



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102482111 A

(43) 申请公布日 2012. 05. 30

(21) 申请号 201080027086. 7

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2010. 06. 11

C01F 11/18(2006. 01)

(30) 优先权数据

20095672 2009. 06. 12 FI

(85) PCT申请进入国家阶段日

2011. 12. 12

(86) PCT申请的申请数据

PCT/FI2010/050488 2010. 06. 11

(87) PCT申请的公布数据

W02010/142859 EN 2010. 12. 16

(71) 申请人 诺德卡尔克有限公司

地址 芬兰帕尔加斯

(72) 发明人 M·斯纳雷

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 李进 林毅斌

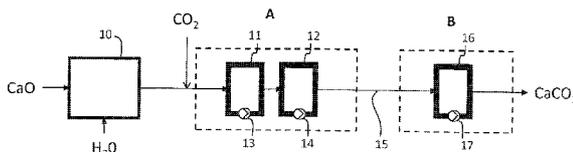
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 3 页

(54) 发明名称

生产碳酸钙的方法

(57) 摘要

生产碳酸钙的方法。在该方法中,将氧化钙原料在水相中与多个碳酸化单元中的二氧化碳接触。依据本发明,在第一碳酸化单元中于 pH 超过 11.0 的水性浆液中,使所述氧化钙原料碳酸化,以使碳酸钙生成水性浆液;从所述第一碳酸化单元排出通过含有碳酸钙和氢氧化钙的水性浆液形成的流出物;和随后在第二碳酸化单元中使排出的流出物的氢氧化钙碳酸化,以产生 pH 小于 6.9 的碳酸钙浆液。该方法使得产生分子量分布窄的单分散颗粒和分子量分布宽的多分散颗粒两者。



1. 生产碳酸钙的方法,依据该方法,在多个碳酸化单元中在水相中将氧化钙材料与二氧化碳接触,所述方法特征在于:

在第一碳酸化单元中于 pH 超过 11.0 的水性浆液中,使所述氧化钙材料碳酸化,以使碳酸钙生成水性浆液;

从所述第一碳酸化单元排出由含有碳酸钙和氢氧化钙的水性浆液形成的流出物;和

在第二碳酸化单元中使排出的流出物的氢氧化钙碳酸化,以产生 pH 小于 6.9 的碳酸钙浆液。

2. 权利要求 1 的方法,其包括从所述第一碳酸化单元排出 pH 超过 11.5、特别为约 12.0 至 13.0pH 范围的浆液。

3. 权利要求 1 或 2 的方法,其包括在所述第二碳酸化单元中使氢氧化钙碳酸化直至实现 pH 小于 6.5,特别为 pH 在 5.5 至 6.3 的范围。

4. 前述权利要求中任一项的方法,其中所述第一碳酸化单元包括氧化钙浆液,其中根据总浆液的总重量计算,氧化钙的浓度为约 2% 至约 25%、优选约 5 至 15%。

5. 权利要求 1 至 4 中任一项的方法,其包括在至少所述第一碳酸化单元中提供二氧化碳源。

6. 权利要求 5 的方法,其中所述二氧化碳源包括含有二氧化碳的气体或液体。

7. 权利要求 1 至 6 中任一项的方法,其包括在含有二氧化碳的气氛中操作至少所述第一碳酸化单元以及还任选所述第二碳酸化单元。

8. 权利要求 5 至 7 中任一项的方法,其包括提供含有至少 5% 体积,优选至少 10% 体积,特别约 15 至 100% 体积二氧化碳的气体。

9. 权利要求 8 的方法,其中所述气体选自富含二氧化碳的空气、任选含有惰性气体组分的气态二氧化碳以及烟道气。

10. 前述权利要求中任一项的方法,其包括将所述第一单元作为间歇式反应器操作。

11. 权利要求 1 至 9 中任一项的方法,其包括连续式操作所述第一单元。

12. 前述权利要求中任一项的方法,其中所述第一碳酸化单元包括至少 2 个反应器,优选 2 至 10 个反应器的级联。

13. 前述权利要求中任一项的方法,其包括将至少一个环管反应器用作碳酸化单元。

14. 权利要求 13 的方法,其中每一碳酸化单元包括多个环管反应器。

15. 前述权利要求中任一项的方法,其包括从所述第二碳酸化单元排出包含具有平均粒度范围为 40 至 1000nm 碳酸钙颗粒的碳酸钙浆液。

16. 权利要求 15 的方法,其包括从所述第一碳酸化单元连续排出含有 5 至 50% 重量未反应氢氧化钙的浆液,并且在所述第二碳酸化单元中继续进行碳酸化,直至碳酸化反应基本完成。

17. 权利要求 15 或 16 中任一项的方法,其中从所述第二碳酸化单元排出的碳酸钙颗粒具有宽的粒度分布,其中 20% 的颗粒低于 240nm 并且 80% 的全部颗粒低于 1300nm。

18. 权利要求 15 至 17 中任一项的方法,其包括间歇式操作所述第一碳酸化单元,以使基于摩尔计算的至少 90% 氧化钙材料碳酸化,并且对从所述第一碳酸化单元排出的碳酸钙浆液继续进行碳酸化,以产生包含具有平均粒度范围为 40 至 90nm 碳酸钙颗粒的碳酸钙浆液。

19. 权利要求 18 的方法,其中从所述第二碳酸化单元排出的碳酸钙颗粒的具有窄的粒度分布,其中大于 120nm 的颗粒部分小于全部颗粒重量的 20%,特别为小于 10%。

20. 权利要求 15 至 17 中任一项的方法,其包括连续式操作所述第一碳酸化单元和所述第二碳酸化单元。

21. 权利要求 15 至 17 中任一项的方法,其包括将所述第一单元作为间歇式反应器操作并且将所述第二单元以间歇或连续方式操作。

22. 权利要求 21 的方法,其中所述第二反应器是储槽。

23. 前述权利要求中任一项的方法,其中产生结晶碳酸钙颗粒。

24. 前述权利要求中任一项的方法,其中碳酸化反应在加压条件下在至少一个所述碳酸化单元中进行。

25. 权利要求 24 的方法,其中碳酸化反应在 0.1 至 25 巴、特别为约 0.5 至 10 巴的超压下进行。

26. 前述权利要求中任一项的方法,其中在所述第一碳酸化单元中氧化钙材料的停留时间为约 0.1 至 1000 秒、特别为约 1 至 300 秒。

27. 前述权利要求中任一项的方法,其中在所述第二碳酸化单元中氢氧化钙的停留时间长于约 1 分钟。

28. 权利要求 27 的方法,其中在所述第二碳酸化单元中氢氧化钙的停留时间长于约 3 分钟、特别为长于约 5 分钟。

29. 权利要求 27 或 28 的方法,其中在用于产生单分散碳酸钙产物的第二碳酸化单元中氢氧化钙的停留时间长于约 30 分钟。

30. 权利要求 27 或 28 的方法,其中在用于产生单分散碳酸钙产物的第二碳酸化单元中氢氧化钙的停留时间为约 0.1 至 100 小时。

31. 前述权利要求中任一项的方法,其中在所述第一碳酸化单元中将氢氧化钙用作氧化钙材料。

32. 权利要求 1 至 31 中任一项的方法,其中在所述第一碳酸化单元中将氧化钙优选氧化钙粉末形式用作氧化钙材料。

生产碳酸钙的方法

[0001] 本发明涉及碳酸钙的生产。特别地,本发明涉及根据权利要求 1 的前序部分的用于制备碳酸钙优选沉淀碳酸钙的方法。

[0002] 根据这种方法,在多个碳酸化(carbonation)单元中,将氧化钙原料在水相中与二氧化碳接触。

[0003] 本领域公知若干生产碳酸钙,本文也称为沉淀碳酸钙(PCC)的方法。在现有技术案中,气态二氧化碳通常冒泡成氢氧化钙的水性浆液,将其在大槽混合。槽反应器的操作通常基于“剂量原则”并且生产时间是 2 至 8 小时,这取决于温度。起点可为氧化钙 CaO,随后将其处理成 CaCO₃。然而,还可能从天然石灰石开始,将天然石灰石煅烧以使其分解成氧化钙和二氧化碳。

[0004] 1. $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

[0005] 将氧化钙的水合过程后生成的氢氧化钙(反应 2)

[0006] 2. $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$

[0007] 依据反应 3 碳酸化(carbonate)为碳酸钙。

[0008] 3. $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

[0009] 在较早专利申请(WO 2007/057509)中,我们描述了一套改进的用于生产碳酸钙的设备,其中水合氧化钙的碳酸化在碳酸化单元进行,该单元包括封闭的反应器容器,其中碳酸化反应可在超压下进行。优选提供有内循环的装置,并且该产物的再循环量多达进料到碳酸化单元的水合氧化钙量的 5 至 20 倍。通常,所指的碳酸化单元是环管反应器。如 WO 2007/057509 中所指出的,还可能串联或并联排列多个环管反应器。

[0010] 通过公知方法,还可能产生平均粒度最大约 500nm 并且大于 1nm 的颗粒。优选范围是 2-500nm,特别为约 10-500nm。

[0011] 本发明的目的是提供生产碳酸钙的新方法。特别地,目的是提供替代的碳酸化方法,其中可基本上在一个和同一装置产生大量碳酸钙产物。

[0012] 本发明基于以下概念:不同 pH 值下在两个碳酸化区或单元中进行碳酸化反应。通常,在第一碳酸化区,使 pH 保持在碱性范围,而在第二碳酸化区,使 pH 保持在酸性或中性范围。

[0013] 优选地,用于通过在水相中将氧化钙(照原样或水合形式)碳酸化来生产碳酸钙的方法包括以下步骤:

[0014] 一从第一碳酸化单元排出(withdraw)含有碳酸钙和氢氧化钙并且 pH 超过 11.0 的浆液,和

[0015] 一随后在第二碳酸化单元中继续氢氧化钙的碳酸化,直至 pH 降至低于 6.9。

[0016] 更特别地,本发明方法的特征为权利要求 1 特征部分所说明的。

[0017] 本发明具有很多优点。因此,本发明使得可能在一套处理装置中基本上使用同一原材料,以产生不同种类的产物——分子量分布窄的单分散颗粒和分子量分布宽的多分散颗粒两者。这些产物可用于不同目的,例如油漆、纸、纸板、橡胶和塑料中的颜料和填料以及各种建筑材料的构件包括水硬性胶结剂的混合物。

[0018] 因此,依据一个实施方案,本发明提供在第一生产期期间生产一种颜料或填料级 (filler grade) 以及在第二生产期期间生产第二种颜料或填料级。

[0019] 依据优选实施方案,本发明在反应器级联中实施,其包括在第一碳酸化区以及任选还在第二碳酸化区中的至少一个环管反应器。在该实施方案中,环管反应器提供高热转移率并且允许在加压条件下运行。

[0020] 本发明进一步的特征和优点将从以下包括工作实施例的详述看出。参考附图,其中

[0021] 图 1 是显示本发明实施方案工艺结构的示意图。

[0022] 图 2 是显示本发明另一实施方案工艺结构的示意图;

[0023] 图 3 是显示本发明第三个实施方案工艺结构的示意图;

[0024] 图 4 是显示本发明第四个实施方案工艺结构的示意图;

[0025] 图 5 是显示本发明第五个实施方案工艺结构的示意图;

[0026] 图 6 显示实施例 1 产物的扫描电子显微镜图像;

[0027] 图 7 显示实施例 2 产物的扫描电子显微镜图像;

[0028] 图 8 显示实施例 3 产物的扫描电子显微镜图像;

[0029] 图 9 显示实施例 4 产物的扫描电子显微镜图像以及

[0030] 图 10 显示实施例 5 产物的扫描电子显微镜图像。

[0031] 图 11 显示实施例 6 产物的扫描电子显微镜图像。

[0032] 如上文简要论述的,本发明涉及碳酸钙特别为沉淀碳酸钙的生产,这通过在水性环境中将合适的氧化钙原材料碳酸化。碳酸化过程分为至少两部分,其不同 pH 条件以及任选还在其它不同处理条件例如温度、压力和停留时间下进行。

[0033] 在碳酸化期间,该过程开始时的反应速率大于后来的反应速率。依据本发明,因此碳酸化首先在第一段时期期间在碱性条件下进行,并且在第一步以后,移出反应区的流出物并且在第二段时期期间在酸性条件下,进行第二步反应。通常,第一反应时期比第二反应时期短。特别地,第一反应时期的长度与第二反应时期的长度的比率等于 1 : 1000 至 1 : 1.5,优选 1 : 100 至 1 : 2。

[0034] 本方法的原材料 (starting materials/raw-materials) 包括

[0035] 一氧化钙源

[0036] 一二氧化碳源和

[0037] 一水。

[0038] 所用水可为常规工业用水,任选通过常规手段的去离子化。

[0039] 氧化钙源通常源自碳酸盐矿物例如石灰石 (CaCO_3),或源自各种碳酸盐矿物的混合物,其可经煅烧或燃烧(概括为“热处理”)以去除二氧化碳从而提供氧化钙。氧化钙源可包含经煅烧材料本身,然后以粉末形式将其加入第一反应器(参照图 5 的实施方案),或其可包含水合产物、氢氧化钙 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) 或熟石灰,其作为浆液进料到第一反应器。若氧化钙是经煅烧获得的粉末,则本反应器装置可包括用于熟化氧化钙的分离单元、预处理或熟化单元。这就热控制而言是有利的,因为熟化氧化钙释放过量的热。

[0040] 不论氧化钙是作为粉末还是作为熟石灰加入,均在第一碳酸化单元中形成水性氧化钙浆液,其中根据总浆液的总重量计算,氧化钙的浓度为约 2% 至约 25%,优选约 5 至

15%。可将额外的水单独进料到碳酸化单元或浆液的水可与熟化浆液提供。

[0041] 将二氧化碳源提供给至少第一碳酸化单元。二氧化碳源可包含含有二氧化碳或能够释放二氧化碳的气体或液体。优选地,至少第一以及还任选第二碳酸化单元在含有二氧化碳的气氛下运行。二氧化碳气体可以是纯的或其可以是富含二氧化碳的气体。实例包括富含二氧化碳的空气、任选含有惰性气体组分以气态形式的二氧化碳和烟道气。通过采用超压,可按液体形式任选甚至在超临界条件下提供二氧化碳。

[0042] 通常,碳酸化气体包含至少 5% 体积,优选至少 10% 体积,特别为约 15 至 100% 体积的二氧化碳。

[0043] 现在转向附图,可注意的是,下列参考数字用于图 1 至 4:

[0044] 10 ;20 ;30 和 50 消和器

[0045] 11, 12 ;21-23 ;31-33 ;第一单元的环管反应器

[0046] 71-73

[0047] 51-53 第一单元的塞流反应器

[0048] 13, 14 ;24-26 ;34-36 ;第一单元的环管反应器的循环泵

[0049] 74-76

[0050] 16 第二单元的环管反应器

[0051] 17 第二单元环管反应器的循环泵

[0052] 28 ;43 ;63 ;83 第二单元的间歇式反应器

[0053] 15 ;27 ;42 ;61 ;77 用于将流出物从第一单元转移至第二单元的导管

[0054] 18 ;29 ;44 ;64 用于熟石灰的进料管

[0055] 38-40 ;58-60 用于熟石灰的进料管嘴

[0056] 70、72、78 粉末化氧化钙的进料管

[0057] 54-56 ;82 第一单元的反应器流出物的出料管嘴

[0058] 3, 41, 81 ;84 ;85 阀

[0059] 用于用水熟化氧化钙的消和器 10、20、30 和 50 可包括任何一种搅拌槽反应器,鉴于熟化反应的强烈放热特性,优选提供有冷却 / 热回收。将在消和器中形成的浆液进料到第一碳酸化区或单元,在附图中将其命名为“A”。在附图中将第二碳酸化区或单元命名为“B”。

[0060] 为简单起见,进入该过程的二氧化碳用指向第一单元 A 的进料管 18 ;29 ;44 ;64 的箭头表示。然而应指出的是,如下文将解释的,二氧化碳可进入第一和第二单元两者,并且二氧化碳可单独进料至每个反应器中,或其可仅进料至碳酸化反应器之一中。

[0061] 反应单元 A 和 B 可作为间歇式反应器、连续操作反应器或半间歇式反应器操作。依据一个优选实施方案,连续式操作第一单元。依据另一实施方案,连续式操作第二单元。依据第三个实施方案,间歇式操作第二单元。

[0062] 每一碳酸化单元,特别为第一碳酸化单元,可仅包括一个反应器或优选包括至少 2 个,优选 2-10 个反应器的级联。反应器还可并联排列或串联 / 并联排列,但通常优选至少将反应器的主要部分作为级联操作。

[0063] 如将看到的,本发明可在 1 至 10 个或更多个第一反应器与 1 至 10 个或更多个第二反应器的组合中进行。

[0064] “级联”意指在先反应器的流出物形成下一反应器的供料或进料。

[0065] 本发明一个特别优选的实施方案包括使用环管反应器,更准确为该过程第一阶段至少 2 个环管反应器 11、12 以及该过程第二阶段环管反应器 16 的级联。该实施方案在图 1 中说明。

[0066] 关于本发明,已发现环管反应器是用于本目的特别有用的反应器,这是由于其提供均质和有效混合。有效混合使温度和浓度梯度的形成最小化。该过程可经控制和调节,例如以取得所需产物或产物分布。有效混合适用于碳酸化反应,这是因为该反应以全聚集状态进行。

[0067] 可能给每一反应器单元提供如图 1(参考数字 13、14 和 17)所示的内部再循环。还可能仅给环管反应器安装内部再循环,参照图 2(参考数字 24 至 26)和图 3(参考数字 34 至 36)。这意指仅仅将部分流出物进料入到下一反应器,或在间歇式操作情况下,没有流出物如此

[0068] 依据一个实施方案,每一上述碳酸化单元包括多个环管反应器。这些可排列成级联或以并联或其中一些反应器与其它反应器并联的级联排列,使在不间断操作情况下得以对反应器进行维护。

[0069] 图 2 显示的实施方案类似于图 1,不同之处在于,第一单元在级联 24 至 26 中包括 3 个环管反应器,并且第二反应单元包括间歇式反应器,即搅拌槽反应器 28。第二反应器还可为储槽。

[0070] 在两个实施方案中,将熟石灰进料到第一单元 A 的反应器级联的第一反应器 13;24,并且来自该单元的最后一个反应器 14;26 的流出物被直接引导至第二单元 B 的反应器 17;28。

[0071] 依据又一个实施方案,第一单元作为间歇式反应器操作并且第二单元以间歇或连续方式操作。第一单元的间歇式反应器可为上述结合图 2 中单元 B 所解释类型的搅拌槽反应器,但其还可通过间歇方式操作的至少一个环管反应器而形成。该实施方案在图 3 中说明,该图显示三个并联环管反应器 31 至 33,每一个提供有用于熟石灰的单独进料管嘴 38 至 40,以及提供有内循环以允许间歇式操作。反应器可通过与循环泵 34 至 36 连接排列的排孔(outtake)而独立排空。当然还可能间歇式操作图 1、2 和 4 的单元 A 的每一环管反应器

[0072] 图 4 显示第四个实施方案,其中第一单元的反应器通过塞流反应器 51 至 53 而形成。

[0073] 图 5 显示第五个实施方案,类似于图 3 的实施方案,区别在于反应区 A 和 B 的处理反应器之前没有熟化单元。相反,用循环泵 74 至 76 使氧化钙直接经过导管 78、72 和 73 以干粉末状形式进料到第一反应单元,其包括环管反应器 71 至 73。第一反应单元可间歇式操作,如将结合实施例 6 解释的,但当然还可能连续处理。环管反应器的流出物经导管 77 引导至第二单元,其可为如图 5 所示的间歇式反应器 83。石灰/碳酸钙浆液的流动用阀调节并且加料管嘴可位于相对间歇式反应器的任何合适位置(在任何高度,反应器中搅拌混合物表面的上方或下方)。

[0074] 如结合实施例 6 所解释的,按级联中的两个间歇式过程操作图 5 的反应器配置,可产生单分散产物。

[0075] 在所有上述实施方案中,以及通常在本发明的方法中,反应条件例如温度、压力和

停留时间可自由变化。

[0076] 在一个实施方案中,其可与任何前述实施方案以及特别可与使用环管反应器的实施方案结合,碳酸化反应在加压条件下在至少一个碳酸化单元中进行。特别地,碳酸化反应在 0.1 至 25 巴特别为约 0.5 至 10 巴的超压下进行。

[0077] 通常并且在上述任一实施方案中,在第一碳酸化单元 A 中氧化钙原料的停留时间短。通常,在其中的停留时间为约 0.1 至 1000 秒,特别为约 1 至 300 秒。

[0078] 依据一个实施方案,在第二碳酸化单元 B 中氢氧化钙的停留时间长于约 1 分钟。因此,在第二碳酸化单元中氢氧化钙的停留时间可长于约 3 分钟,特别为长于约 5 分钟。这特别对包括储槽的第二碳酸化单元同样如此。

[0079] 通过分别控制第一和第二反应阶段 A 和 B 中反应物的 pH、碳酸化程度和停留时间,可能调节产物的质量。依据一个实施方案,在用于产生单分散碳酸钙产物的第二碳酸化单元中,氢氧化钙的停留时间长于约 30 分钟。特别地,在用于产生单分散碳酸钙产物的第二碳酸化单元中,氢氧化钙的停留时间约为 0.1 至 100 小时。

[0080] 如上文所讨论的,通过本方法可产生若干不同种类的碳酸钙材料。因此,在一个实施方案中,从第二碳酸化单元排出并任选回收包含具有平均粒度范围为 40 至 1000nm 碳酸钙颗粒的碳酸钙浆液。

[0081] 在此情况中,优选从第一碳酸化单元排出含有 5 至 50% 重量的未反应氢氧化钙的浆液,并且随后在第二碳酸化单元中继续进行碳酸化,直至碳酸化反应基本完成。

[0082] 从第二碳酸化单元排出的碳酸钙颗粒具有介于 40-2000nm 之间的宽粒度分布。

[0083] 另一实施方案包括间歇式操作第一碳酸化单元,以使基于摩尔计算的至少 90% 氧化钙材料碳酸化,并且对从第一碳酸化单元排出的碳酸钙浆液继续进行碳酸化,以产生包含具有平均粒度范围为 40 至 90nm 碳酸钙颗粒的碳酸钙浆液。

[0084] 从第二碳酸化单元排出的碳酸钙颗粒于是通常具有窄的粒度分布,其中大于 120nm 的颗粒部分小于全部颗粒重量的 20%,特别为小于 10%。

[0085] 依据一个实施方案,本方法产生结晶碳酸钙颗粒,通常为方解石或六方碳钙石。

[0086] 以下非限制性实施例说明本发明。

[0087] 实施例 1

[0088] 在连续搅拌槽消和器和环管反应器碳酸化装置中进行实验。根据碳酸化单元的有效性,以脉冲方式向石灰消和器加入 300g/min 生石灰和 3l/min 水。使消和器的温度保持在 90°C。在第一碳酸化单元中,浆液和 CO₂- 气体在 6 巴压力下反应。58% 的碳酸化在包括一个环管反应器的第一单元发生,并依据碳酸化程度调节停留时间。第一单元中的碳酸化之后,石灰混合物继续到第二单元,在此进行最终碳酸化。第一和第二单元中的 pH 分别为 11.4 和 6.2。使碳酸化温度保持低于 40°C。

[0089] 基于扫描电子显微镜图像,粒度在介于 50-1000nm 之间变化,其中 d_{90%} < 750nm,这可从图 1 看出。

[0090] 实施例 2

[0091] 在类似于实施例 1 中提出的方法中进行试验,不同之处在于由多个环管反应器组成的第一单元以串联偶联。将含有 68g/l Ca(OH)₂ 的石灰浆液进料到第一单元,此处 pH 超过 11.6 并且 > 80% 的碳酸化在此进行,其中停留时间低于 2 分钟。最终碳酸化在 pH 6.3

的第二单元进行,其后排出产物。

[0092] 基于扫描电子显微镜图像,产物粒度在介于 50-1000nm 之间变化,其中 $d_{90\%}$ 约 400nm,这可从图 2 看出。

[0093] 实施例 3

[0094] 通过在碱性条件 (pH 11.6) 下间歇式操作第一碳酸化单元并且在 pH 6.3 水平以连续方式操作第二单元来进行碳酸化实验。将 68gCa(OH)₂/l 的浆液进料到包括多个环管反应器的第一单元。继续进行该反应直至 8% Ca(OH)₂ 仍未反应。此后将浆液混合物运送到第二单元,用于最终碳酸化。

[0095] 产物是粒度约 50nm 的单分散产物 (基于扫描电子显微镜图像,参见图 3)。

[0096] 实施例 4

[0097] 通过连续操作第一碳酸化单元并且以间歇方式操作第二单元来进行碳酸化实验。将 68g Ca(OH)₂/l 的浆液进料到包括环管反应器的第一单元,在碱性环境中在 pH 11.6 继续进行该反应,直至转化率为 40%,其中停留时间 > 0.25 分钟。此后将浆液混合物运送到第二单元,用于从碱性 pH 至 pH 低于 6.5 的最终碳酸化。

[0098] 产物包括粒度介于 50-500nm 之间的针状颗粒 (基于扫描电子显微镜图像,参见图 4)。

[0099] 实施例 5

[0100] 碳酸化实验在包括管状反应器装置的第一单元和包括间歇式反应器的第二单元中进行。将 42g Ca(OH)₂/l 浆液进料到第一单元并且在此部分碳酸化 (95% 的转化率)。此后将浆液进料到第二单元,用于从碱性 pH 至 pH 低于 6.5 的最终碳酸化。

[0101] 产物粒度介于 50-1000nm 之间 (基于扫描电子显微镜图像,参见图 5)。

[0102] 实施例 6

[0103] 对类似于实施例 3 中提出的方法进行试验,该方法无任何单独熟化过程 (参照图 5)。在管状反应器装置中,将 50g 石灰 (CaO)/l (H₂O) 以间歇式直接碳酸化。在第一单元中在碳酸化期间 pH 超过 11.6。最终碳酸化在第二单元进行,此处 pH 为约 6.3。

[0104] 产物是粒度约 50nm 的单分散产物 (基于扫描电子显微镜图像,参见图 11)。

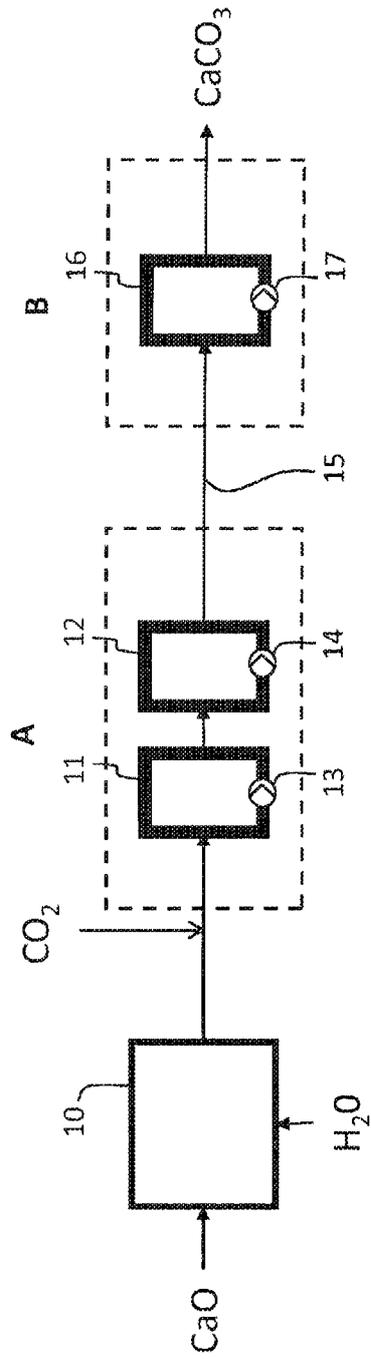


图 1

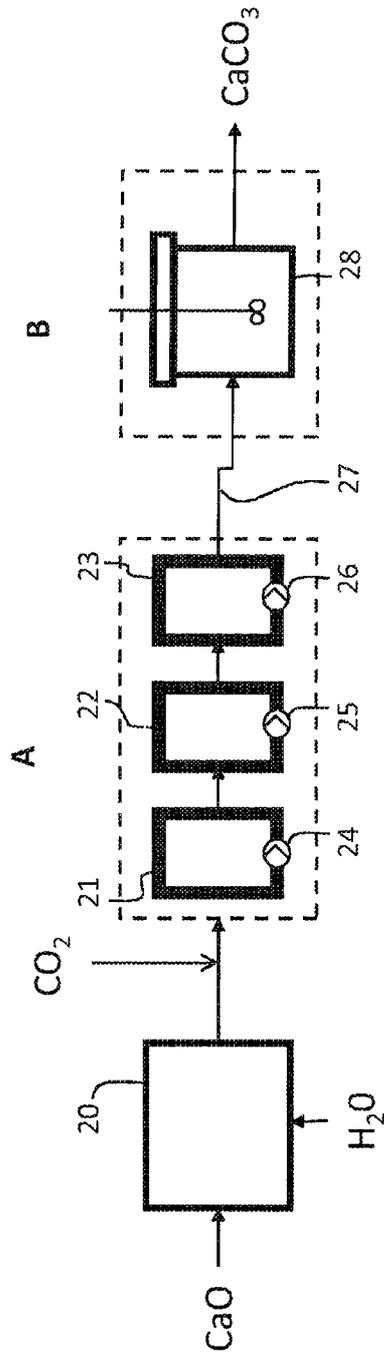


图 2

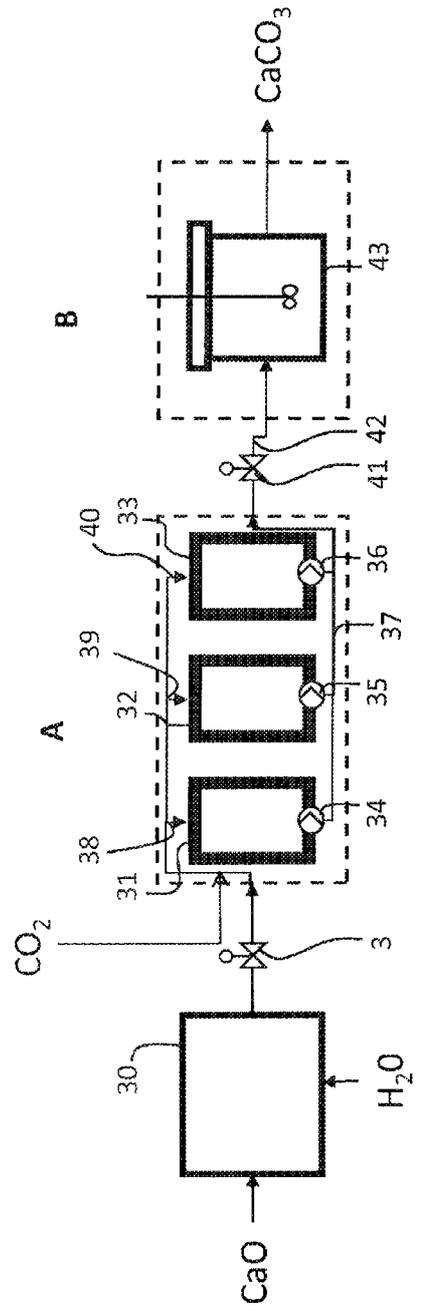


图 3

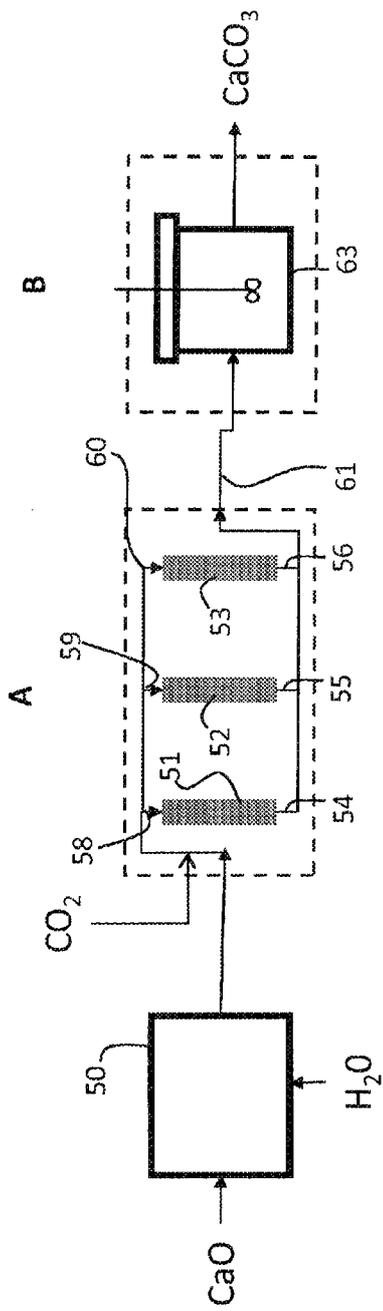


图 4

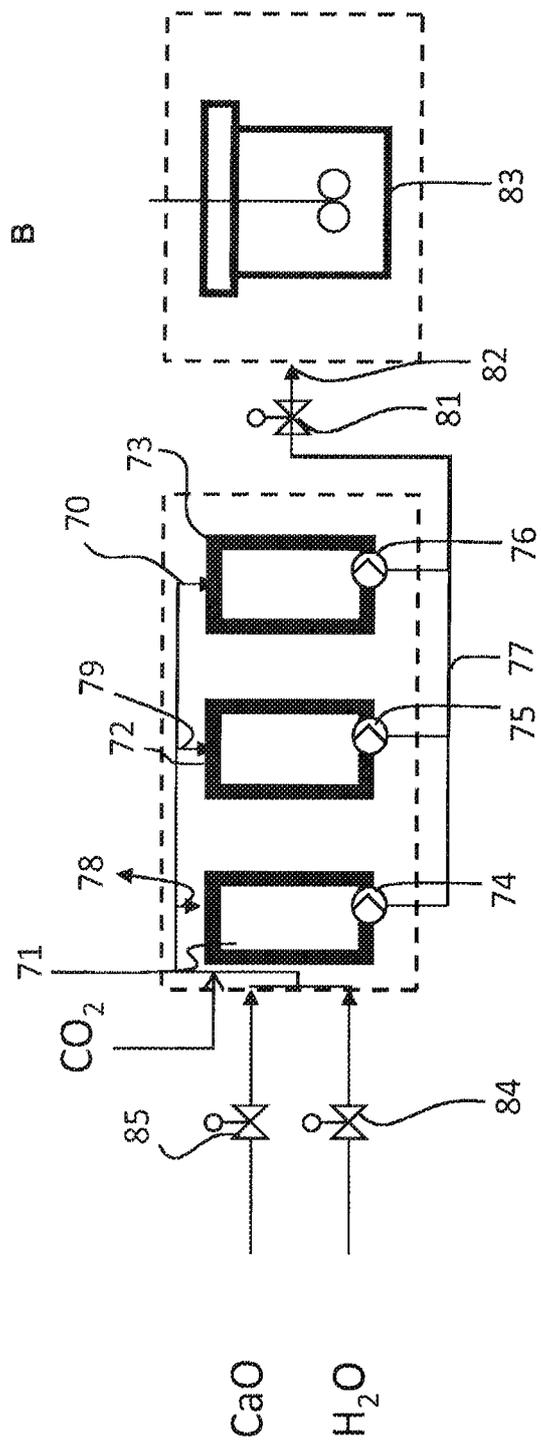


图 5

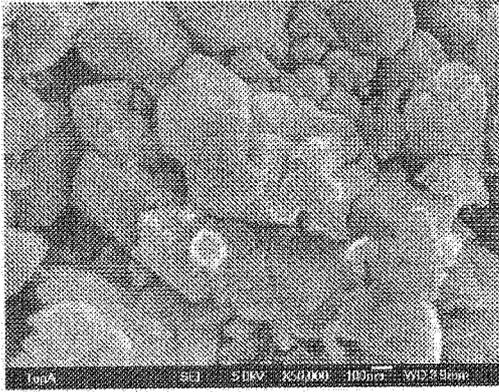


图 6

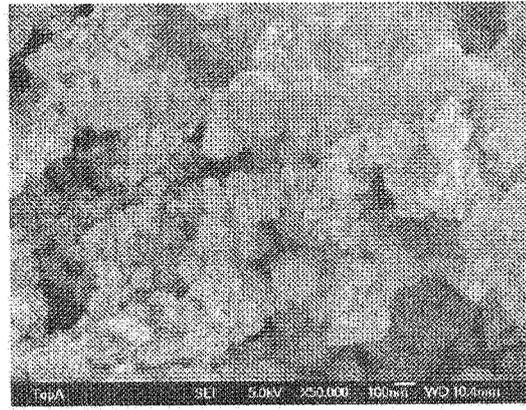


图 7

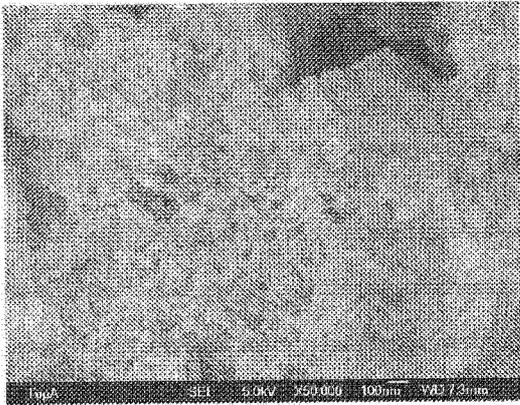


图 8

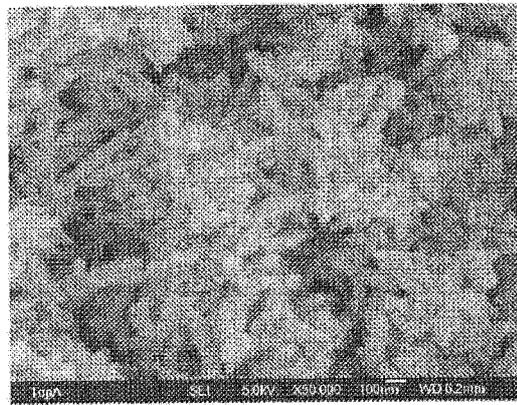


图 9

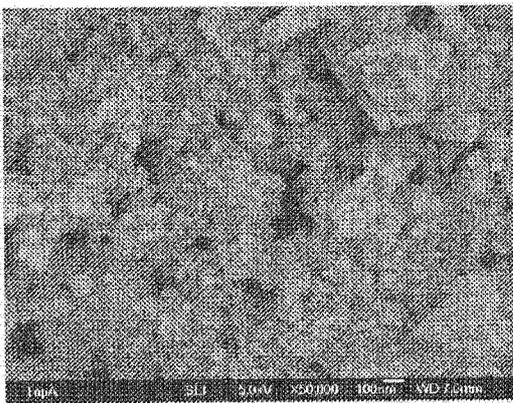


图 10

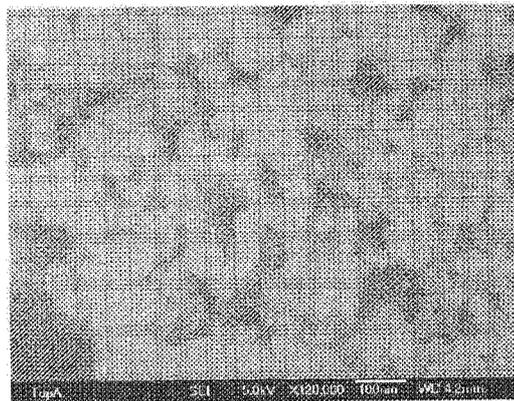


图 11