



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410009714.5

[43] 公开日 2005 年 4 月 27 日

[11] 公开号 CN 1609001A

[22] 申请日 2004.10.28

[21] 申请号 200410009714.5

[71] 申请人 中国科学院过程工程研究所

地址 100080 北京市海淀区中关村北二条 1 号

[72] 发明人 袁章福 王志 周峨 杨绪壮
关璐

[74] 专利代理机构 北京科大华谊专利代理事务所

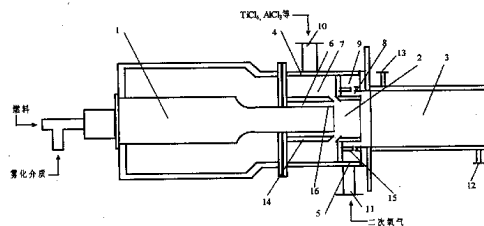
代理人 刘月娥

权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 1 页

[54] 发明名称 一种新型氧化反应器制备钛白的方法及其装置

[57] 摘要

本发明提供了一种氯化法钛白氧化反应器制备钛白的方法及其装置。其方法是对反应物料两步加热，在预热炉内将反应物 $TiCl_4$ 和 O_2 预热到 $400 - 600^\circ C$ 和 $800 - 1000^\circ C$ ，在反应物料进入氧化反应器同时引入雾化燃料，借其燃烧直接把反应物料加热到 $1500 - 1800^\circ C$ ；晶型转化剂 $AlCl_3$ 采用气相法引入；为给氧化尾气直接送往氯化工序创造条件，反应器采用正压操作；产品收集采用袋滤器一次完成。装置包括：燃烧区(1)、混合反应区(2)、冷却区(3)，加料管(10、11)、冷却水进口(12)、冷却水出口(13)、圆柱环(14、15)；混合反应区(2)包括进料环(4、5)。优点在于：在保证产品质量前提下，减少反应器内结疤物的生成，延长反应器使用周期。



1、一种氯化法钛白氧化反应器制备钛白的方法，其特征在于：对反应物料两步加热，在预热炉内分别将反应物 TiCl_4 和 O_2 预热到 $400-600^\circ\text{C}$ 和 $800-1000^\circ\text{C}$ ，在反应物料进入氧化反应器同时引入雾化燃料，借其燃烧直接把反应物料加热到 $1500-1800^\circ\text{C}$ ；晶型转化剂 AlCl_3 采用气相法引入；为给氧化尾气直接送往氯化工序创造条件，反应器采用正压操作；产品收集采用袋滤器一次完成；预热氧气和可燃气体在预燃烧室中形成高温含氧气流，从燃烧区（1）来的含氧热气流均匀地流入混合反应区（2），四氯化钛蒸汽经过加料环，以环缝射流的方式高速喷入高温氧气流中快速混合；在一个直管反应室高温氧气流与经过预热的气态 TiCl_4 和晶型转化剂 AlCl_3 混合并进行快速反应；经反应和成核生成金红石型二氧化钛，生成的钛白粉 TiO_2 进入冷却区（3）；预热氧气温度的为 $800-1000^\circ\text{C}$ ，高温含氧气流的温度为 $1500-1800^\circ\text{C}$ ； TiCl_4 和晶型转化剂 AlCl_3 的预热温度为 $400-600^\circ\text{C}$ ；晶型转化剂 AlCl_3 的添加量为反应物 TiCl_4 摩尔数的 $0.5-15\%$ ；可燃气体与过量的氧气在燃烧区（1）燃烧，生成高温含氧气流，然后进入混合反应区（2）； TiCl_4 气态氧化反应在高速流动下进行并迅速进入冷却区（3），反应产物迅速冷却，产物钛白粉与尾气进行分离。

2、按照权利要求 1 所述的方法，其特征在于：晶型转化剂 AlCl_3 的添加量为反应物 TiCl_4 摩尔数的 $1-5\%$ 。

3、按照权利要求 1 或 2 所述的方法，其特征在于：预热的气态 TiCl_4 和晶型转化剂 AlCl_3 混合气以切向方式从加料管（10）进入进料环（4）；轴向的高温含氧气流与经过预热的气态 TiCl_4 和晶型转化剂 AlCl_3 呈一定角度交叉射流混合并进行反应。

4、按照权利要求 1 所述的方法，其特征在于：气态 TiCl_4 和晶型转化剂 AlCl_3 进料环（4）内固定一个圆柱环（14），圆柱环将原来的单元环道

分割成内环道和外环道，圆柱环相当于一个气体流动阻力部件，使气体由原来的一次分布改变为两次分布。

5、一种制备权利要求 1 所述方法的装置，其特征在于：该装置包括：燃烧区 (1)、混合反应区 (2)、冷却区 (3)，加料管 (10、11)、冷却水进口 (12)、冷却水出口 (13)、圆柱环 (14、15)；混合反应区 (2) 包括 TiCl_4 进料环 (4) 和二次氧进料环 (5)；在进料环 (4、5) 内分别设有整流室 (7、9) 和射流室 (6、8)。

6、按照权利要求 5 所述的装置，其特征在于：所述的混合区 (2) 包括 TiCl_4 进料环 (4) 和二次氧气进料环 (5)；在 TiCl_4 进料环 (4) 的下游设置二次氧气体进料环 (5)，二次氧气以轴向方式从加料管 (11) 进入进料环 (5)；圆柱环 (14) 将原来的单元环道分割成内环道和外环道，构成了射流室 (6) 和整流室 (7)，射流室 (6) 位于高温氧气通道 (16) 和整流室 (7) 之间；二次氧及除疤料进料环 (5) 内设有一圆柱环 (15)，构成了射流室 (8) 和整流室 (9)；射流室 (8) 位于高温气体混合通道和整流室 (9) 之间；二次氧进料环 (5) 内的圆柱环 (15) 使除疤气体的切向流动减慢，压力分布趋于均匀，经过整流后喷射的附壁高速气流兼具气膜保护和清洗的作用，能够实现使射流混合部分的疤层沉积减弱的作用。

7、按照权利要求 5 或 6 所述的装置，其特征在于：氧化反应器在冷却区 (3) 的结构为柱体平行结构，燃烧区和混合反应区的过渡段采用喉口结构， TiCl_4 射流室 (6) 的喷口面积尺寸满足 TiCl_4 穿透率小于 0.5，射流室 (6) 的环缝喷口轴线与氧化炉轴线的角度在 30-90°之间，

8、按照权利要求 5 或 6 所述的装置，其特征在于：射流室 (6) 的环缝喷口轴线与氧化炉轴线的角度在 45-75°之间。

一种新型氧化反应器制备钛白的方法及其装置

技术领域

本发明属于氯化法制备钛白粉技术领域，特别是提供了一种新型氧化反应器制备钛白的方法及其装置，适用于钛白粉的工业化生产。

技术背景

钛白粉是重要的精细化工产品，广泛应用于涂料（60%）、塑料（16%）、造纸（14%）、油墨（3%）、化纤、橡胶等（7%）工业部门，发达国家每人每年消耗量大于 1.0kg，世界平均水平为 0.45kg，而我国仅为 0.04kg。钛白生产方法有硫酸法和氯化法两种，硫酸法由于三废多、能耗高和产品质量低等问题，目前正在逐渐减少和被迫关闭。世界钛白工业总的发展趋势是从硫酸法向氯化法转变。2002 年世界钛白总产量为 471 万吨，其中，氯化法钛白生产能力占 57%。目前，中国生产钛白粉的企业约有 55 家，总生产能力超过 60 万 t/a。

氯化法钛白制备包括富钛料氯化、 $TiCl_4$ 精制、 $TiCl_4$ 氧化和 TiO_2 颗粒表面处理四个主要过程，其中 $TiCl_4$ 氧化是制备钛白粉最为关键的步骤，这是因为氧化炉反应器是氯化法制备钛白的核心设备和技术，反应器的结构参数、气流混合特征和工艺操作条件决定了产品的性能。采用 $TiCl_4$ 气相氧化法制取 TiO_2 是传质控制的快速反应过程，高温下几十毫秒内反应即可完成，反应过程除有固相生成外，并伴随着晶型转化和晶粒生长。 $TiCl_4$ 气相氧化反应过程是在氧化反应器内湍流情况下进行的伴有传热、传质及动量传递的化学反应过程，其中化学反应要影响湍流流动的特性，而湍流流动又必然会影响化学反应过程。由于反应器内的湍流流动、成核、晶核长大等过程交织在一起的复杂性，使得氧化反应器理论的研究非常困难。目前我国氯化法钛白氧化炉反应器在应用中存在的问题主要表现为：(1) 氧化炉运行周期短，最长不足 17 天(国外先进水平，例如美国杜邦公司多为 30~60 天)。运行周期短的关键因素是生成的 TiO_2 在氧化炉内“结疤”导致被迫停炉；(2) 钛白粉的产品质量（颗粒粒度及分布、晶型转化率等）处于不可控的状态，钛白半成品质量不够稳定，很难通过改变工艺参数或关键部件来控制产品粒度及分布。

结疤问题是影响氧化反应器正常生产的主要问题之一。氧化炉结疤，是由于初生的具有很大表面积和粘性的气溶胶状的 TiO_2 微粒和停留在高温区的絮料逐步烧结形成坚硬的疤块引起的，结疤改变了氧化炉的空间形状，阻塞加料口，影响气流走向，以

致常常被迫停炉处理。我们认为造成氧化炉结疤的因素有以下几个方面：

1、氧化炉结构设计存在不合理问题。

2、预防结疤及除疤措施不够合理有效。

3、氧化炉材质方面问题：材质不能耐受长时间的高温氧化腐蚀和冲刷，造成运行过程中炉内结构及几何尺寸的变化。

氧化反应器的结构是氧化反应器设计成功与否的关键。反应器中气流的分布将直接影响反应物料的停留时间分布、浓度分布、温度和压强分布等，并进而影响到反应产物的性能。与此同时，反应器的结构参数、反应气流混合特征的改善必然有利于预防结疤的生成。一般意义上讲，钛白氧化反应器有以下几部分组成：高温氧入口、二次氧入口、 TiCl_4 气体入口、气体分布装置、反应室、除疤装置（多种方式）、冷却装置（直冷、间冷）以及氧气预热装置（多种）等。为了获得最佳混合效果，得到粒度与晶型均一的产品，氧化反应器结构形式的设计以及反应器内气流分布规律的研究非常重要。

另一方面，及时清除反应器的疤层，是开发氯化法钛白生产技术的核心问题之一。国内外有关 TiCl_4 气相氧化反应器的除疤技术，形式各异，手段多样。氧化反应器的除疤方法归结起来主要有喷砂除疤、高压静电除疤、机械振动除疤、超声振动除疤、多孔壁除疤、料幕和气幕除疤以及喷砂超声除疤等。美国杜邦公司早期的专利 USP3284159 采用冷氯气或惰性气体，在加压情况下，进入气相氧化反应器，通过多孔壁在管式反应器内形成一层遮蔽气幕，以阻止 TiO_2 颗粒在器壁上粘结。多孔壁有一定的防疤功能，但多孔壁微孔的加工相当困难，更重要的是该方法对 TiCl_4 喷口处的结疤无能为力。英国专利 BP1208027 介绍了料膜除疤的方法，该方法所加的载气量相当大，相应的热损失亦大，有可能引起熄火，使生产中断，另外，还存在降低 TiCl_4 与 O_2 的初始反应温度，影响产品质量，加大能耗，增加成本等问题，尤其是该专利仍没有解决 TiCl_4 喷口处的结疤问题。其他专利如 USP3512219、BP171113 等采用强制性的除疤方法，即采用载气氧气或氮气携带预热的石英砂高速沿管壁向下运动，从而除掉高温区的烧结疤和炉内的疤层沉积，然后用一系列的分离设备，将其分离出来，以循环使用。专利 93243693.5 报道了一种氯化法钛白高速气流喷粒除疤氧化反应器。在炉头部分，采用二次氧的加入技术，高速气流携带的固体粒子，具有很大的动能，从而除掉高温区的烧结疤并使 TiCl_4 进口部分的疤层沉积减弱，但是输送粒料是通过蝶阀因而不能连续除疤。专利 00243616.7 中反应器的喷盐装置由蝶阀改为旋转给盐阀，高速气流

夹带适量的固体颗粒，可使喷扫面连成一片，达到连续除疤的目的。对于上述喷砂式反应器，由于石英砂喷入量大，其消耗量亦大，因而引起过度的热损失，同时石英砂易对喷嘴、反应器和冷却导管造成较大磨损，使其寿命降低，而且除疤装置对高温区和喷口处的疤不能清除干净，另外在石英砂预热、喷身及与产品分离和循环使用等方面还需要增加一系列额外的工艺设备。专利 01129318.7 采用了自制的人造钛白疤料代替石英砂做除疤料，该料既是除疤粒料又用来做原料，该除疤料不磨损炉管壁又达到节约原料的目的；炉头上设计了带有一定夹角的喷枪与喷粒装置连接在一起，其喷粒除疤由计算机程序控制，高速气流夹带适量的人造钛白疤料，沿颗粒通道内壁轴向下，其动能很大，加上炉身上的喷盐，使喷扫面连成一片。但是该技术在工业应用中，对喷嘴处及距环缝下游 10-30cm 处疤料的清除效果仍然不好。

在改善气体混合效果的研究中，专利 USP3540853、USP3582278 报道了一种四氯化钛进料环，该进料环通过均匀小孔，分割四氯化钛高温蒸汽，实现高温氧气与四氯化钛的混合，且为了防止反应器内壁结疤，在四氯化钛进料环的上方设置清洗环和在其下游设置气膜保护环。专利 USP1286760、USP3615202 报道了采用狭缝射流，实现高温氧气与四氯化钛的混合。实验发现，采用环隙射流和均匀等尺寸开孔射流混合时，四氯化钛在进料环内的流动为变质量流动，环内不同区域的压力存在很大的不均匀性，由于相邻区域射流的动量相近，射流的穿透距离也相近，导致不同周向位置的射流速度存在较大差异，较难保证四氯化钛在整个反应器的横向截面与高温氧气混合均匀。研究表明在四氯化钛进料环中设置一个整流环，对四氯化钛进料环内气体流动进行整流，可使切向流动减慢，压力分布趋于均匀，从而得到性能显著改善的二氧化钛产品。专利 00116465.1 提出在四氯化钛进料环上设置不等径或不同结构的射流孔，并使其相间排列，从而调整四氯化钛进料环各射流的动量比，实现反应物料的快速混合。在四氯化钛进气管的进气方式上，华东理工大学研究表明径向进气时进气环内的气体流动方式与切向进气相同，但由于附壁效应，轴向进气时气体流动方向具有不稳定性，气流在进口处对器壁的直接冲击和进口处流道的突然扩张，造成的阻力损失较大，因此，四氯化钛进气环宜选用切向进气方式。

发明内容

本发明的目的在于：提供一种新型氧化反应器制备钛白的方法及其装置，具体涉及到在预混合型燃烧反应器内四氯化钛气相氧化制备金红石型钛白粉的方法，按此工艺可以在保证钛白粉质量的基础上，减少反应器内结疤物的生成，延长反应器的使用

周期，提高钛白粉的产能。本发明的内容如下：

制备钛白的方法：对反应物料两步加热，即在预热炉内分别将反应物 TiCl_4 和 O_2 预热到 $400-600^\circ\text{C}$ 和 $800-1000^\circ\text{C}$ ，在反应物料进入氧化反应器同时引入雾化燃料，借其燃烧直接把反应物料加热到 $1500-1800^\circ\text{C}$ ；晶型转化剂 AlCl_3 采用气相法引入；为给氧化尾气直接送往氯化工序创造条件，反应器采用正压操作；产品收集采用袋滤器一次完成。预热氧气和可燃气体在预燃烧室中形成高温含氧气流，从燃烧区 1 来的含氧热气流均匀地流入混合反应区 2，四氯化钛蒸汽经过加料环，以环缝射流的方式高速喷入高温氧气流中快速混合。在一个直管反应室高温氧气流与经过预热的气态 TiCl_4 和晶型转化剂 AlCl_3 混合并进行快速反应；经反应和成核生成金红石型二氧化钛，生成的钛白粉 TiO_2 进入冷却区 3。初步预热氧气温度为 $800-1000^\circ\text{C}$ ，经燃烧加热后高温含氧气流的温度为 $1500-1800^\circ\text{C}$ ； TiCl_4 和晶型转化剂 AlCl_3 的预热温度为 $400-600^\circ\text{C}$ ；晶型转化剂 AlCl_3 的添加量为反应物 TiCl_4 摩尔数的 0.5-15%；晶型转化剂的添加量优先选择范围为 1-5%。可燃气体与过量的氧气在燃烧区 1 燃烧，生成高温含氧气流，然后进入混合反应区 2；燃烧区和混合反应区的过渡段采用喉口结构，流线型设计加速了高温含氧气流的速度，一方面强化了与射流气体的混合，另一方面对反应器壁结疤产生一定冲刷作用。 TiCl_4 气态氧化反应在高速流动下进行并迅速进入冷却区 3，反应产物迅速冷却，产物钛白粉与尾气进行分离。

本发明的装置包括：燃烧区 1、混合反应区 2、冷却区 3，加料管 10、11，冷却水进口 12、冷却水出口 13、圆柱环 14、15。混合反应区 2 包括 TiCl_4 进料环 4 和二次氧进料环 5。在进料环 4、5 内分别设有整流室 7、9 和射流室 6、8。

预热的气态 TiCl_4 和晶型转化剂 AlCl_3 混合气以切向方式从加料管 10 进入进料环 4；轴向的高温含氧气流与经过预热的气态 TiCl_4 和晶型转化剂 AlCl_3 呈一定角度交叉射流混合并进行反应。

气态 TiCl_4 反应物和晶型转化剂 AlCl_3 进料环 4 内固定一个圆柱环 14，圆柱环将原来的单元环道分割成内环道和外环道，构成了射流室 6 和整流室 7，射流室 6 位于高温氧气通道 16 和整流室 7 之间。圆柱环相当于一个气体流动阻力部件，使气体由原来的一次分布改变为二次分布。

在 TiCl_4 进料环 4 的下游设置二次氧气体进料环 5，二次氧气以轴向方式从加料管 11 进入进料环 5。二次氧进料环 5 内设有一圆柱环 15，构成了射流室 8 和整流室 9。射流室 8 位于高温气体混合通道和整流室 9 之间。二次氧进料环 5 内的圆柱环 15 使除

疤气体的切向流动减慢，压力分布趋于均匀，经过整流后喷射的附壁高速气流兼具气膜保护和清洗的作用，能够实现使射流混合部分的疤层沉积减弱的作用。

本发明所述的氧化反应器在冷却区 3 的结构为柱体平行结构，燃烧区和混合反应区的过渡段采用喉口结构， TiCl_4 射流室 6 的喷口面积尺寸满足 TiCl_4 穿透率小于 0.5，同时尽量通过喷口角度和面积调整增大射流在高温氧气流内的穿透能力，加强混合效果。射流室 6 的环缝喷口轴线与氧化炉轴线的角度在 $30-90^\circ$ 之间，优先选择 $45-75^\circ$ 之间。

(1) 氧化反应器内流体流动的传质过程， TiCl_4 与 O_2 两股气流混合规律，不仅关系到原料和能量的充分利用而且要影响到产品的质量、结疤的产生。本新型氧化炉反应器的结构设计与氧化反应机理密切结合，反应器结构有利于高温气流和四氯化钛在极短的时间和很小的空间内迅速而密切地进行扩散混合，气流内部达到高度的湍动和激烈的动量交换，并保证合理的停留时间，同时避免任何宏观逆向流动，不产生严重的返流和死角现象，尽量保持炉内流动稳定，以确保得到粒度尺寸合格，粒度分布均匀和晶型转化率高的金红石型钛白粉。

(2) 传统的设计思想认为，反应器应该是反应区内径向浓度均匀分布的湍流反应器，这样可以达到最佳的混合效果和反应效果，气体浓度在反应器截面上分布越均匀，对反应过程越有利。但是，针对钛白氧化反应器容易结疤的特点，我们设计的新型氧化反应器为反应区内径向浓度不均匀分布的湍流反应器。通过选择径向浓度分布不均匀的气流分布方式，例如，采用壁面浓度低，中心浓度高的气体分布方式，反应将集中在反应器中心部分进行，避免了在器壁附近存在较高浓度的反应产物。因为器壁附近的高浓度反应产物容易造成反应器壁的结疤现象，进而影响到产品的质量和氧化炉使用周期。

(3) 为了减缓反应器内壁结疤，应该减少高温反应气流与反应器壁的接触时间和机率。提出在 TiCl_4 射流的下游设置二次氧进料环，并且在二次氧的进料环中设置一个气体流动阻力部件，对二次氧进料环内气体流动进行整流，使切向流动减慢，压力分布趋于均匀。通过二次氧高速气流在反应物交叉射流混合的反应器部位形成高速气膜，以隔离初生气溶胶产物 TiO_2 与反应器内壁，防止结疤，并对初生的絮状结疤即堆结疤层进行正面喷扫、冲刷，起到防止坚硬难除的烧结疤层生成的作用。

(4) 不同于传统氧化炉的冷却部分的锥体收缩结构，新型氧化反应器在冷却区的结构为柱体平行结构，从而更有利于预防结疤的生成，并强化除疤气体的边界层流动，加强了气膜保护效果和除疤强度。

(5) 利用燃烧区向混合区的喉口结构设计, 提高了轴向高温氧气流的气速, 一方面强化了与射流气体 TiCl_4 和 AlCl_3 的混合, 另一方面对反应器壁易结疤处的物料产生一定冲刷作用。

(6) 在满足 TiCl_4 穿透率小于 0.5 的前提下, 通过调整 TiCl_4 射流环的环缝入射角度和面积, 尽量提高射流 TiCl_4 与高温氧气流的气速比, 即增加射流体在高温氧气流内的穿透能力, 强化反应区气体混合效果。

本发明的优点在于: 加强了射流气体的穿透率并强化了二次氧防疤气体的边界层流动, 在保证产品质量的前提下, 能够减少反应器内结疤物的生成, 延长反应器的使用周期。

附图说明

图 1 是本发明氯化法钛白新型氧化反装置的结构示意图。该装置包括: 燃烧区 1、混合反应区 2 和冷却区 3。混合反应区 2 包括 TiCl_4 进料环 4 和二次氧进料环 5。在进料环 4 与 5 内分别设有整流室 7、9 和射流室 6、8。其中: 加料管 10、11, 冷却水进口 12、冷却水出口 13、圆柱环 14、15。

图 2 为本发明新型氧化反应器结疤物正面 (a) 与工业氧化反应器结疤物截面 (b) 的 SEM 照片。

具体实施方式

实施例 1: 预防结疤

首先, 使用特殊预热器把氧气加热到约 1000°C 左右, 预热器的设计原则是尽量提高进入氧化反应器的氧气温度。再利用甲苯的燃烧把氧气加热到反应温度 1800°C 左右; 热 TiCl_4 气体从预热器出来后, 进入 AlCl_3 发生器, 此 AlCl_3 是铝粉和从发生器上部进入的氯气反应的产物, 反应产物 AlCl_3 放热, 使 TiCl_4 和 AlCl_3 混合温度升高至 550°C , 混合流体进入 TiCl_4 氧化反应器。

使用二次氧在 TiCl_4 进料环后高速切向进入反应器, 经整流的高速二次氧在反应器的混合区及后续反应区 (圆柱形冷却区) 内壁形成气幕冷却层, 以隔离初生反应产物—溶胶状 TiO_2 与反应器内壁, 使反应热气体不能到达器壁, 从而没出现沉积结疤, 同时高速气流产生剧烈冲刷作用, 抑制了烧结疤层的产生。新型反应器模型内结疤与工业氧化反应器结疤的 SEM 照片见图 2。新型氧化反应器的结疤较薄且没有明显的分层现象, 而工业氧化反应器因存在气流停留时间不均匀和死区而造成在反应器壁上形成初生絮状堆结疤层, 后经过长时间处在高温区而部分形成烧结疤层。

实施例 2: 预防结疤

首先把氧气预热到 800℃, 再利用甲苯的燃烧把氧气加热到反应温度 1600℃; 热 TiCl₄ 气体从预热器出来后, 进入 AlCl₃ 发生器, TiCl₄ 和 AlCl₃ 混合温度升高至 500℃, 混合流体进入 TiCl₄ 氧化反应器。使用二次氧在 TiCl₄ 进料环后高速切向进入反应器, 经整流的高速二次氧在反应器的混合区及后续反应区(圆柱形冷却区)内壁形成气幕冷却层, 反应器内没有烧结疤层的产生。

实施例 3: 钛白质量控制

颗粒平均粒径依赖于在反应中形成的晶核数量。晶核数量依赖于成核物质在反应温度下的活性和数量。为了控制晶核数量, 一方面, 控制气体混合程度, 另一方面, 控制反应温度。高的反应温度会形成太多的晶核, 导致平均颗粒变细; 低的反应温度形成的晶核又太少, 使平均颗粒变粗。在这个工序中, 四氯化钛的喷射进料非常关键, 因为它涉及到能否实现氧气和 TiCl₄ 快速、均匀的混合。如果这两种反应物混合不均匀, 那么生成的粒子就可能大小不一, 即使平均粒径达到了要求, 但粒径分布会较宽。如果反应不够快, 则很难获得均匀的粒子成长速率。另外, 重要的控制环节就是改变反应的温度以使钛白颗粒粒径达到要求。本反应器中预燃烧火焰的温度控制在 1700℃左右。另外, 为阻止钛白颗粒的长大, 必须对产物通过冷却区时进行激冷。冷却区把反应气体从 1800℃冷却到 150℃。为了生产具有金红石结构的 TiO₂, 通过在进料中加入晶型转化剂 AlCl₃ 来实现。当 AlCl₃ 的量在 3%时, 产品中金红石含量可达到 99%; 当 AlCl₃ 的量在 10%时, 产品中金红石含量可达到 100%。另外, 反应产物在氧化反应器的停留时间是非常重要的。必须保证反应初生的 TiO₂ 在高温下有足够的时间来实现锐钛型向金红石型结构的转化。混合和停留时间的问题可通过适当的气体速率和反应器的大小来解决。

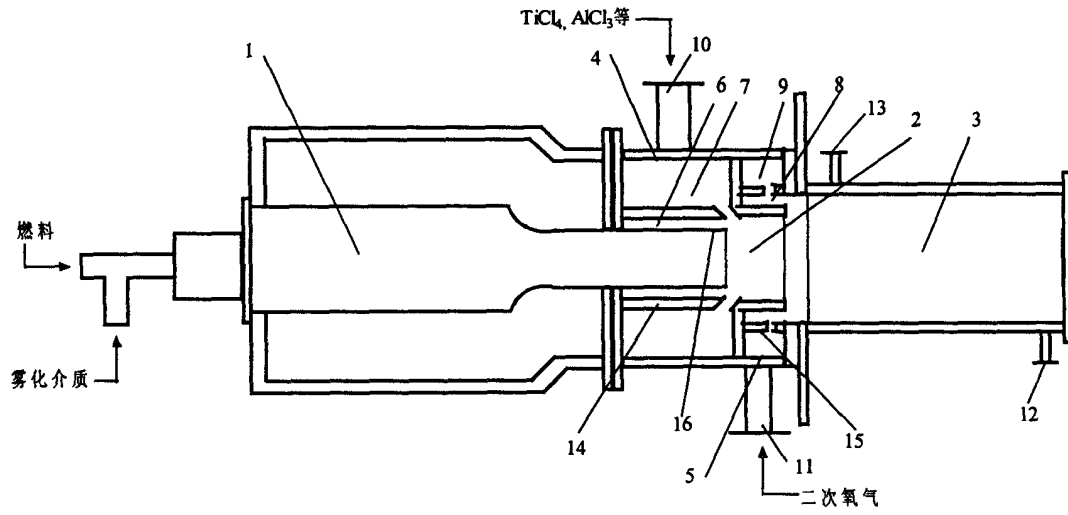
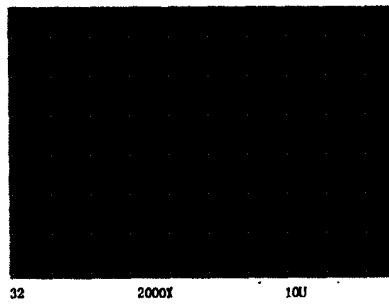
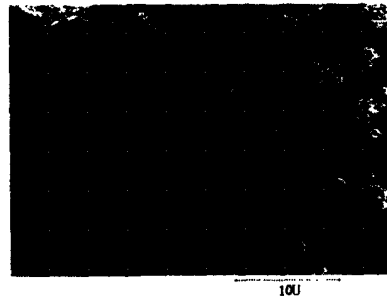


图 1



(a)



(b)

图 2