至最少，并生产一系列非常有价值的碳衍生的副产物。

[0117] 氢气 330、166 为碱金属（钾）氯化物原料电解的额外产物。该氢气的一部分经由与氧反应用于过氧化氢（H_2O_2）的生产，该过氧化氢作为化学试剂将一氧化氮氧化为二氧化氮以促进二氧化氮去除并且伴随着使元素汞与氯气化合而变成氯化汞。该氢气的其它部分用于与氯气反应而生产氢氯酸（HCl），该氢氯酸用于从来自煤的灰提取物中提取铝及其它有价值的金属。另一部分由电解所生产的氢气通过与乙醇反应消耗掉而形成乙烯气体（C_2H_4），该乙烯气体接着与一部分氯气结合以生产作为聚氯乙烯塑料生产的构造单元的 1，2-二氯乙烷（$C_2H_4Cl_2$）中间体。再者，可能的话，任何其它未使用的氢气都可接着以未来运输燃料的形式在厂外出售或作为任何附近炼油厂的裂解及转化化学试剂或用于其它用途，例如运输燃料。

[0118] 用于生产其它副产物的替代性碱金属试剂

[0119] 可能有某些情形下该氯化钾供应可能无法轻易取得，或从本发明实行所产生的钾基肥料副产物可能不适合现存市场的适当数量。就此情况来看，可能有利的是使用另一种化学底物来代替氯化钾（钾盐）进行电解。钾盐的另一替代原料为使用氯化钠盐（NaCl），其生产作为工业化学品的价值较低的硫酸钠（Na_2SO_4）和硝酸钠（$NaNO_3$）。

[0120] 有时候为了调整或节约的缘故，需要在较低成本下的高二氧化碳去除效率，那么可使用混合的钾和钠化学底物，或甚至通过较不贵且更易取得的钠基盐来代替钾基试剂物

质用于电解过程。

[0121] 在另一个替代情形中，本发明的有些气体动力学反应器可利用钾基化学品来实现硫氧化物及氮氧化物的去除，而用于去除二氧化碳的增加的气体动力学反应器阶段可利用钠基化学品。此安排需要用于不同碱金属溶液的独立的电解槽及化学回收系统，其中实现钠－及－钾基双重原料的使用。该双重化学品基安排就多种情况而言增加本发明操作的灵活性，尤其是在现存油田中三级强化采油需要大量二氧化碳或是要符合例如“零排放”条件的未来限制标准的情形。

[0122] 图 10 中显示了实际利用钠基化学品回收系统的例子，它是通过光合作用从藻类生产生物柴油的工艺流程图。要理解的是，图 10 补充图 1a 及 1b，其中二氧化硫气体动力学反应器 72 及氮氧化物气体动力学反应器 85、88 是利用碳酸钠－氢氧化钠试剂溶液来操作。具体参照图 10，来自第一气体动力学反应器 30 及气体聚结器 32 的烟道气流 10 经由管道 68 进入第二气体动力学反应器 72 并穿过气体聚结器 76，该气体聚结器 76 将液体部分 78 与气体部分分离开，其中液体部分 78 包含碳酸氢钠及碳酸钠溶液以及来自硫氧化物的亚硫酸盐及硫酸盐组分，而气体部分包含二氧化碳、一氧化碳、氮氧化物、空气和水蒸气。

[0123] 在管道 84 中，来自该气体聚结器 76 的其余烟道气接着持续向前并穿过第三和第四氮氧化物气体动力学反应器 85、88 及气体聚结器 90，该气体聚结器 90 将排放气流的液体及气体组分分离开。包含碳酸钠和碳酸氢钠以及亚硝酸盐和硝酸盐组分的液体组分经由管线 92 被送至氮氧化物化学回收混合槽 142。管道 96 中包含空气、水蒸气及痕量难以捕捉的碳氧化物（若有的话主要为二氧化碳）的排放气体，作为基本清洁的空气导引至烟道 98。

[0124] 在图 10 中，被要求作为补给化学品的氢氧化钠通过电解槽 322 中的盐溶液的电解作用而产生。盐 (NaCl)324 及水 326 与电力 327 一起输入该电解槽 322。结果，电解槽 322 生产氢氧化钠 328、氢气 330 及氯气 332。该氢氧化钠 328 被传送至混合槽 140、142，而氢气 330 及氯气 332 可用于此过程如本文先前描述的其它地方或以副产物的形式出售。接着该氢氧化钠作为补给化学品用于从该烟道气流去除二氧化硫及二氧化氮。

[0125] 用过的试剂液体 334 可各自从硫氧化物及氮氧化物化学回收系统的混合槽 140、142 再循环至混合槽 336 内，在那里它与额外的盐水溶液 338 混合。该盐水溶液 338 可由任何便利的来源提供，例如盐 324 与水 326 在槽 340 中的直接混合物或含盐的水 342 的局部供应。来自油田的液体流出废盐水 344 也可在油－水浮法分离单元 346 中处理以从该盐水 344 去除油之后用作盐水溶液的替代来源。所回收的油然后可回收再利用，而清洁后的眼水则用来通过光合作用生产藻类以使得它可以制成生物柴油燃料。

[0126] 包含碳酸钠与碳酸氢钠及氯化钠的溶液 348 用作藻塘 350 的主要原料。为了促使该池塘 350 中的藻类快速生长，硫酸钠和硝酸钠（二者皆作为本发明的方法的副产物而产生）直接加至该池塘中或，如果希望的话，加至混合槽 336 中。此外，可加入适当的种子生物 352，例如酵母乳或酵母菌，以促使藻类生长。最后，磷酸 (H_3PO_4)354 可加入该池塘 350 中。该磷酸 354 几乎无法在本发明的方法内取得，因此，必须从商业或其它来源提供。

[0127] 该池塘 350 内，施加日光或人造光 356 将导致光合反应，其消耗二氧化碳并生产藻类且释放氧 358。来自该池塘 350 的过量水 360 可再循环至混合槽 336 或再利用于其它地方 111。一部分藻类固体可经由管线 363 再循环至该藻塘 350 以促使藻类更迅速地生长。其余部分的藻类固体 362 可送至生物柴油提炼单元 364 以生产生物柴油 366，一种有价值的

运输燃料。该生物柴油提炼过程为本领域中众所周知的并在此不需详加描述。

[0128] 可通过光合反应生产藻类以生成氧气或氢气及藻类固体。对于包括硫酸盐化合物形式的硫以及硝酸盐、磷酸盐及其它养分在内的液体进料流来说，该光合反应将在日光存在下由二氧化碳与水的反应生产藻类细胞加上氧气。对于含有硝酸盐、磷酸盐及其它养分加上有机废物的液体进料流来说，当硫化合物不存在时在日光存在下该光合反应可生产藻类细胞加上氢气而不是氧气。

[0129] 碳捕捉和生产甲醇、乙醇、生物燃料、乙烯和它们的衍生物

[0130] 要明白的是，根据本发明当通过藻类生产来补充时，几乎所有由发电厂中或其它工业过程的烃燃料燃烧所产生的二氧化碳皆被捕捉或消耗掉以变成有价值的商业副产物，并且不能够逸散至环境中，除非是难以捕捉的痕量物。从该烟道气捕捉到的二氧化碳也可经由与氢气的反应转化为乙醇、甲醇或乙烯，所述氢气来自氯化钾（或氯化钠）向氢氧化钾（或氢氧化钠）的电解作用，该氢氧化钾（或氢氧化钠）作为来自发电厂或工业工厂烟道气流的二氧化硫、二氧化氮及二氧化碳的吸收溶液。结果是，该二氧化碳的几乎全部余量都可转化为有用的副产物化学品（甲醇、乙醇、乙烯及所有它们的衍生物），这些有用的副产物化学品可作为工业化学品原料或运输燃料。简而言之，本发明如下描述了一种从捕捉到的烟道气生产烃燃料及衍生化学品的新颖途径，所述捕捉到的烟道气包含二氧化碳、有机物、氢气或氯气，该衍生化学品作为由石化工业所供应的原料化学品的直接替代物。本发明此种独特的方法仅通过应用利用分子表面化学的气体动力学科学及传统化学才能达到，它们的给合至今尚无人知道或实现过。

[0131] 参照图 1a、1b 和 11，由二氧化硫及二氧化氮化学回收系统 123 及 141 从发电厂或工业工厂的烟道气流收集二氧化碳气体。将来自水蒸气冷凝器 154 的合并的二氧化碳气流 155 引至变换转化反应器 368 的入口，在那里来自电解槽 120 的氢气 166 与水蒸气 128 一起反应以在根据下列化学反应的合成中生成一氧化碳和水蒸气：

[0132] $CO_2+H_2 \rightarrow CO+H_2O$

[0133] 包含一氧化碳的合成气 370 可接着通过氧化铬 - 氧化锌催化剂 372 与氢气 166 反应以根据下列化学反应生产液体甲醇 374：

[0134]

$$CO + 2H_2 \xrightarrow{CrO,\ ZnO\ (\text{触媒})} CH_3OH \quad (\text{甲醇})$$

[0135] 由此所生产的甲醇 374 可接着直接作为工业化学品或通过加热单元或裂解炉 376 以通过用水蒸气或气体 128 以及氢气 166（为保持还原环境）加热而根据下列化学反应生产乙烯气体 378：

[0136]

$$2CH_3OH \xrightarrow{\text{热}} C_2H_4 + 2H_2O \quad (\text{乙烯})$$

[0137] 该乙烯气体 378（其可由甲醇产生）可接着与来自电解槽 120 的氯气 168 反应以根据下列化学反应在反应器单元 176 中生产 1,2- 二氯乙烷 177：

[0138] $C_2H_4+Cl_2 \rightarrow C_2H_4Cl_2$ （1,2- 二氯乙烷）

[0139] 该1,2-二氯乙烷(EDC)177可接着与额外的乙烯气体121反应以生产氯乙烯单体179,然后进一步与额外的乙烯气体121反应以生产聚氯乙烯塑料(PVC)180,而未使用的或过剩的乙烯气体可送到其它地方且也可用于生产其它石油化学品。乙烯121、378也可与水111及氢气166(以维持还原环境)在乙醇合成反应器380中反应以根据下列化学反应生产乙醇液体382,该乙醇液体可接着用于生产化学品或作为运输燃料源:

[0140] $C_2H_4+H_2O \rightarrow C_2H_5OH$ (乙醇)

[0141] 此外,甲醇或乙醇可直接转化为生物燃料(及燃料原料,例如生产汽油384的组分),并可经由通过催化剂386,例如沸石,而获得帮助。

[0142] 从热的燃烧气体(烟道气)生产空气

[0143] 如截至此处的发明内容所证实的,本发明的方法先分离可能存在于气体动力学反应器的热的燃烧气体中的这些金属(硒以外)及微粒,并分离它们以便尽可能最经济地回收或处理。然后,该方法去除硒(若存在的话)以供回收或处理以及呈固体碱金属硫酸盐形式的硫氧化物连同一部分以纯气体形态从碱金属碳酸氢盐的分解中释放出来(并被回收且再利用)的二氧化碳。最后,此方法去除呈固体碱金属硝酸盐形式的氮氧化物连同一部分以纯气体形态从碱金属碳酸氢盐的分解中释放出来(并被回收且再利用)的二氧化碳。

[0144] 从该燃烧气体中去除金属、微粒、硫氧化物、氮氧化物及二氧化碳之后,该排出气体包含氧气、氮气、水蒸气及,可能的话,痕量的其它难以捕捉的组分。因为该组合物基本上为空气(如普通及普遍了解的),所以本发明的方法可被恰当地定义为从燃烧气体中生产空气的方法。简而言之,本发明的方法从肮脏的烟道气生产清洁的空气。

[0145] 使二氧化碳回收及生产最大化的方法

[0146] 尽管截至此处本发明的方法已经描述到其应用于烃燃料锅炉,例如用于发电或工业过程共生工厂或海运锅炉及涡轮引擎操作,但是利用一些修改,其也可应用于使二氧化碳回收及生产最大化,例如用于都市或工业焚化厂,或用于石油精炼过程废气,或用于农业发酵及过程排放气体(例如碳封存),导致全面性的烟道气再捕捉及管理。现在参照图12a及12b,它们显示了图1a及1b所显示的流程图的重新排列及修改。为求清晰及一致性,在两组图形中执行相同或类似功能的零件将通过在图12a及12b中后缀为"A"的相同的标志来识别。

[0147] 在图12a中,将固体废弃物400供给到该锅炉12A,并且如果希望的话,供入辅助燃料402,例如天然气、油或粉末状煤及空气19A。当然,在许多过程中不需要使用该固体废弃物。热的烟道气10A通过预热器13A、管道26A、节热器15A及初级收集装置28A。向采用紫外光20A的光解单元14A中供入空气19A、水17A、过氧化氢18A及氯气与二氧化氯56A并生产羟基、氢过氧基、氯基及氯氧基自由基,它们与经加热的空气11A一起经由管线24A传送至管道26A。分别来自锅炉12A及初级粒子收集装置28A的底灰206A及飞灰208A被传送至金属回收系统231以如图1a所示进行进一步处理。

[0148] 该热的烟道气10A通过管道38A离开该初级粒子收集装置28A并通过入口管道36A进入第一阶段气动气体清洁反应器30A。气体动力学反应器30A通过水蒸气47A、空气或气体来驱动并被供以来自管线164A的碱金属氯化物溶液,来自管线22A的羟基、氢过氧基、氯基及氯氧基自由基及经由管线56A的氯气及二氧化氯气体。在该反应器30A内,该微粒、金属及气溶胶如前文所述被包封于液滴中。该液滴在从如前文所述的气/液分离器32A

中与气流分离开并经由管线 70A 离开该气 / 液分离器 32A，而经部分清洁的气体通过管道 68A 离开该气 / 液分离器 32A 并通过入口管道 36A 进入第二阶段气动气体清洁反应器 72A。

[0149] 气体动力学反应器 72A 通过水蒸气 47A、空气或气体来驱动并经由管线 74A 被供以碱金属氢氧化物、碳酸盐 - 碳酸氢盐溶液，及经由管线 23A 被供以羟基及氢过氧基自由基。在该反应器 72A 内，烟道气 10A 中所含的二氧化硫及一些二氧化碳如前文所述包封于液体反应产物中，并将该气 / 液混合物传送至第二阶段气 / 液分离器 76A。液滴在该气 / 液分离器 76A 中如前文所述与气流分离开，并经由管线 78A 离开该气 / 液分离器 76A，而经部分清洁的气体通过管道 84A 离开该气 / 液分离器 76A 并通过入口管道 36A 进入第三阶段气动气体清洁反应器 85A。

[0150] 气体动力学反应器 85A 通过水蒸气 47A、空气或气体来驱动。如果希望的话，额外量的羟基及氢过氧基自由基可通过管线 23A 供入反应器 85A，同时该反应器经由管线 86A 被供以碱金属氢氧化物、碳酸盐 - 碳酸氢盐溶液。在该反应器 85A 内，烟道气 10A 中所含的氮氧化物及另一部分二氧化碳如前文所述作为反应产物而被包封。反应器 85A 中所形成的液滴如前文所述在气 / 液分离器 90A 从烟道气 10A 中分离出来并经由管线 92A 离开该气 / 液分离器 90A，而更全面清洁的气体通过排出管道 407 离开该气 / 液分离器 90A。

[0151] 碱金属氢氧化物、碳酸盐 - 碳酸氢盐溶液 74A 在约 7.0 至 7.5 的 pH 水平下加入反应器 72A 中，在那里它优先与二氧化硫反应，而碱金属氢氧化物、碳酸盐 - 碳酸氢盐溶液 86A 在约 9.0 至 9.5 的 pH 水平下加入反应器 85A 中，在那里它优先与氮氧化物反应。由此，二氧化硫在反应器 72A 中被捕捉，而氮氧化物在反应器 85A 中被捕捉。在每个反应器中都以碱金属碳酸盐 - 碳酸氢盐溶液的形式捕捉一部分二氧化碳。

[0152] 排出管道 407 中经更全面清洁的烟道气通过入口管道 36A 进入第四阶段气动气体清洁反应器 404。气体动力学反应器 404 的设计及操作与如前文所述的反应器 30A、72A 及 85A 类似。它通过水蒸气 47A、空气或气体来驱动并被供以碱金属氢氧化物碳酸盐 - 碳酸氢盐溶液 408。在该反应器 404 内剩余的二氧化碳以及任何痕量的二氧化硫及氮氧化物在约 10.0 至 11.0 的 pH 下作为碳酸盐 - 碳酸氢盐、亚硫酸盐和亚硝酸盐以液体的形式被捕捉并在气 / 液气体聚结分离器 406 中分离。经清洁的气体通过管道 96A 离开该气体聚结分离器 406，穿过任选的由水蒸气 128A 来加热的预热器 100A，和任选的引导式引风机 97A 并进入烟道 98A。如前文所述，处理并再利用从该烟道 98A 回收的水 108A。

[0153] 用于图 12a 及 12b 的化学品产生 - 再生系统与图 1a 及 1b 中所运用的类似。首先，在碱金属氯化物混合槽 209A 中混合碱金属氯化物盐进料溶液 115A（优选为钾盐或氯化钾）及水 17A 以形成碱金属氯化物进料溶液 164A。将该碱金属氯化物溶液 164A 的一部分引至碱金属氯化物电解槽 120A，在那里生成碱金属氢氧化物 138A 以及氢气 166A 及氯气 168A。如图 1a 及 1b 所示，使用氢气 166A 及氯气 168A，连同来自空气分离设备 171 的氧气，以生成该工艺的不同点所需的过氧化氢 18A、氢氯酸 175A 和二氧化氯 16A 及 56A。

[0154] 该碱金属氯化物溶液 164A 被传送至反应器 30A，而使来自气 / 液气体聚结分离器 32A 的用过的液体 70A 返回图 1a 所示的金属回收 - 再生系统 34。

[0155] 碱金属氢氧化物溶液 138A 亦被传送至混合槽 410、412 及 414。包含该碱金属氢氧化物以及碱金属亚硫酸盐、亚硝酸盐及碳酸盐 - 碳酸氢盐的再循环溶液 74A 从混合槽 412 循环至反应器 72A，而使用过的溶液在通过该过滤器 418 之后返回混合槽 412。通过管线

416 抽出该混合槽 412 中的一部分溶液并随后使其通过热脱二氧化碳器 420、氧化器 422 及蒸发器 - 结晶器 426。将液体流出物 428 再循环至混合槽 412，而采用抽出物流 429 来使惰性固体的浓度最小化。在该热脱二氧化碳器 420 中，使用水蒸气 128A 来将碳酸氢盐分解为碳酸盐并释出饱和的二氧化碳气体 430。如图 12b 所示，该饱和的二氧化碳气体 430 可经由使冷凝器 462 中所含的水冷凝而纯化。在氧化反应器 422 中，使用过氧化氢 146A 将该碱金属亚硫酸盐及亚硝酸盐转化为碱金属硫酸盐和硝酸盐。之后，用水蒸气 128A 蒸发该溶液并在蒸发器 - 结晶器 426 中结晶。该蒸发器 - 结晶器 426 的输出物为碱金属硫酸盐晶体 432，如图 1b 所示，其可被干燥，包装并作为肥料出售。

[0156] 被传送至混合槽 410 的碱金属氢氧化物 138A 以物流 86A 的形式进料至反应器 85A，同时使来自气 / 液气体聚结分离器 90A 的用过的溶液在通过过滤器 450 之后经由管线 92A 返回至混合槽 410。在混合槽 410 中的一部分溶液通过管线 452 被抽出，然后继续通过氧化器 454、热脱二氧化碳器 456、冷却器 458 及蒸发器 - 结晶器 460。将水蒸气 128A 供应至该热脱二氧化碳器 456 以释放饱和的二氧化碳气体 430。将过氧化氢 146A 供应至氧化器 454 并将水蒸气 128A 供应至蒸发器 - 结晶器 460 以生产碱金属硝酸盐晶体 434，如图 1b 所示，其可被干燥，包装并作为肥料出售。使来自该蒸发器 - 结晶器 460 的流出液流经由管线 464 返回混合槽 410，同时通过抽出物流 466 移出惰性固体以避免不想要的累积。

[0157] 被传送至混合槽 414 的碱金属氢氧化物 138A 以物流 408 的形式进料至反应器 404，同时使来自气 / 液气体聚结分离器 406 的用过的溶液经由返回管线 436 及过滤器 440 返回该混合槽 414。混合槽 414 中的一部分溶液通过管线 438 被抽出，通过供以氢氯酸 175A 的酸化反应器 470 并从那里到热脱二氧化碳器 442，在那里它被水蒸气 128A 加热以释放出饱和的二氧化碳气体 430。将氢氯酸 175A 加入该酸化反应器 470 中以与由管线 438 所供入的碱金属碳酸盐 - 碳酸氢盐溶液反应以便有利于耗费较稳定的碳酸根离子而生成化学上较不稳定的碳酸氢根离子，所以会发生从液相优先释放二氧化碳气体。饱和的二氧化碳气体 430 可通过在冷凝器 462 中冷凝而纯化。将流出液流 446 再循环至混合槽 414 同时采用抽出物流 448 使惰性固体的浓度最小化。

[0158] 应理解的是，图 12a 及 12b 所示的系统为本发明的综合碳管理系统应用于控制工业过程产生污染的问题的另一个例子。具体地，来自本发明的经纯化的二氧化碳可用于如图 10 及 11 所示生产燃料、在油田中三级采油及作为商业的终端产物。

[0159] 用于燃烧高钠烃燃料，例如褐煤及其它低级煤的解决方案

[0160] 高钠含量煤，例如来自北达科塔、德州及其它地区的褐煤的燃烧由于灰分残留物中有增加的钠浓度存在，将会造成相当多的操作问题。利用褐煤时灰分中具有增加的钠浓度会造成的操作问题可包括锅炉积垢及阻塞，或具有降低的热效率的传热表面不想要的涂层。此外，由于与煤中的高钠浓度有关的过低灰分阻力水平（滑溜性），所以会有经由溜过普通用于微粒收集的静电沉淀器或布袋室过滤器而逃过捕捉的精细粒子留存物。结果，经常难以在传统燃烧设备中适当地且有效地燃烧褐煤及其它具有高钠含量的煤。

[0161] 传统的褐煤燃烧通过粉末点火进行，其中将该煤磨成精细粒子并通过悬浮于空气流中燃烧。结果为存在该灰分中的钠最初在该煤中的有机材料燃烧时熔融，接着再次冷凝并固化为精细的气体动力学粒子，该粒子被夹带于该烟道气内，而后继无可避免地沉积在锅炉管道或传热表面上。部分熔融的钠灰粒子会接着沉积且贴在表面上以致附着或粘牢于

表面或其它粒子上，并难以通过传统吹灰操作去除。此外，此精细的钠灰粒子会轻易地沉积在并衬着到静电沉淀器的收集板上，然后由于其低阻力水平而再夹带于该气流中，接着以气体动力学的方式作为可见的烟逸散至大气中。

[0162] 缓和上述此褐煤灰分中具有的高钠含量的问题的一种方法是在锅炉中使用气旋点火代替粉末点火。在气旋点火的情形中，将该煤炭磨成小但不精细的粒子并在进入主第二燃烧室之前利用空气在初级圆柱管中燃烧，而不是被磨成精细粉末悬浮物并利用空气直接注入该主燃烧室中。该二步气旋点火过程允许高挥发性煤在燃烧之前被蒸发并使该煤中的高钠含量在燃烧之前预先熔融。因此，气旋点火允许该挥发性气体及蒸气首先且迅速地被燃烧，伴随着高热量释放至该初级燃烧管内，同时固定碳的较慢燃烧主要发生于第二燃烧室内。该燃烧管中的高热量释放速率将熔融钠及其煤灰物质。因此，为了较易去除及后继回收，熔融的排出物可由该锅炉底部以液体熔渣的形式去除，而不是被夹带至如利用粉末煤点火的排出烟道气内。

[0163] 气旋点火能以最低的操作难度通过在有限的圆柱管中高温预燃烧伴随离心空气混合而有效地燃烧具有高钠灰分含量的高挥发性褐煤。气旋点火能迅速燃烧该褐煤中的挥发性轻质有机化合物同时将水分迅速蒸发为水蒸气并使该灰分熔融为熔化的液流而从该锅炉底部予以去除。结果，进入下游粒子收集装置的烟道气流中的飞灰留存物明显减少，从而降低其总体工作量及维护。

[0164] 然而，与该初级燃烧管中的褐煤气旋点火相关的高温也会造成显著量的氮氧化物的产生，其比同等的粉末煤点火的排放量大许多。这些与褐煤及其它低级煤的传统气旋点火相关的固有的较高氮氧化物排放导致其几乎被当局宣布为不合法以视为环境保护一部分抑制氮氧化物污染产生。另一方面，本发明用于氮氧化物消除的革新方法能使气旋点火成为用于燃烧高钠及高挥发物含量褐煤及其它低级煤且伴随最少操作问题的适合且理想的技术。本发明有效地去除且消除先前所排放的氮氧化物污染，并且它有效地将它们转化为可用的硝酸钾肥料副产物，其量之大接近于几乎完全回收可取得的氮化合物。后续应该没有从烟道排放的可检测到的有害 NO_x。因此，它是使用已知的气旋点火方法并使其优于传统粉末煤炭点火的一种新颖并补充性的解决方案。

[0165] 已经运用的术语及措辞被用作描述的术语而非限制性的，并在使用此等术语及措辞时并无意排除任何所显示且描述的特征的等效物或它们的一部分，并且要承认，不同的修改可能落在本发明所要求保护的范围以内。

[0166] 尽管并不想受到任何理论的束缚，但还是在附录 2 中提供所涉及的化学反应。

[0167] 附录 1

[0168] 附图标记

[0169] 4 加至锅炉的煤燃料

[0170] 6 液体紫外光光解段

[0171] 8 气态紫外光光解段

[0172] 9 氯基及氯氧基自由基

[0173] 10 热的烟道气流

[0174] 11 进料至自由基混合室的空气管道

[0175] 12 锅炉（以煤为燃料）

[0176] 13 空气预热器交换器

[0177] 14 紫外光光解单元

[0178] 15 节热器热交换器

[0179] 16 二氧化氯气流

[0180] 17 水液流

[0181] 18 过氧化氢液流

[0182] 19 周围的空气源

[0183] 20 紫外光

[0184] 22 至第一阶段 ADGC 反应器的氯基、氯氧基、羟基及氢过氧自由基进料管线

[0185] 23 至后面阶段的 ADGC 反应器的羟基及氢过氧自由基进料管线

[0186] 24 含有与来自光解单元的自由基流混合的热空气的管道

[0187] 26 锅炉排出管道

[0188] 28 初级粒子收集装置（通常称为 ESP）

[0189] 30 第一阶段气动气体清洁 (ADGC) 反应器（或金属清洁 ADGC 反应器）

[0190] 31 金属分离预过滤器

[0191] 32 第一气体聚结器分离器

[0192] 33 活性炭吸附器

[0193] 34 金属分离及回收 / 再生处理单元

[0194] 35 金属分离单元流出液

[0195] 36 气动气体清洁反应器入口管道

[0196] 37 化学沉淀单元

[0197] 38 粒子收集装置排出管道

[0198] 39 多阶段离心分离器

[0199] 40 混合 / 反应室

[0200] 42 亚音速喷嘴

[0201] 43 与超音速喷嘴相连的集管

[0202] 44 超音速喷嘴

[0203] 45 用于超音速喷嘴的喷雾喷嘴

[0204] 46 超音速自由射流

[0205] 47 用于 ADGC 反应器的物流 / 空气喷射驱动介质

[0206] 48 亚音速喷嘴喉部

[0207] 49 与亚音速喷嘴相连的集管

[0208] 50 亚音速自由射流

[0209] 51 用于亚音速喷嘴的喷雾喷嘴

[0210] 52 混合 / 反应室渐减或收敛截面段

[0211] 54 喷嘴孔口

[0212] 56 氯气及二氧化氯入口管线

[0213] 58 用于金属反应器的碱金属氯化物进入管线

[0214] 60 至气体聚结器的弯头连接器

[0215] 62 气体聚结器截面渐增段部分

[0216] 64 气体聚结器固定或均匀截面段部分

[0217] 66 气体动力学流体分离装置

[0218] 67 气体动力学流动分离装置（不同形状）

[0219] 68 第一气体聚结器排出管道

[0220] 69 位于气体聚结器的排出管道处的风机（任选的）

[0221] 70 第一气体聚结器液体排出管线

[0222] 72 第二气体动力学气体清洁 (ADGC) 反应器（或硫氧化物 ADGC 反应器）

[0223] 74 用于再循环溶液的碱金属氢氧化物碳酸盐 - 碳酸氢盐进料管线

[0224] 76 第二气体聚结器

[0225] 78 第二气体聚结器液体去除管线

[0226] 84 第二气体聚结器排出管道

[0227] 85 第三气体动力学气体清洁 (ADGC) 反应器（或第一氮氧化物 ADGC 反应器）

[0228] 86 用于再循环溶液的碱金属氢氧化物 - 碳酸盐 - 碳酸氢盐进料管线

[0229] 88 第四气体动力学气体清洁 (ADGC) 反应器（或第二氮氧化物 ADGC 反应器）

[0230] 90 第三气体聚结器

[0231] 92 第三气体聚结器液体去除管线

[0232] 93 固体预过滤器单元

[0233] 96 第三气体聚结器排出管道

[0234] 97 位于所有气体聚结器之后的下游管线的引导式引风机

[0235] 98 出口排放烟道

[0236] 100 出口烟道气体预热器

[0237] 102 出口烟道气除雾器（任选的）

[0238] 104 出口烟道气冷凝器（任选的）

[0239] 106 除雾器供水管线（任选的）

[0240] 108 烟道气体除水管线

[0241] 109 二氧化碳冷凝器液体管线

[0242] 110 冷凝水处理设备

[0243] 111 经处理的水去除管线

[0244] 112 灰流流酸性提取单元

[0245] 113CO_2 及 H_2O 冷凝器水及烟道气体水管线（流到水处理设备的入口物流）

[0246] 114 灰流碱性提取单元

[0247] 115 碱金属（钾盐）盐进料溶液

[0248] 116 金属 - 固体回收系统

[0249] 117 乙醇发酵单元

[0250] 118 再生的碱金属氯化物进料物流

[0251] 119 乙醇液流

[0252] 120 碱金属（钾）氯化物电解槽

[0253] 121 乙烯气流

[0254] 122 碱金属（钾）氯化物溶液混合槽（备用槽 / 储存 - 任选的）

[0255] 123 硫氧化物化学回收系统

[0256] 124 硫氧化物热脱二氧化碳单元

[0257] 125 空气供应管线

[0258] 126 硫氧化物 / 亚硫酸盐 / 硫酸盐氧化单元

[0259] 127 硫溶液的二氧化碳气体放空管线

[0260] 128 水蒸气加热管线

[0261] 130 碱金属硫酸盐混合槽

[0262] 131 碱金属硫酸盐沉淀溶液

[0263] 132 硫酸盐蒸发结晶单元

[0264] 133 硫酸汞沉淀固体流

[0265] 134 碱金属（钾）硫酸盐

[0266] 136 碱金属碳酸盐返回溶液

[0267] 137 返回溶液抽出物流

[0268] 138 碱金属氢氧化物溶液

[0269] 139 碱金属（钾）碳酸盐进料物流

[0270] 140 来自硫反应器系统的再循环液混合槽

[0271] 141 氮氧化物化学回收系统

[0272] 142 用于来自氮反应器系统用过的液体的混合槽

[0273] 143 氮氧化物回收溶液进料管线

[0274] 144 氮氧化物 / 亚硝酸盐 / 硝酸盐氧化单元

[0275] 145 碱金属亚硝酸盐 / 硝酸盐溶液的再循环产物液体介质

[0276] 146 过氧化氢溶液，管线 18 的分支

[0277] 148 氮氧化物热脱二氧化碳单元

[0278] 149 碱金属硝酸盐脱二氧化碳再循环管线

[0279] 150 来自硫酸盐蒸发器的水蒸气排出放空管线

[0280] 151 水蒸气冷凝器

[0281] 152 来自硝酸盐脱二氧化碳单元的二氧化碳气体放空管线

[0282] 153 来自硝酸盐蒸发器的水蒸气排出管线

[0283] 154 二氧化碳冷凝器

[0284] 155 二氧化碳排出气流

[0285] 156 冷冻冷却单元

[0286] 157 水蒸气冷凝器液体冷凝物管线

[0287] 158 硝酸盐蒸发结晶单元

[0288] 159 碱金属硫酸盐脱二氧化碳再循环管线

[0289] 160 碱金属（钾）硝酸盐

[0290] 161 来自硝酸盐系统的返回碱金属碳酸盐溶液

[0291] 162 水管线

[0292] 163 工艺热输入

[0293] 164 碱金属氯化物进料溶液

[0294] 165 流出洗涤液

[0295] 166 氢气管线

[0296] 168 氯气管线

[0297] 170 乙烯裂解单元

[0298] 171 空气分离设备

[0299] 172 过氧化氢产生单元

[0300] 174 氢氯酸生产单元

[0301] 175 氢氯酸液流

[0302] 1761,2- 二氯乙烷生产单元

[0303] 1771,2- 二氯乙烷产物流

[0304] 178 氯乙烯生产单元

[0305] 179 氯乙烯单体产物流

[0306] 180 聚氯乙烯生产单元

[0307] 181 聚氯乙烯 (PVC) 产物

[0308] 184 二氧化氯生产单元

[0309] 186 硒去除系统

[0310] 188 硒去除预过滤器单元

[0311] 190 原料水或碱金属氯化物溶液

[0312] 192 经过滤的用过的试剂溶液

[0313] 193 至金属分离处理单元 34 的用过的液体进料管线

[0314] 194 来自氮化合物再循环洗涤溶液的用过的液体

[0315] 195 金属预过滤器再循环洗涤溶液与金属气体聚结器液体流出物的合并物流

[0316] 196 脱硫化学回收溶液

[0317] 198 硒离子交换除矿物质床

[0318] 199 清洁并再生的离子交换除矿物质树脂

[0319] 200 液体旁路物流

[0320] 201 额外的离子交换除矿物质步骤

[0321] 202 硒回收步骤

[0322] 203 离子交换再生剂溶液

[0323] 204 硒溶液

[0324] 205 从硒离子交换步骤 198 至混合槽 140 的排放管线

[0325] 206 底灰物流

[0326] 208 飞灰流

[0327] 209 碱金属（钾）溶液混合槽

[0328] 210 未回收的飞灰

[0329] 212 未回收的底灰

[0330] 213 返回液体清洁单元

[0331] 214 未提取的钾盐及其它液体

[0332] 215 返回液洗涤固体

[0333] 216 灰水流出物流

[0334] 217 合并的水洗涤液

[0335] 218 待处理的废弃固体

[0336] 219 灰水洗涤单元

[0337] 220 水洗涤单元

[0338] 222 回收的金属酸性提取单元

[0339] 224 回收的金属碱提取单元

[0340] 225 回收的金属碱提取液

[0341] 228 氢氯酸提取流出物

[0342] 229 硝酸提取溶液

[0343] 230 碱金属（钾）氢氧化物提取流出物

[0344] 231 灰流金属回收系统

[0345] 232 合并流金属提取系统

[0346] 233 合并的碱提取液（来自 #225 及 #230）

[0347] 234 金属氧化提取单元

[0348] 235 氧化提取液流

[0349] 236 硝酸盐提取单元

[0350] 237 硝酸盐提取排出液

[0351] 238 金属碳酸盐提取单元

[0352] 239 碳酸盐提取液流

[0353] 240 金属有机物提取单元

[0354] 241 有机物提取排出液

[0355] 242 回收的金属产物排出流

[0356] 243 返回液处理单元

[0357] 244 回收的金属储存设备

[0358] 245 硫酸钾干燥单元

[0359] 246 硫酸钾装袋单元

[0360] 247 硝酸钾干燥单元

[0361] 248 硝酸钾装袋单元

[0362] 249 氧化铝回收系统

[0363] 250 铝金属回收系统

[0364] 251 回收的氢氧化铝固体

[0365] 252 氢氧化铝干燥单元

[0366] 253 回收的氧化铝流

[0367] 255 硝酸盐提取排出溶液

[0368] 256 氧化铀回收系统

[0369] 257 氢氧化铀沉淀单元

[0370] 258 氢氧化铀排出固体

[0371] 259 至碳酸盐提取进料管线的铀回收排出液体

[0372] 260 氢氧化铀干燥单元

[0373] 261 回收的氧化铀固体

[0374] 262 氧化铝干燥器排出气体（至水蒸气冷凝器 #151）

[0375] 263 氧化铀干燥器排出气体（至水蒸气冷凝器 #151）

[0376] 264 混合氧化物干燥器排出气体（至水蒸气冷凝器 #151）

[0377] 266 延长的圆柱段

[0378] 268 端板 - 进入端

[0379] 270 端板 - 离去端

[0380] 271 螺钉

[0381] 272 反射性表面

[0382] 274 石英或玻璃本体

[0383] 276 中心空间

[0384] 278 环状空间

[0385] 280 空气泵

[0386] 282 空气管线

[0387] 284 空气喷嘴

[0388] 286H_2O_2 雾化器喷嘴

[0389] 288Cl_2&ClO_2 喷嘴

[0390] 290 水管线

[0391] 292 水旋流喷嘴

[0392] 294 紫外光灯

[0393] 296 环

[0394] 297 索环

[0395] 298UV 灯电源供应器

[0396] 300 电线

[0397] 302 自由基管线（环状）

[0398] 304 自由基管线（中心）

[0399] 306 汇合的自由基管线

[0400] 308 自由基加热器

[0401] 309 空气管道加热器

[0402] 310 氢氧化钠（硫氧化物系统）

[0403] 311 用于混合自由基及热空气的混合室

[0404] 312 碳酸及碳酸氢钠

[0405] 314 混合槽（硫氧化物系统）

[0406] 316 氢氧化钠（氮氧化物系统）

[0407] 318 碳酸钠及碳酸氢钠

[0408] 320 混合槽（氮氧化物系统）

[0409] 322 电解槽

[0410] 324 盐 (NaCl)

[0411] 326 水

[0412] 327 电力

[0413] 328 氢氧化钠

[0414] 330 氢气

[0415] 332 氯气

[0416] 334 用过的洗涤液

[0417] 336 混合槽

[0418] 338 盐水溶液

[0419] 340 槽

[0420] 342 含盐水

[0421] 344 盐水

[0422] 346 油浮法分离单元

[0423] 348 溶液

[0424] 350 藻塘

[0425] 352 种子生物

[0426] 354 磷酸

[0427] 356 日光或人造光

[0428] 358 氧气

[0429] 360 过量水

[0430] 362 藻类固体

[0431] 363 藻类固体再循环管线

[0432] 364 生物柴油或炼油单元

[0433] 366 生物柴油

[0434] 368 变换转化反应器

[0435] 370 一氧化碳

[0436] 372 甲醇合成

[0437] 374 甲醇

[0438] 376 乙烯裂解单元

[0439] 378 乙烯

[0440] 380 乙醇合成反应器

[0441] 382 乙醇

[0442] 384 汽油

[0443] 386 用于合成汽油的催化剂

[0444] 图 12a 及 12b 的附图标记

[0445] 400 固态废弃物

[0446] 402 辅助燃料

[0447] 404 第四阶段气体动力学气体清洁 (ADGC) 反应器

[0448] 406 第四阶段气体聚结器

[0449] 407 气体聚结器 90A 的排出管道

[0450] 408 碱金属氢氧化物碳酸盐 - 碳酸氢盐溶液

[0451] 410 混合槽

[0452] 412 混合槽

[0453] 414 混合槽

[0454] 416 抽出管线

[0455] 418 过滤器

[0456] 420 热脱二氧化碳器

[0457] 422 氧化器

[0458] 424 冷却器

[0459] 426 蒸发器 - 结晶器

[0460] 428 液体流出物

[0461] 429 抽出物流

[0462] 430 饱和二氧化碳气体

[0463] 432 钾（碱金属）硫酸盐

[0464] 434 钾（碱金属）硝酸盐

[0465] 436 返回管线

[0466] 438 管线

[0467] 440 过滤器

[0468] 442 热脱二氧化碳器

[0469] 446 流出液流

[0470] 448 抽出物流

[0471] 450 过滤器

[0472] 452 抽出管线

[0473] 454 氧化器

[0474] 456 热脱二氧化碳器

[0475] 458 冷却器

[0476] 460 蒸发器 - 结晶器

[0477] 462 冷凝器

[0478] 464 管线

[0479] 466 抽出物流

[0480] 468 过滤器

[0481] 470 酸化反应器

[0482] 附录 2

[0483] 工艺化学反应列表

[0484] 过氧化氢化学反应

[0485] 过氧化氢生成

[0486] H_2O_2+UV 光 -------- → $2OH^*$

[0487] $H_2O_2+OH^*$-------- → $HO_2^*+H_2O$

[0488] 氮氧化物反应

[0489] $NO+OH^{*}-------- \rightarrow HNO_2$

[0490] $NO_2+OH^{*}-------- \rightarrow HNO_3$

[0491] $NO+HO_2{}^{*}-------- \rightarrow HNO_3$

[0492] $NO+HO_2{}^{*}-------- \rightarrow NO_2+OH^{*}$

[0493] $2NO+O_2-------- \rightarrow 2NO_2$

[0494] 元素汞反应

[0495] $Hg+2OH^{*}------- \rightarrow HgO+H_2O$

[0496] $Hg+HO_2{}^{*}------ \rightarrow HgO+OH^{*}$

[0497] $Hg+2Cl^{*}-------- \rightarrow HgCl_2$

[0498] $Hg+2OCl^{*}-------- \rightarrow Hg(OCl)_2$

[0499] 过氧化氢反应

[0500] $2NO_2+H_2O-------- \rightarrow HNO_2+HNO_3$

[0501] $2NO_2+H_2O_2------- \rightarrow 2HNO_3$

[0502] $HNO_2+H_2O_2------- \rightarrow HNO_3+H_2O$

[0503] $K_2SO_3+H_2O_2------- \rightarrow K_2SO_4+H_2O$

[0504] 氯化合物化学反应

[0505] 氯气反应

[0506] $Cl_2+UV\ 光 ------ \rightarrow 2Cl^{*}$

[0507] $Cl_2+H_2O------ \rightarrow HOCl+HCl$

[0508] $Cl_2+NO+H_2O------ \rightarrow 2HCl+NO_2$

[0509] 汞化合物反应

[0510] $Hg+Cl_2------- \rightarrow HgCl_2$

[0511] $HgO+H_2O------- \rightarrow Hg(OH)_2$

[0512] $Hg(OH)_2+2HCl------ \rightarrow HgCl_2+2H_2O$

[0513] $Hg(OH)_2+2HOCl------ \rightarrow Hg(OCl)_2+2H_2O$

[0514] $Hg(OCl)_2+H_2O------ \rightarrow HgCl_2+H_2O_2$

[0515] 二氧化氯反应

[0516] $ClO_2+UV\ 光 ------ \rightarrow 2ClO*+O*$

[0517] $O_2+Cl_2+2H_2O_2------- \rightarrow 2ClO_2+2H_2O$

[0518] $NO+ClO_2+H_2O------ \rightarrow HNO_3+HCl$

[0519] $NO_2+ClO_2+H_2O------ \rightarrow HNO_3+HCl+O_2$

[0520] $Hg(OH)_2+2HOCl------- \rightarrow Hg(OCl)_2+2H_2O$

[0521] 碳和有机物反应

[0522] 一氧化碳反应

[0523] $2CO+O_2------- \rightarrow 2CO_2$

[0524] $CO+2OH*------- \rightarrow CO_2+H_2O$

[0525] $CO+HO_2*------ \rightarrow CO_2+OH*$

[0526] $CO+2HO_2*----- \rightarrow CO_2+2OH*+O*$

[0527] $2CO+O_2$------ → $2CO_2$

[0528] $CO+O*$------ → CO_2

[0529] 有机化合物反应

[0530] $[CH]+O_2$------- → CO_2+H_2O

[0531] $[CH]+OH*$------ → CO_2+H_2O

[0532] $[CH]+HO_2*$------- → $CO+OH*$

[0533] 烟道气流化学反应

[0534] 硫氧化物反应

[0535] SO_2+H_2O------- → H_2SO_3

[0536] H_2SO_3 ＝＝＝＝ $H^++HSO_3^-$ ＝＝＝＝＝ $2H++SO_3^{--2}$

[0537] $2H_2SO_3+O_2$-------- → $2H_2SO_4$

[0538] H_2SO_3+2KOH------- → $K_2SO_3+2H_2O$

[0539] H_2SO_4+2KOH------- → $K_2SO_4+2H_2O$

[0540] 氮氧化物反应

[0541] $2NO_2+H_2O$-------- → HNO_2+HNO_3

[0542] $2NO_2+H_2O_2$-------- → $2HNO_3$

[0543] $HNO_2+H_2O_2$-------- → HNO_3+H_2O

[0544] HNO_2 ＝＝＝ $H++NO_2-$ ＝＝＝ HNO_2+KOH ＝＝＝ KNO_2+H_2O

[0545] 二氧化碳反应

[0546] CO_2+H_2O-------- → H_2CO_3

[0547] H_2CO_3 ＝＝＝＝ $H^++HCO_3^-$ ＝＝＝＝ $2H^++CO_3^{--2}$

[0548] H_2CO_3+2KOH------- → $K_2CO_3+H_2O$

[0549] H_2CO_3+KOH-------- → $KHCO_3+H_2O$

[0550] 硫氧化物去除反应

[0551] H_2O+SO_2------- → H_2SO_3

[0552] H_2O+SO_3------- → H_2SO_4

[0553] H_2SO_3+2KOH------- → $K_2SO_3+H_2O$

[0554] H_2SO_3+KOH------- → $KHSO_3+H_2O$

[0555] $H_2SO_3+2K_2CO_3$------- → $K_2SO_3+H_2CO_3$

[0556] $2K_2SO_3+O_2$------- → $2K_2SO_4$

[0557] $SO_2+2KHCO_3$----- → $K_2SO_3+2CO_2+H_2O$

[0558] $SO_2+2KHCO_3+H_2O_2$-------- → $K_2SO_4+2CO_2+2H_2O$

[0559] $K_2SO_3+H_2O_2$------- → $K_2SO_4+H_2O$

[0560] $SO_2+K_2CO_3$-------- → $K_2SO_3+CO_2$

[0561] $2KHCO_3$+ 热 -------- → $K_2CO_3+CO_2+H_2O$

[0562] $KHSO_3$+ 热 -------- →发生可忽略的反应

[0563] $KHSO_3+KHCO_3$------- → $K_2SO_3+CO_2+H_2O$

[0564] $2K_2SO_3+O_2$-------- → $2K_2SO_4$

[0565] $K_2CO_3+O_2$-------- →发生可忽略的反应

[0566] 氮氧化物去除反应

[0567] H_2O+2NO_2---------- → HNO_2+HNO_3

[0568] HNO_2+KOH---------- → KNO_2+H_2O

[0569] HNO_3+KOH--------- → KNO_3+H_2O

[0570] $2KNO_2+O_2$---------- → $2KNO_3$

[0571] $KNO_2+H_2O_2$---------- → KNO_3+H_2O

[0572] $2NO+H_2O_2+2K_2CO_3$---- → $2KNO_3+2KHCO_3$

[0573] $NO+H_2O_2+K_2CO_3$---------- → $KNO_2+KNO_3+H_2O$

[0574] $2KHCO_3$+ 热 ---------- → $K_2CO_3+CO_2+H_2O$

[0575] $KHSO_3+KHCO_3$--------- → $K_2SO_3+CO_2+H_2O$

[0576] $KNO_2+H_2O_2$--------- → KNO_3+H_2O

[0577] $2HNO_2+K_2CO_3$--------- → $2KNO_2+H_2O+CO_2$

[0578] $2HNO_3+K_2CO_3$-------- → $2KNO_3+H_2O+CO_2$

[0579] 金属去除及回收反应

[0580] 金属洗涤处理反应

[0581] 金属 + 无机物 + 水 ---- →金属提取物 + 不可溶的灰

[0582] 金属 + 无机物 +HCl---- →金属氯化物 + 不可溶的灰

[0583] 金属 + 无机物 +KOH---- →金属氢氧化物 + 不可溶的灰

[0584] 金属提取化学反应

[0585] 金属 + 无机物 $+H_2O_2$---- →氧化的金属 + 不可溶的灰

[0586] 金属 + 无机物 $+K_2CO_3$---- →金属碳酸盐 + 不可溶的灰

[0587] 金属 + 无机物 $+C_2H_5OH$--- →金属有机物 + 不可溶的灰

[0588] 金属 + 无机物 +KCl------ →金属氯化物 + 不可溶的灰

[0589] 铝回收反应

[0590] Al_2O_3(固体)$+3H_2O$(液体)------ → $2Al(OH)_3$(在溶液中的沉淀物)

[0591] $2Al(OH)_3$(碱)+6HCl(酸)-------- → $2AlCl_3$(盐)$+3H_2O$(液体)

[0592] $AlCl_3$(盐)+3KOH(碱)-------- → $Al(OH)_3$(碱)+3KCl(盐)

[0593] $2Al(OH)_3$+ 热 -------- → Al_2O_3(固体)$+3H_2O$(蒸气)

[0594] 铀提取单元

[0595] $U_3O_8+H_2O_2$------ → $3UO_3+H_2O$

[0596] UO_3+6HNO_3------ → $U(NO_3)_6+3H_2O$

[0597] $U(NO_3)_6+6KOH$------ → $U(OH)_6+6HNO_3$

[0598] $U(OH)_6$+ 热 ------ → UO_3+3H_2O

[0599] 肥料干燥操作

[0600] 硫酸钾

[0601] $K_2SO_4xH_2O$(固体)+ 热 -------- → K_2SO_4(晶体)$+H_2O$(蒸气)

[0602] 硝酸钾

[0603] KNO_3xH_2O(固体)+ 热 --------- → KNO_3(晶体)$+H_2O$(蒸气)

[0604] 藻类光合作用及生物柴油生产

[0605] 盐电解作用

[0606]

$$2\ NaCl + 2\ H_2O \xrightarrow{\text{电解}} 2NaOH + H_2 + Cl_2$$

[0607] 苛性钠碳酸化

[0608] $NaOH+H_2CO_3 \longrightarrow NaHCO_3+H_2O$

[0609] $2NaOH+H_2CO_3 \longrightarrow Na_2CO_3+2H_2O$

[0610] 碳酸解离

[0611] $H_2O+CO_2 \equiv H_2CO_3 \equiv H^++HCO_3^- \equiv 2H^++CO_3^{-2}$

[0612] 藻类光合作用

[0613]

$$CO_2 + H_2O + NaNO_3 + H_3PO_4 + Na_2SO_4 \xrightarrow[\text{藻细胞}]{\text{日光}} [CHONPKS] + O_2$$

[0614] 提炼生物柴油

[0615]

$$[CHONPKS] + H_2O + H_2 \xrightarrow[\text{藻细胞}]{\text{热}} [CHONPKS] + \text{固体} + H_2O$$

生物柴油

[0616] 运输燃料生产

[0617] 一氧化碳变换反应

[0618]

$$CO_2 + C \xrightarrow{\text{热}} 2\ CO$$

[0619] $CO+H_2O \longrightarrow CO_2+H_2$

[0620] $CO_2+H_2 \longrightarrow CO+H_2O$

[0621] 甲醇生产反应

[0622]

$$CO + 2H_2 \xrightarrow[\text{催化剂+热}]{CrO,\ ZnO} CH_3OH \quad (\text{甲醇})$$

[0623]

$$2CH_3OH \xrightarrow{\text{热}} C_2H_4 + 2H_2O \quad (\text{乙烯})$$

[0624] 乙醇生产反应

[0625]

$$2\,CO + 4\,H_2 \xrightarrow[\text{催化剂+热}]{CrO,\ ZnO} C_2H_5OH + H_2O \quad (\text{乙醇})$$

[0626] $C_2H_4+H_2O \longrightarrow C_2H_5OH$ （乙醇）

[0627] 氢气产生反应

[0628]

$$2\,H_2O \xrightarrow{\text{电 解}} 2\,H_2 + O_2$$

[0629]

$$CH_4 + 2H_2O \xrightarrow[\text{热 + 水蒸气}]{} CO_2 + 4\,H_2$$

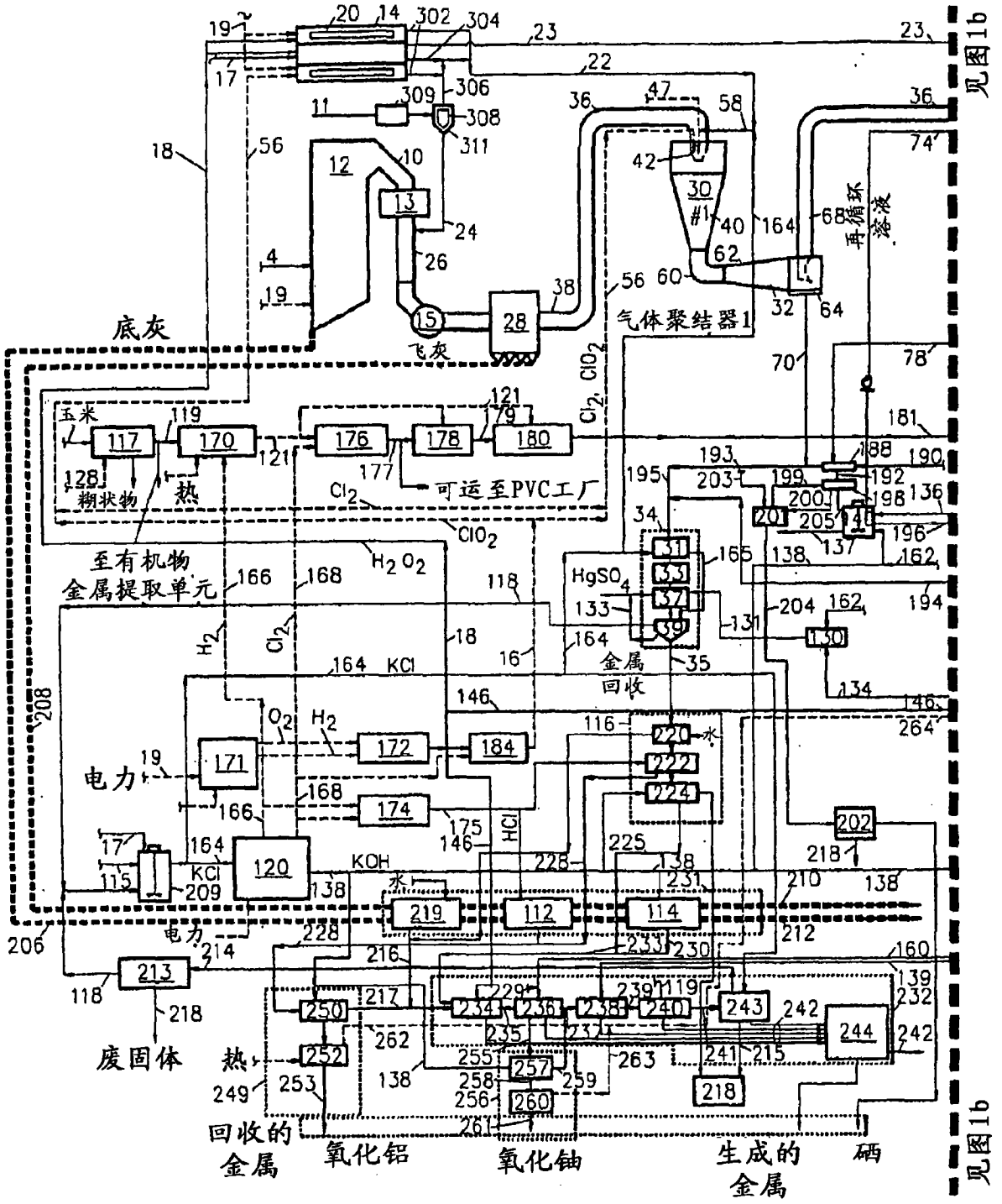

底灰
飞灰
玉米
糊状物
热
至有机物
金属提取单元
可运至PVC工厂
气体聚结器1
再循环溶液
金属
回收
电力
水
KCl
KOH
HCl
废固体
热
回收的
金属
氧化铝
氧化铀
生成的
金属
硒
见图1b
见图1b

图 1a

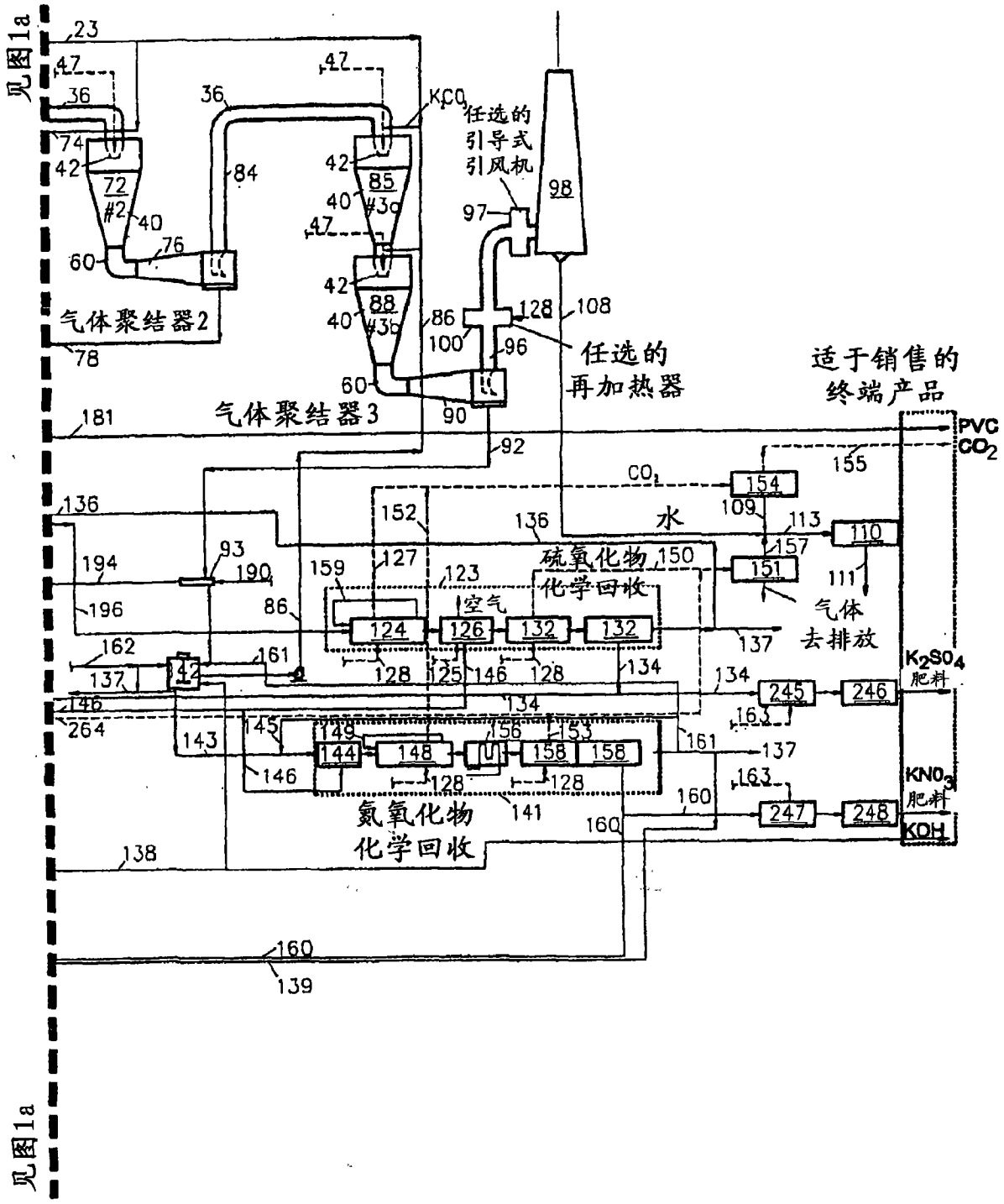

见图1a
23
47
36
74
42
72
#2
40
76
60
气体聚结器2
78
84
47
36
KCO
42
85
#3a
40
47
42
88
#3b
40
86
100
60
90
气体聚结器3
181
92
任选的
引导式
引风机
98
97
128
108
任选的
再加热器
96
适于销售的
终端产品
PVC
CO2
155
CO2
154
109
113
110
157
水
136
152
136
93
194
190
159
127
123
硫氧化物
化学回收
150
151
111
气体
去排放
196
86
空气
124
126
132
132
137
162
161
137
142
128
125
146
128
134
134
245
246
K2SO4
肥料
146
264
134
163
143
145
149
156
153
161
137
144
148
158
158
163
KNO3
肥料
KOH
146
128
128
160
160
247
248
氮氧化物
化学回收
141
138
160
139
见图1a

图 1b

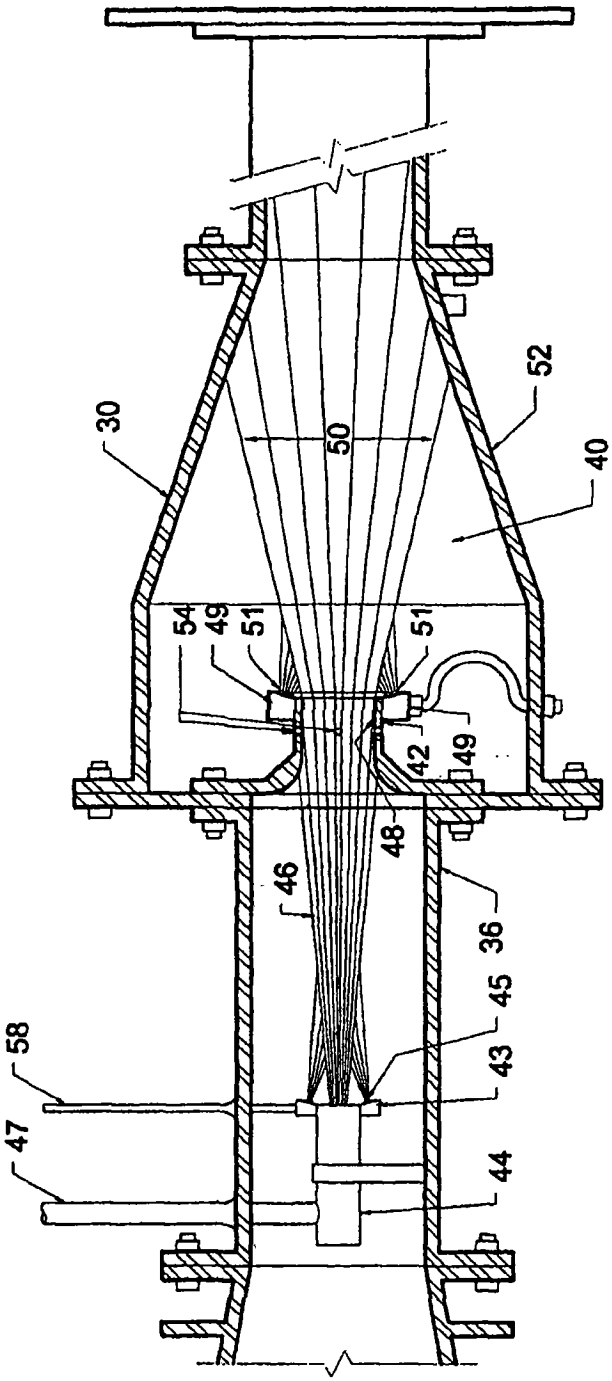


图 2

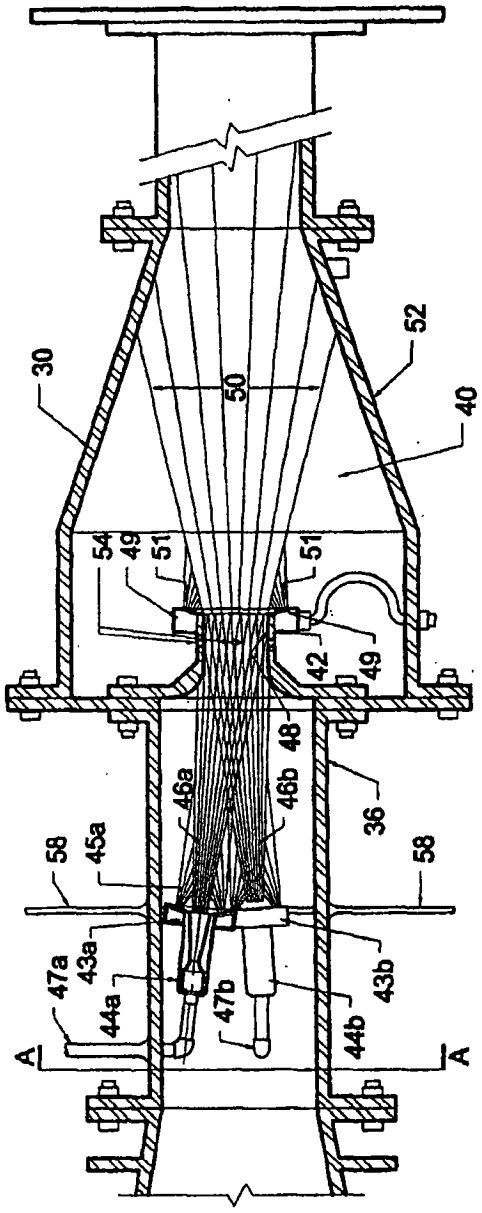
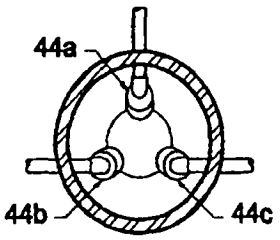

30
50
52
40
54
49
51
51
42
49
48
46a
46b
36
58
45a
58
47a
43a
44a
47b
43b
44b
A
A

图 3


44a
44b
44c

截面A-A

图 4

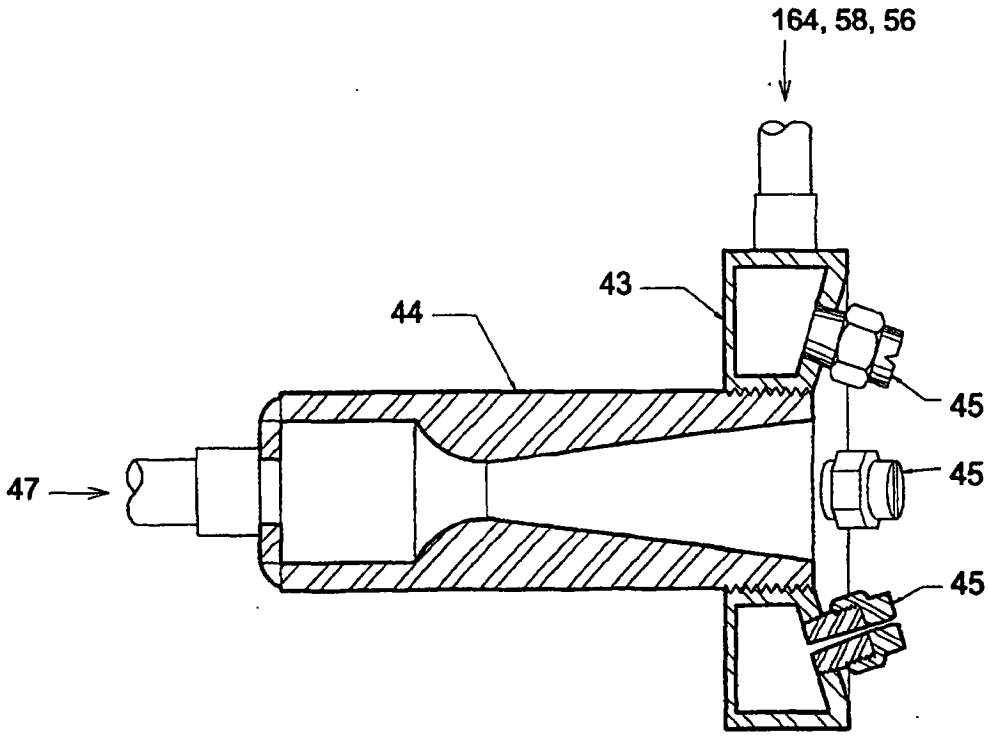


图 5

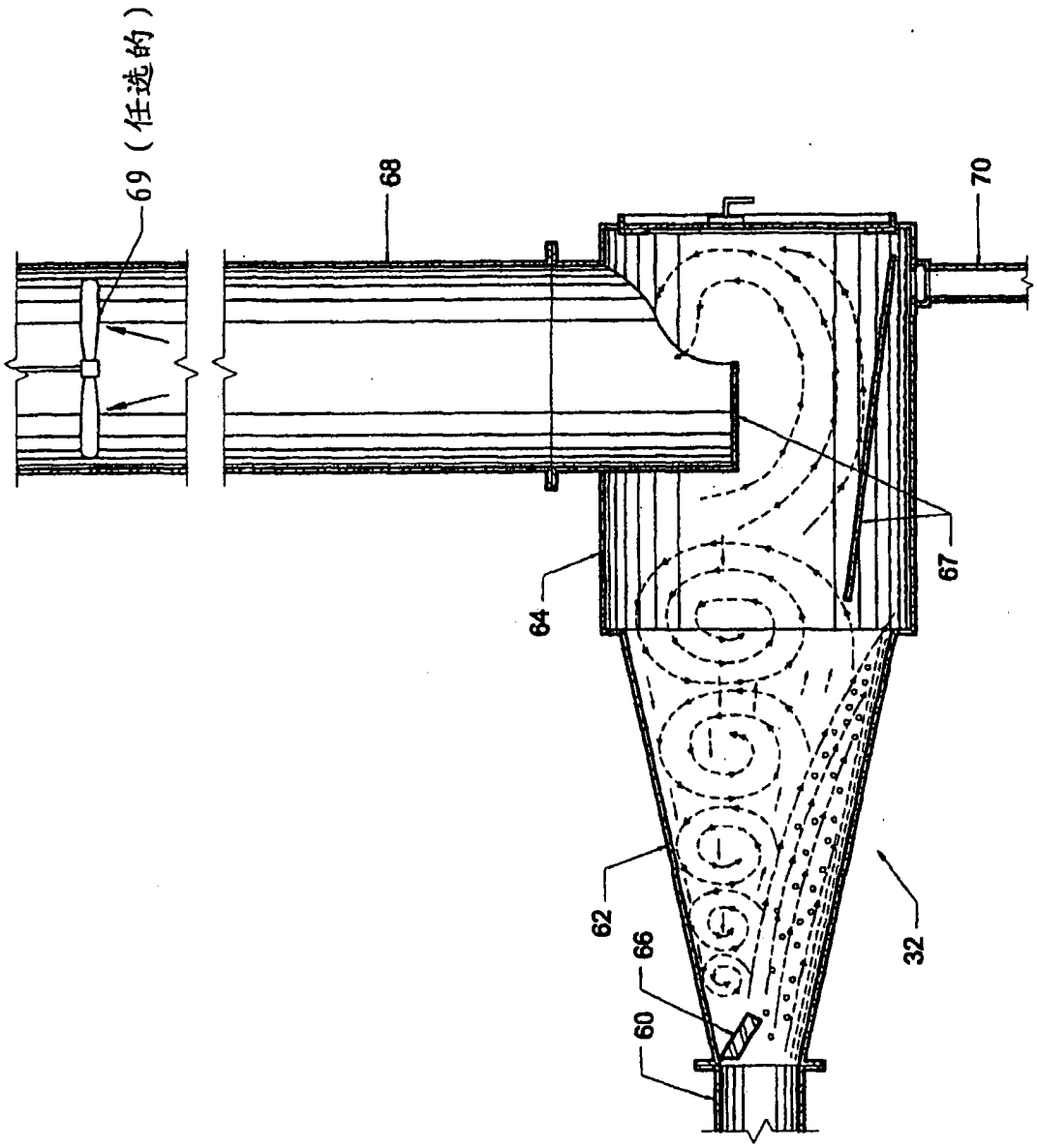


图 6

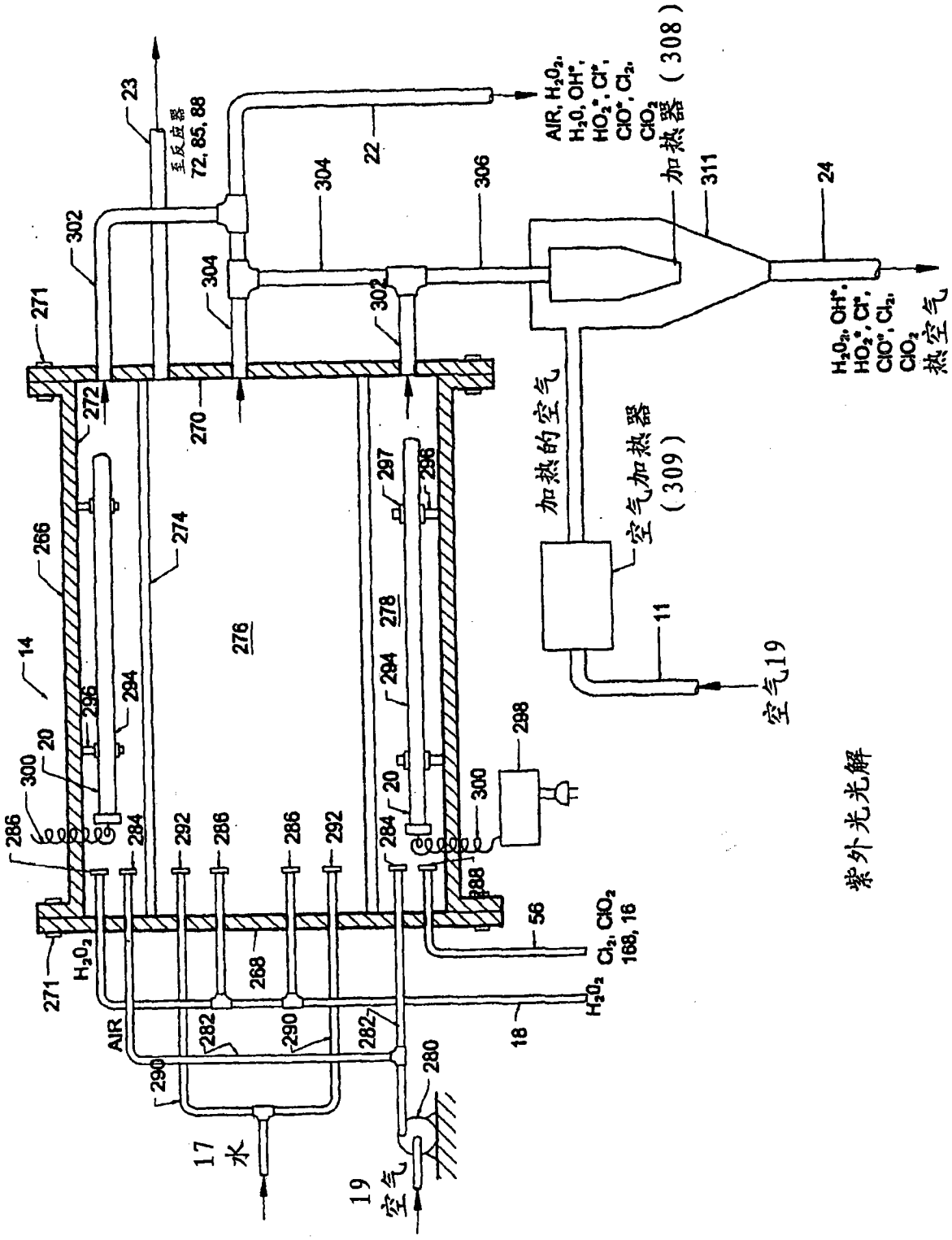

至反应器 72, 85, 88
23
22
AIR, H_2O_2, H_2O, OH•; HO_2•; Cl•; ClO•; Cl_2, ClO_2
加热器 (308)
311
24
H_2O_2, OH•; HO_2•, Cl•; ClO•, Cl_2, ClO_2 热空气
304
306
302
271
272
270
274
276
278
266
14
加热的空气
空气加热器 (309)
11
空气 19
紫外光光解
297
296
294
298
300
20
286
284
292
288
56
Cl_2, ClO_2 168, 16
H_2O_2
268
282
290
280
AIR
18
17 水
19 空气

图 7

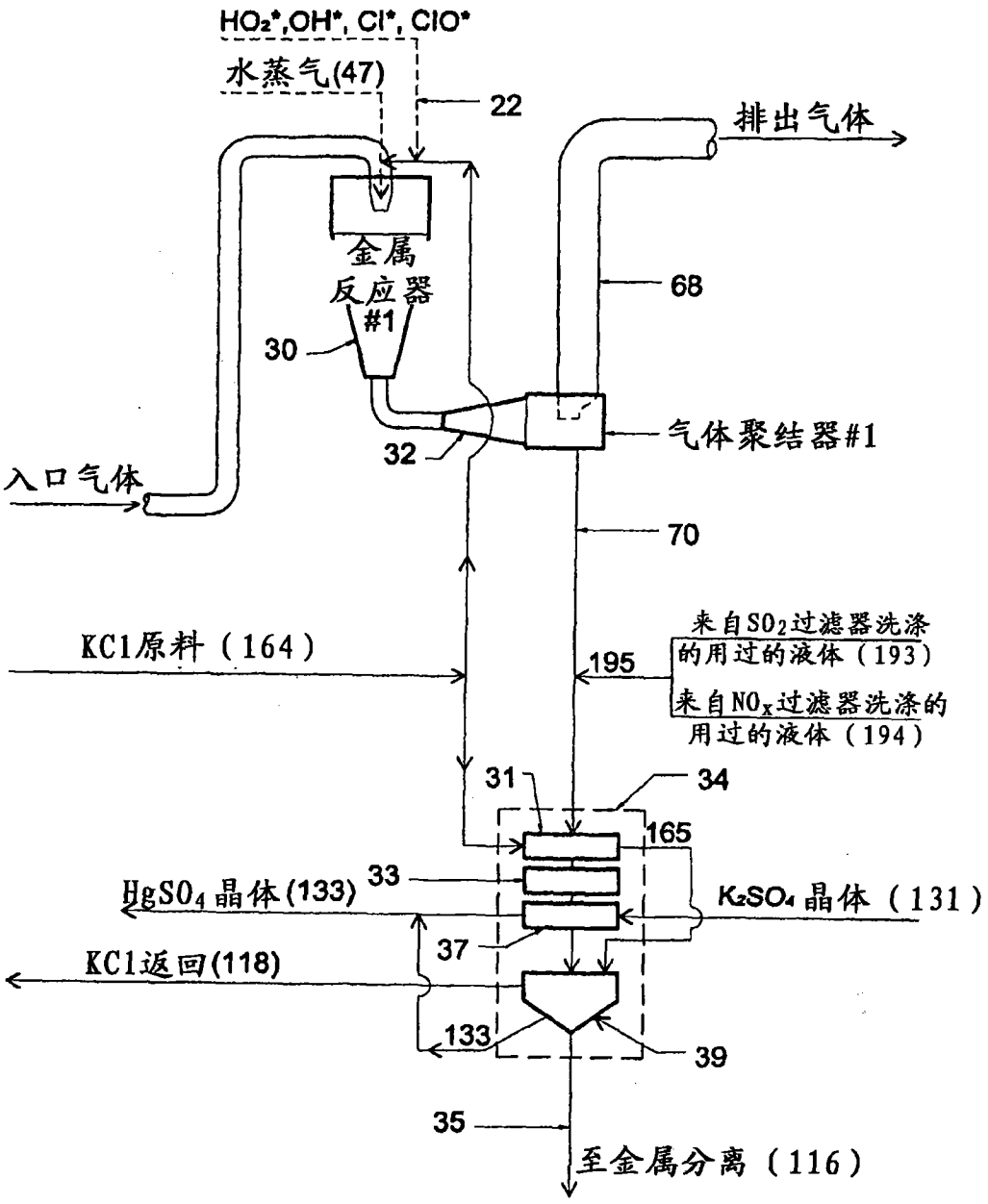

HO2*,OH*, Cl*, ClO*
水蒸气(47)
22
排出气体
金属
反应器
#1
68
30
气体聚结器#1
32
入口气体
70
KCl原料（164）
来自SO2过滤器洗涤
的用过的液体（193）
195
来自NOx过滤器洗涤的
用过的液体（194）
31
34
165
HgSO4晶体(133)
33
K2SO4晶体（131）
37
KCl返回(118)
133
39
35
至金属分离（116）

图 8

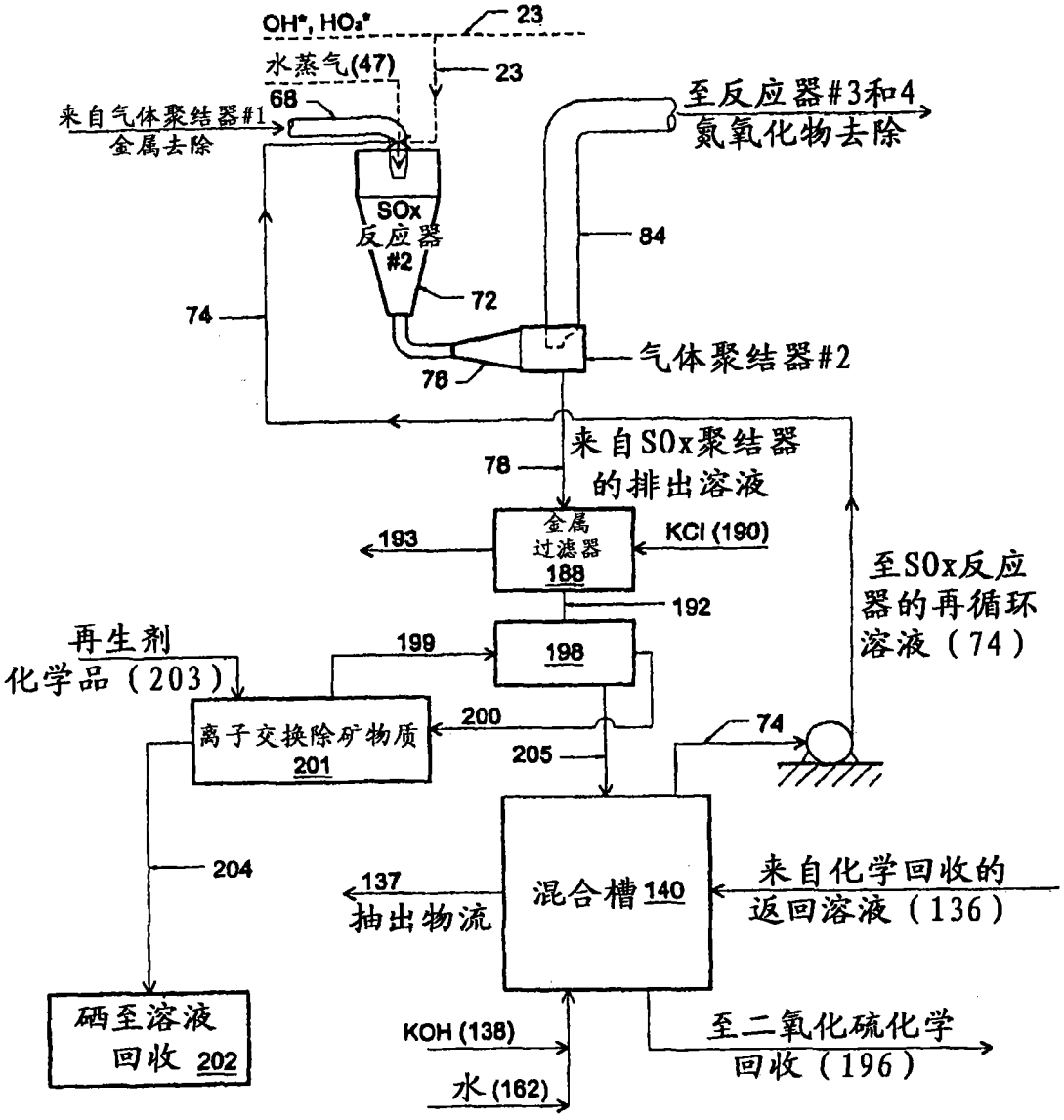

OH*, HO2*
23
水蒸气(47)
23
来自气体聚结器#1
金属去除
68
至反应器#3和4
氮氧化物去除
SOx
反应器
#2
84
74
72
气体聚结器#2
76
来自SOx聚结器
的排出溶液
78
金属
过滤器
188
193
KCl (190)
至SOx反应
器的再循环
溶液（74）
192
再生剂
化学品（203）
199
198
离子交换除矿物质
201
200
74
205
204
137
抽出物流
混合槽 140
来自化学回收的
返回溶液（136）
硒至溶液
回收 202
KOH (138)
水 (162)
至二氧化硫化学
回收（196）

图 9

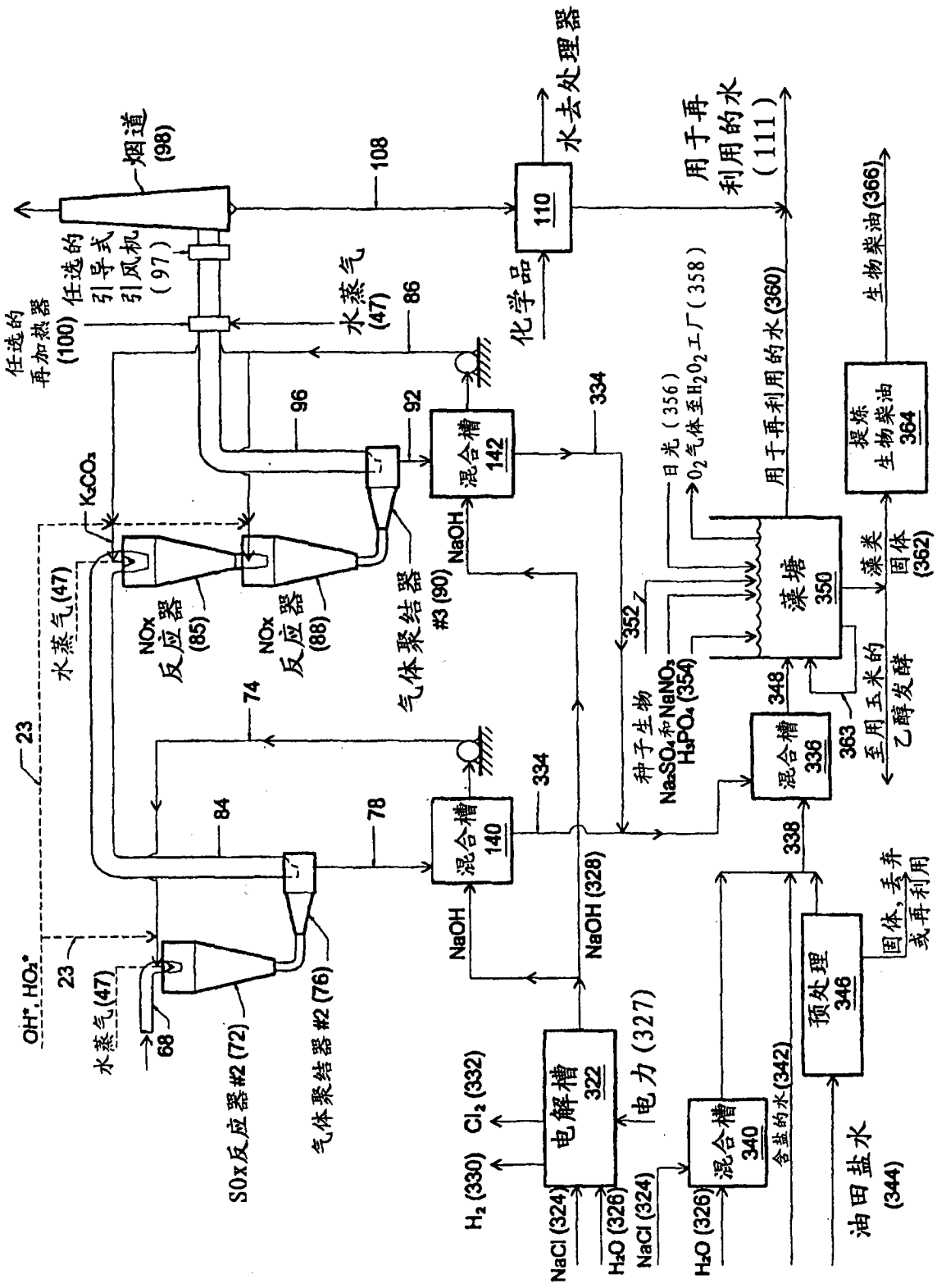

烟道 (98)
任选的引导式引风机 (97)
任选的再加热器 (100)
108
110
水去处理器
化学品
用于再利用的水 (111)
水蒸气 (47)
86
96
92
混合槽 142
334
K2CO3
NOx 反应器 (85)
NOx 反应器 (88)
气体聚结器 #3 (90)
NaOH
日光 (356)
O2气体至H2O2工厂 (358)
用于再利用的水 (360)
生物柴油 (366)
提炼生物柴油 364
藻塘 350
藻类固体 (362)
352
种子生物
NaSO4和NaNO3
H3PO4 (354)
348
混合槽 336
363
至用玉米的乙醇发酵
74
84
78
混合槽 140
334
23
OH*, HO2*
水蒸气 (47)
68
SOx反应器 #2 (72)
气体聚结器 #2 (76)
NaOH
NaOH (328)
338
预处理 346
固体，丢弃或再利用
电解槽 322
Cl2 (332)
H2 (330)
电力 (327)
NaCl (324)
H2O (326)
NaCl (324)
H2O (326)
混合槽 340
含盐的水 (342)
油田盐水 (344)

图 10

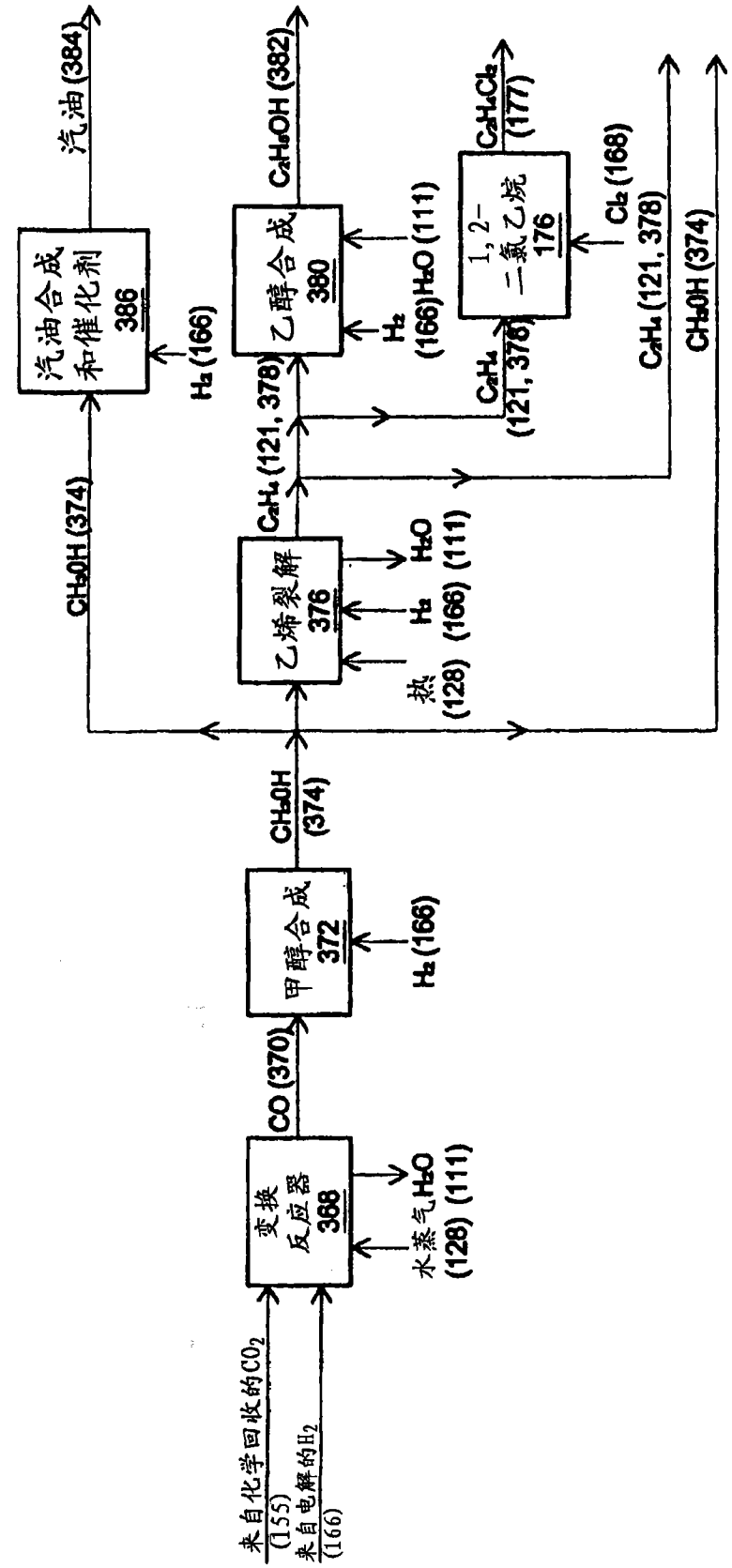

来自化学回收的CO_2
(155)
来自电解的H_2
(166)
变换反应器
368
水蒸气H_2O
(128) (111)
CO (370)
甲醇合成
372
H_2 (166)
CH_3OH (374)
乙烯裂解
376
热 (128)
H_2 (166)
H_2O (111)
C_2H_4 (121, 378)
乙醇合成
380
H_2 (166)
H_2O (111)
C_2H_5OH (382)
1, 2-二氯乙烷
176
C_2H_4 (121, 378)
Cl_2 (168)
$C_2H_4Cl_2$ (177)
汽油合成和催化剂
386
H_2 (166)
汽油 (384)
C_2H_4 (121, 378)
CH_3OH (374)

图 11

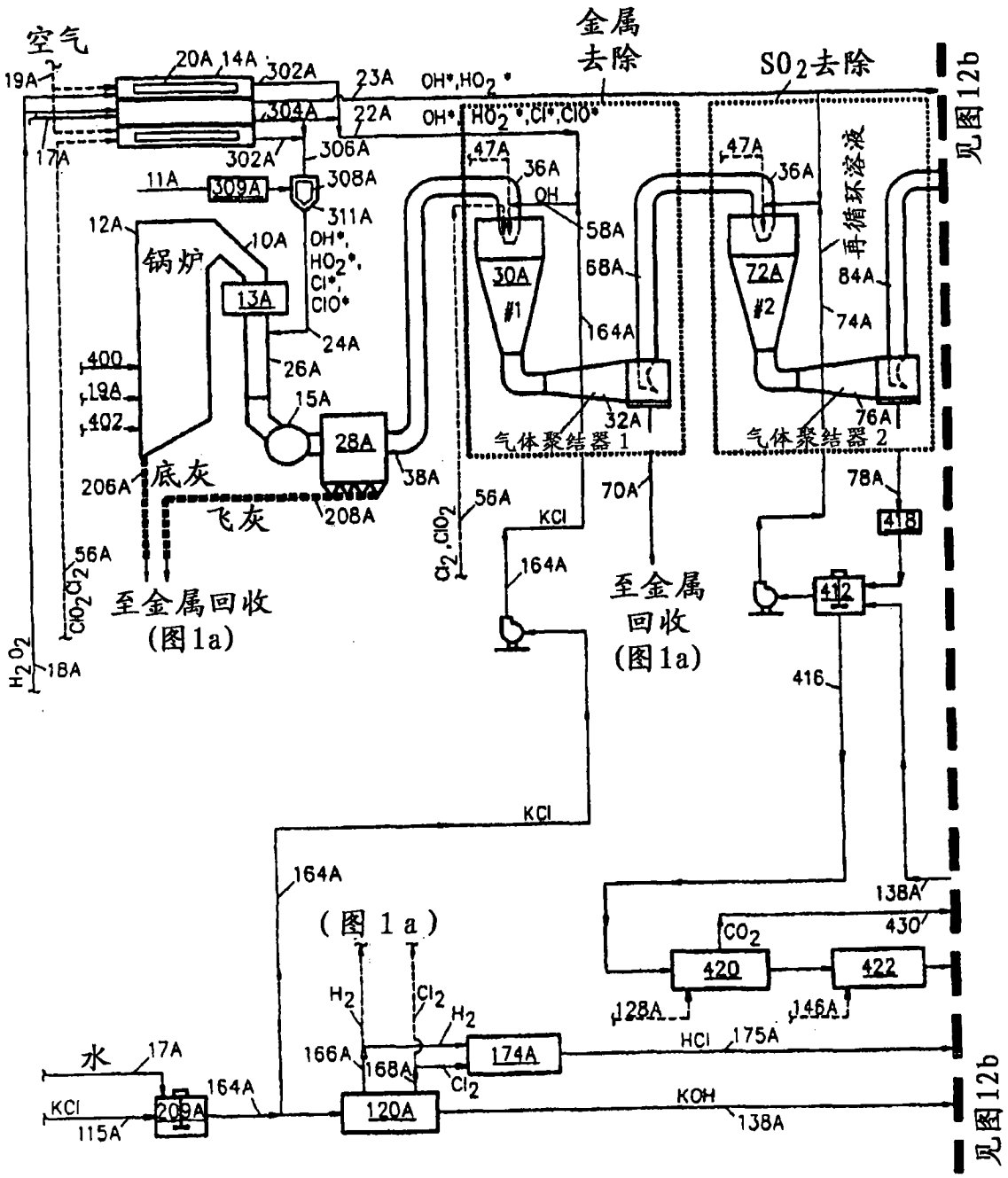
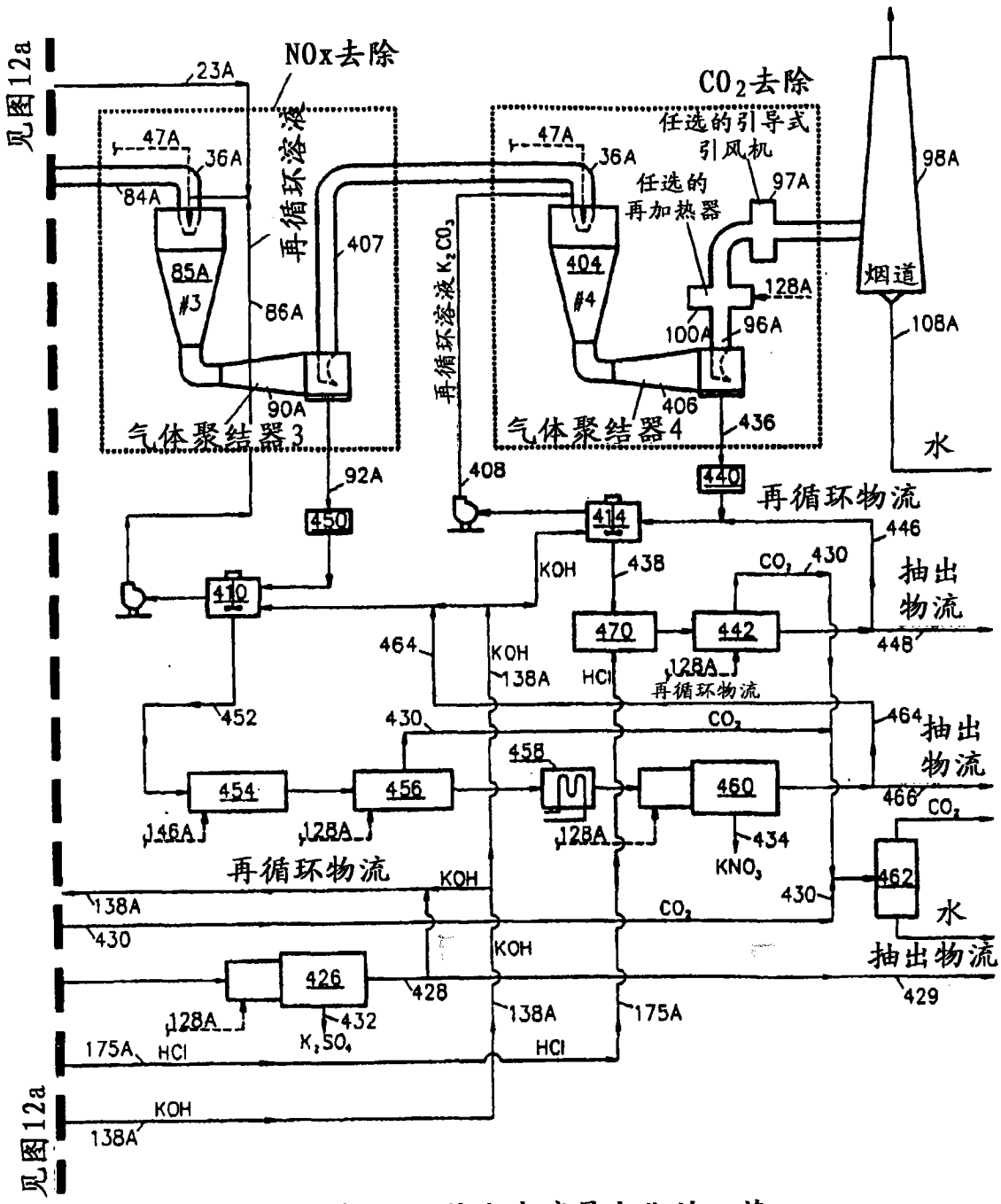

空气
金属去除
SO_2去除
见图12b
锅炉
底灰
飞灰
至金属回收
(图1a)
气体聚结器1
气体聚结器2
再循环溶液
KCl
KOH
水
HCl
CO_2
H_2
Cl_2
H_2O_2
ClO_2
(图1a)
使CO_2回收和生产最大化的工艺

图 12a



使CO_2回收和生产最大化的工艺

图 12b