



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113249539 A

(43) 申请公布日 2021.08.13

(21) 申请号 202110675110.8

(22) 申请日 2021.06.17

(71) 申请人 北京金博威科技有限公司
地址 100000 北京市海淀区中关村北二条
13号25幢平房102房间

(72) 发明人 魏小波 靳辉 臧灵霞 马井阳
魏洪炎

(74) 专利代理机构 北京超凡宏宇专利代理事务
所(特殊普通合伙) 11463
代理人 林之权

(51) Int.Cl.
C21B 13/08 (2006.01)

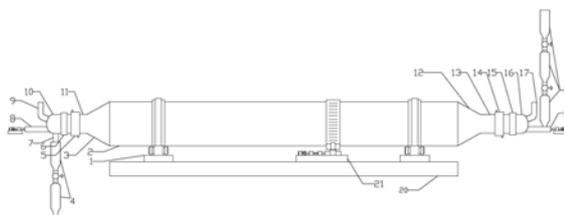
权利要求书1页 说明书13页 附图5页

(54) 发明名称

一种空悬式回转窑反应器及其反应方法

(57) 摘要

本发明提供了一种空悬式回转窑反应器及其反应方法,其中空悬式回转窑反应器包括:回转窑筒体,所述回转窑筒体包括主筒体以及连接在所述主筒体两端分别向外收缩的变径,所述变径的缩口端均连接有回转筒节,所述回转筒节连接有封闭机构,所述封闭机构与所述回转筒节的相接处设置有密封组件;所述主筒体的内部设置有多个抄扬组件,能够使颗粒铁氧化物在所述回转窑筒体转动时形成多层物料帘,并使还原气穿行于多层物料帘与颗粒铁氧化物充分接触。通过在缩颈后的回转筒节上连接封闭机构,降低了密封组件在回转筒节与封闭机构之间的安装难度,构成的多层物料帘有效增大了颗粒铁氧化物与还原气的接触面积,能够更加充分完全地进行反应。



1. 一种空悬式回转窑反应器,其特征在于,包括:回转窑筒体,所述回转窑筒体包括主筒体以及连接在所述主筒体两端分别向外逐渐收缩的变径部,所述变径部的缩口端均连接有回转筒节,所述回转筒节连接有封闭机构,所述封闭机构与所述回转筒节的相接处设置有密封组件;

所述主筒体的内部设置有多个抄扬组件,能够使颗粒铁氧化物在所述回转窑筒体转动时形成多层物料帘,并使还原气穿行于多层物料帘与颗粒铁氧化物充分接触。

2. 根据权利要求1所述的空悬式回转窑反应器,其特征在于,所述封闭机构设置有所述回转筒节的径向外侧,所述回转筒节的至少一部分伸入所述封闭机构的内部;所述封闭机构包括封闭筒节、膨胀节及封头,所述密封组件设置在所述封闭筒节与所述回转筒节的相接处。

3. 根据权利要求1所述的空悬式回转窑反应器,其特征在于,所述回转筒节包括窑头回转筒节及窑尾回转筒节,所述封闭机构包括窑头封闭机构及窑尾封闭机构,所述窑头封闭机构上设置有冷却气进口。

4. 根据权利要求3所述的空悬式回转窑反应器,其特征在于,所述窑头封闭机构包括窑头封闭筒节、窑头膨胀节及窑头封头,所述窑尾封闭机构包括窑尾封闭筒节、窑尾膨胀节及窑尾封头,所述窑头封头上连接有用于进气的进气管,所述窑尾封头上连接有用于排气的出气管;

所述进气管的至少一部分伸入所述窑头回转筒节,所述出气管的至少一部分伸入所述回转窑筒体。

5. 根据权利要求4所述的空悬式回转窑反应器,其特征在于,所述窑尾封闭机构内部设置有用于进料的进料螺旋,所述进料螺旋的上部设置有用于密闭进料的闭锁进料料斗;所述窑头封闭机构内部设置有用于出料的出料螺旋,所述窑头封头的底部设置有出料口,所述出料口连接有用于密闭出料的闭锁出料料斗。

6. 根据权利要求3所述的空悬式回转窑反应器,其特征在于,所述变径部包括窑头变径,所述窑头变径及所述窑头回转筒节内部分别设置有用于导出物料的窑头变径导流板及窑头导流板。

7. 根据权利要求6所述的空悬式回转窑反应器,其特征在于,所述窑头变径导流板朝所述回转窑筒体的转动方向倾斜设置;

所述窑头导流板设置在所述窑头回转筒节与所述窑头变径的相接处。

8. 根据权利要求1所述的空悬式回转窑反应器,其特征在于,所述抄扬组件包括沿所述主筒体的轴向间隔均布的多段,每段所述抄扬组件在所述主筒体的径向间隔均布。

9. 根据权利要求8所述的空悬式回转窑反应器,其特征在于,每个所述抄扬组件包括抄板及扬板,所述抄板的一端连接在所述主筒体的内壁上,另一端与所述扬板连接。

10. 一种采用权利要求1-9中任一项所述的空悬式回转窑反应器进行的反应方法,用于利用还原气还原颗粒铁氧化物直接获得颗粒直接还原铁,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 将颗粒铁氧化物与还原气分别预热;

(2) 所述颗粒铁氧化物通过抄扬组件构成多层物料帘,并与穿行于多层物料帘的还原气充分逆向接触反应,还原得到颗粒直接还原铁。

一种空悬式回转窑反应器及其反应方法

技术领域

[0001] 本发明涉及冶金技术领域,具体而言,涉及一种空悬式回转窑反应器及其反应方法。

背景技术

[0002] 钢铁冶炼行业包括高炉炼铁技术和非高炉炼铁技术,非高炉炼铁技术又分直接还原和熔融还原,直接还原又包括气基还原和煤基还原两种形式。在高炉炼铁过程中炼焦和烧结会排放大量的粉尘、二氧化碳和其它气体,给环境带来了很大的压力。

[0003] 非高炉炼铁技术中,气基还原工艺使用还原气将铁矿石中的氧化铁还原为金属化球团,比传统的碳还原法炼铁效率更高,不需要炼焦和烧结,生产过程更清洁。

[0004] 目前气基还原技术以Midrex气基竖炉技术和HYL气基竖炉技术为主,使用气基竖炉需要先把铁矿和粘结剂混合、焙烧获得氧化球团,然后使用还原气高温下进行还原,还原气主要来自于天然气经过水蒸气变换或重整得到的合成气、煤气化得到的合成气或焦炭行业的焦炉尾气等。Midrex气基竖炉中还原气在850-950℃下进入竖炉,反应压力在0.5MPa左右,能获得金属化率92-93%的金属化球团;HYL气基竖炉的还原气需要预热至900-960℃,反应压力在0.4-0.6MPa, H_2/CO 为5.6-5.9,可获得平均金属化率在91-95%的金属化球团。

[0005] 除了竖炉技术以外,气基还原技术还有流化床技术,其中最具代表性的是FINMET技术和H-IRON技术。FINMET是流化床直接还原的代表性技术,也是目前唯一在生产的流化床直接还原流程,由奥钢联与委内瑞拉FIORe公司联合开发,其主要流程是采用四级串联的流化床,最终得到93%左右金属化率的产品,并将产品热压块得到最终产品。H-IRON技术是一种高压低温流化还原技术,该技术由Hydro carbon Research Inc和Bethlehem Steel Comp联合开发,还原气中含96%的氢气,采用包含三段床层的流化床,矿粉在还原床内共停留45h,操作气速使床层操作在鼓泡床的范围,在各段分别获得47% (第一段)、87% (第二段)、98% (第三段)的还原度, H_2 单程转化率为5%左右,间断操作,本技术由于经济效益问题已无商业装置运行。

[0006] 目前直接还原技术基本大部分都采用竖炉技术,少量采用煤基直接还原技术,以产出高金属化率的金属球团,或将球团热压成块作为产品。以铁粉为产品的流化床技术由于铁矿粉停留时间长、还原气利用效率低、产品金属化率低、高温下铁颗粒之间相互粘结影响流态化、装置运行不平稳,经济效益差等原因,仅有极少数工厂还在运行。

[0007] 随着我国天然气资源的大力开发,以及太阳能发电、电解制氢等新能源技术和产业的快速发展,使用天然气或氢气进行冶炼钢铁在成本上越来越可行,并有利于减小二氧化碳排放。

[0008] 回转窑是一种常见的高温设备,广泛用于冶金、化工、建筑耐火材料、环卫等工业,常规的回转窑分为水泥回转窑、石灰回转窑和冶金化工回转窑。回转窑内通过筒体的旋转,可以将物料不断翻转,并可以在筒体上设置抄板,加强物料翻滚,达到更好的混合效果,对于大型的水泥和石灰回转窑,可以在窑内喷燃气或喷煤粉,使窑内温度达到上千度的温度,

我国水泥和石灰基本都采用回转窑生产。

[0009] 回转窑也可以用来应用于冶金工业,在直接还原铁的产量中,有接近1/4的还原铁都采用煤基回转窑生产,产量每年上千万吨,如CN1016618B公开了回转窑中直接还原含有铁氧化物物料生产直接还原铁的方法,利用固体含碳还原剂将含有氧化铁的物质还原为直接还原铁。

[0010] 在实际操作和运行中,煤基回转窑生产直接还原铁还有一些缺点,如煤粉利用率不高、需要利用磁选将固体物料分离、煤中含有的杂质容易进入直接还原铁产品、高温下铁粉粘结导致回转窑筒体结圈停产、以及设备密封不严导致气体泄露等。

[0011] 现有大型回转窑的直径达5m以上,由于直径太大,给密封带来困难,绝大多数回转窑都在微负压的情况下操作,对于有还原气氛的直接还原铁生产工况无疑增大了危险系数。

发明内容

[0012] 本发明的目的在于提供一种空悬式回转窑反应器,能够使颗粒铁氧化物在回转窑反应器内构成空悬式的物料帘,能够与还原气充分接触得到均匀混合,并且通过在回转窑两端设置变径的形式来降低对系统密封的难度。

[0013] 本发明的另一目的在于提供一种基于上述空悬式回转窑反应器进行的反应方法,利用还原气还原颗粒铁氧化物直接获得颗粒直接还原铁,有效提高反应效率,保障直接还原铁粉的金属化率。

[0014] 本发明提供的空悬式回转窑反应器,包括:回转窑筒体,所述回转窑筒体包括主筒体以及连接在所述主筒体两端分别向外逐渐收缩的变径部,所述变径部的缩口端均连接有回转筒节,所述回转筒节连接有封闭机构,所述封闭机构与所述回转筒节的相接处设置有密封组件;

[0015] 所述主筒体的内部设置有多个抄扬组件,能够使颗粒铁氧化物在所述回转窑筒体转动时形成多层物料帘,并使还原气穿行于多层物料帘与颗粒铁氧化物充分接触。

[0016] 进一步,所述封闭机构设置有所述回转筒节的径向外侧,所述回转筒节的至少一部分伸入所述封闭机构的内部。

[0017] 进一步,所述封闭机构包括封闭筒节、膨胀节及封头,所述密封组件设置在所述封闭筒节与所述回转筒节的相接处。

[0018] 进一步,所述密封组件上设置有冷却水进口及冷却水出口。

[0019] 进一步,所述回转筒节包括窑头回转筒节及窑尾回转筒节,所述封闭机构包括窑头封闭机构及窑尾封闭机构,所述窑头封闭机构上设置有冷却气进口。

[0020] 进一步,所述窑头封闭机构包括窑头封闭筒节、窑头膨胀节及窑头封头,所述窑尾封闭机构包括窑尾封闭筒节、窑尾膨胀节及窑尾封头,所述窑头封头上连接有用于进气的进气管,所述窑尾封头上连接有用于排气的出气管。

[0021] 进一步,所述进气管的至少一部分伸入所述窑头回转筒节,所述出气管的至少一部分伸入所述回转窑筒体。

[0022] 进一步,所述窑尾封闭机构内部设置有用于进料的进料螺旋,所述进料螺旋的上部设置有用于密闭进料的闭锁进料料斗。

- [0023] 进一步,所述窑头封闭机构内部设置有用于出料的出料螺旋,所述窑头封头的底部设置有出料口,所述出料口连接有用于密闭出料的闭锁出料料斗。
- [0024] 进一步,所述窑头封闭筒节与所述窑头回转筒节之间设置有挡料板。
- [0025] 进一步,所述变径部包括窑头变径,所述窑头变径及所述窑头回转筒节内部分别设置有用于导出物料的窑头变径导流板及窑头导流板。
- [0026] 进一步,所述窑头变径导流板朝所述回转窑筒体的转动方向倾斜设置。
- [0027] 进一步,所述窑头导流板设置在所述窑头回转筒节与所述窑头变径的相接处。
- [0028] 进一步,所述主筒体内部连接有主筒体导流板,所述主筒体导流板设置在所述主筒体位于所述窑头变径的一侧。
- [0029] 进一步,所述窑头导流板及所述主筒体导流板分别倾斜设置在所述窑头回转筒节及所述主筒体的径向方向上。
- [0030] 进一步,所述变径部还包括窑尾变径,所述窑尾变径内部设置有用于导入物料的窑尾变径导流板。
- [0031] 进一步,所述抄扬组件包括沿所述主筒体的轴向间隔均布的多段,每段所述抄扬组件在所述主筒体的径向间隔均布。
- [0032] 进一步,多段所述抄扬组件沿所述主筒体的轴向交错布置。
- [0033] 进一步,每个所述抄扬组件包括抄板及扬板,所述抄板的一端连接在所述主筒体的内壁上,另一端与所述扬板连接。
- [0034] 进一步,所述抄板沿所述主筒体的径向延伸。
- [0035] 进一步,所述抄板的长度与所述主筒体的直径的比例为1:20-1:3。
- [0036] 进一步,所述扬板为半圆形的弯板结构,所述扬板的半径与所述抄板的长度的比例为1:10-1:2。
- [0037] 进一步,所述抄板的宽度与所述扬板的宽度相同。
- [0038] 一种采用上述空悬式回转窑反应器进行的反应方法,用于利用还原气还原颗粒铁氧化物直接获得颗粒直接还原铁,包括以下步骤:
- [0039] (1) 将颗粒铁氧化物与还原气分别预热;
- [0040] (2) 所述颗粒铁氧化物通过抄扬组件构成多层物料帘,并与穿行于多层物料帘的还原气充分逆向接触反应,还原得到颗粒直接还原铁。
- [0041] 进一步,颗粒氢氧化物的预热温度为500-750℃,还原气的预热温度为450-650℃。
- [0042] 进一步,所述空悬式回转窑反应器的操作压力为0.01-3MPa,优选为0.05-2.5MPa,更优选为0.1-2MPa。
- [0043] 进一步,颗粒铁氧化物在所述空悬式回转窑反应器中的停留时间为1-15h,优选为2-10h,更优选为3-8h。
- [0044] 进一步,颗粒氢氧化物的平均粒径为0.015-4mm,优选为0.05-2mm,更优选为0.1-1mm。
- [0045] 进一步,以体积分数计,还原气中H₂含量>50%,CO₂含量<3%。
- [0046] 进一步,以体积分数计,还原气中H₂含量为75-100%,CO含量为0-10%,CO₂含量为0-1%。
- [0047] 本发明的有益效果主要在于:通过在主筒体的两端分别连接向外逐渐收缩的变径

部,并在缩小尺寸后的回转筒节上连接封闭机构,降低了密封组件在回转筒节与封闭机构之间的安装难度,有效保证了空悬式回转窑反应器的密封性。同时,变径的回转筒节和主筒体形成了类葫芦口的结构,使回转窑底部的物料厚度有效大大提高,增加了固体物料装填量,增加了设备的生产能力。

[0048] 通过在主筒体内部设置的多个抄扬组件,能够使颗粒铁氧化物在回转窑筒体转动时,在主筒体内部构成多层物料帘,形成颗粒铁氧化物在回转窑筒体内部的均匀分布,并构成在回转窑反应器内部空悬式的布料形式。

[0049] 还原气在回转窑筒体内部穿行于多层物料帘,能够与均匀分布的颗粒铁氧化物充分接触,改善了颗粒铁氧化物的布料工况。

[0050] 通过在主筒体内部构成的多层物料帘,有效增大了颗粒铁氧化物与还原气的接触面积,能够更加充分完全地进行反应。

[0051] 通过本发明中空悬式回转窑反应器进行的反应方法,能够使颗粒铁氧化物及还原气相向逆行,并使还原气穿行于颗粒铁氧化物的多层物料帘,在还原气与颗粒铁氧化物的接触中直接进行还原反应,达到利用还原气还原颗粒铁氧化物直接获得颗粒直接还原铁的技术目的。

[0052] 本发明中的空悬式回转窑反应器以及反应方法,无需将铁矿粉成球,也无需引入煤粉等易带入杂质的还原剂,且并不需要额外设置燃烧喷嘴等复杂构件,具有设备构造简单,操作温度低等特点,且通过对颗粒铁氧化物的不断翻转和抄扬,克服了铁矿粉粘结的弊端,可以获得优质的颗粒状直接还原铁产品。

附图说明

[0053] 为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,应当理解,以下附图仅示出了本发明的某些实施例,因此不应被看作是对范围的限定,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他相关的附图。

[0054] 图1为本发明中空悬式回转窑反应器的结构示意图;

[0055] 图2为本发明中窑头以及窑尾的剖视结构示意图;

[0056] 图3为本发明中窑头变径导流板的结构示意图;

[0057] 图4为本发明中窑头导流板的结构示意图;

[0058] 图5为本发明中主筒体导流板的结构示意图;

[0059] 图6为本发明中抄扬组件在主筒体内部的分布状态图;

[0060] 图7为本发明中抄扬组件的结构示意图;

[0061] 图8为本发明中物料在回转窑筒体转动时的状态示意图。

[0062] 图中:

[0063] 1-滚轴支撑;2-主筒体;3-窑头变径;4-闭锁出料料斗;5-窑头密封组件;6-窑头膨胀节;7-出料口;8-出料螺旋;9-进气管;10-窑头封头;11-窑头回转筒节;12-窑尾变径;13-窑尾回转筒节;14-窑尾密封组件;15-窑尾膨胀节;16-窑尾封头;17-出气管;18-闭锁进料料斗;19-进料螺旋;20-基座;21-传动装置;22-窑头封闭筒节;23-窑尾封闭筒节;31-挡料板;32-冷却气进口;33-主筒体导流板;34-窑头变径导流板;35-窑头导流板;36-冷却水出

口;37-冷却水进口;38-出料螺旋轴;39-出料驱动装置;40-出料螺旋管;41-进料驱动装置;42-进料螺旋轴;43-进料螺旋管;44-出气管口;45-窑尾变径导流板;51-抄板;52-扬板。

具体实施方式

[0064] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。通常在此处附图中描述和示出的本发明实施例的组件可以以各种不同的配置来布置和设计。

[0065] 因此,以下对在附图中提供的本发明的实施例的详细描述并非旨在限制要求保护的本发明的范围,而是仅仅表示本发明的选定实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0066] 应注意到:相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项,因此,一旦某一项在一个附图中被定义,则在随后的附图中不需要对其进行进一步定义和解释。

[0067] 在本发明的描述中,需要说明的是,术语“中心”、“上”、“下”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,或者是该发明产品使用时惯常摆放的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。此外,术语“第一”、“第二”、“第三”等仅用于区分描述,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0068] 此外,术语“水平”、“竖直”、“悬垂”等术语并不表示要求部件绝对水平或悬垂,而是可以稍微倾斜。如“水平”仅仅是指其方向相对“竖直”而言更加水平,并不是表示该结构一定要完全水平,而是可以稍微倾斜。

[0069] 在本发明的描述中,还需要说明的是,除非另有明确的规定和限定,术语“设置”、“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或一体地连接;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言,可以具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0070] 下面结合附图,对本发明的一些实施方式作详细说明。在不冲突的情况下,下述的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0071] 请参照图1-图2,本发明提供一种空悬式回转窑反应器,包括:回转窑筒体,所述回转窑筒体包括主筒体2以及连接在所述主筒体2两端分别向外逐渐收缩的变径部,所述变径部的缩口端均连接有回转筒节,所述回转筒节连接有封闭机构,所述封闭机构与所述回转筒节的相接处设置有密封组件;

[0072] 所述主筒体2的内部设置有多个抄扬组件,能够使颗粒铁氧化物在所述回转窑筒体转动时形成多层物料帘,并使还原气穿行于多层物料帘与颗粒铁氧化物充分接触。

[0073] 本发明中的空悬式回转窑反应器,主要进行颗粒铁氧化物的还原反应,通过在主筒体2的两端连接分别向外逐渐收缩的变径部,能够缩小回转窑两端的尺寸,通过在缩小尺寸后的回转筒节上连接封闭机构,能够减小回转筒节以及封闭机构之间密封组件的外形尺

寸,极大降低了密封组件的安装难度,并且使空悬式回转窑反应器整体的密封性得到可靠保障,有效提高了还原气作为还原剂条件下的安全可靠性能。

[0074] 通过在主筒体2内部设置的多个抄扬组件,回转窑筒体在转动时使颗粒铁氧化物能够形成多层物料帘的布料形式,通过形成的多层物料帘,能够使颗粒铁氧化物在主筒体2内部均匀分布,穿行于多层物料帘的还原气能够与颗粒铁氧化物充分接触,并在接触中进行还原反应,在保障气固接触面积的同时有效提高了反应效率。

[0075] 本发明中的空悬式回转窑反应器中,颗粒铁氧化物从窑尾进入反应系统,在回转窑筒体转动时以多层物料帘的形式逐渐向窑头方向移动,在与还原气持续接触还原后转化为颗粒直接还原铁,最终从窑头排出系统。

[0076] 还原气从窑头进入反应系统,并穿行经过多层物料帘后从窑尾排出,在穿行过程中还原气与颗粒铁氧化物构成的物料帘充分接触,对颗粒铁氧化物进行还原反应,有效构成了颗粒铁氧化物与还原气的逆向接触,极大改善了回转窑内部的反应工况。

[0077] 封闭机构设置在回转筒节的径向外侧,且回转筒节的至少一部分伸入封闭机构的内部,通过该种设置方式能够使封闭机构与回转筒节的一部分交叉重叠,从而在封闭机构与回转筒节之间构成环状间隙,利于密封组件的安装。

[0078] 在其中一个实施例中,封闭机构具体包括由外向内依次连接的封闭筒节、膨胀节及封头,封闭筒节具体为直管形式的短节,所述密封组件设置在所述封闭筒节与所述回转筒节的相接处。本发明中的回转窑筒体在运行过程中处于转动状态,转动组件具体由主筒体2、变径部以及回转筒节构成,设置在回转筒节以及封闭筒节之间的密封组件具体为动密封结构,可选用轴流密封或者机械密封等形式,本发明突出的是通过缩小尺寸后便于密封组件的安装角度,并不对密封组件的具体形式进行限定,这里不再赘述。

[0079] 基于空悬式回转窑反应器的高温反应条件,封闭机构包括的膨胀节能够释放抵消设备在运行过程中所产生的热力形变,有助于缓冲设备受热所产生的应力,保障设备的可靠运行。

[0080] 本实施例中的密封组件包括窑头密封组件5及窑尾密封组件14,为了降低密封组件在运行过程中的温度,本实施例中采用水冷形式对密封组件进行降温,在窑头密封组件5及窑尾密封组件14上均设置有冷却水进口37及冷却水出口36,设备运行时通过在冷却水进口37及冷却水出口36通入从外部引入循环冷却水的形式对密封组件进行降温,有效降低了密封组件在运行中的温度,延长了使用寿命。

[0081] 除了通过水冷形式对窑头密封组件5进行降温,本发明还通过通入冷却气的形式对窑头密封组件5进行降温。具体地,回转筒节包括窑头回转筒节11及窑尾回转筒节13,所述封闭机构包括与窑头回转筒节11与窑尾回转筒节13相对应的窑头封闭机构及窑尾封闭机构,窑头封闭机构上连接有冷却气进口32。

[0082] 通过在窑头封闭机构上设置冷却气进口32,并通过冷却气进口32连接冷却气管道,一方面能够对窑头位置的出料进行冷却,另一方面能够在循环水中断时对密封组件进行冷却。

[0083] 基于本发明中在空悬式回转窑反应器中充入还原气的反应工况,还原气优选氮气等惰性气体,在对密封组件起到冷却效果的同时还能对反应系统起到良好的保护作用,使窑头部位的空间处于惰性气氛中,防止经还原后得到的颗粒直接还原铁在出料时的重新氧

化。

[0084] 在另一个实施例中,窑头封闭机构包括窑头封闭筒节22、窑头膨胀节6及窑头封头10,所述窑尾封闭机构包括窑尾封闭筒节23、窑尾膨胀节15及窑尾封头16,所述窑头封头10上连接有助于进气的进气管9,所述窑尾封头16上连接有助于排气的出气管17。

[0085] 通过在窑头封头10上的进气管9以及在窑尾封头16上的出气管17,能够使还原气从窑头部分进入反应系统,并沿回转窑筒体的轴向向窑尾移动,经反应后的还原气从窑尾部分排出反应系统。

[0086] 颗粒铁氧化物在空悬式回转窑反应器内部进行的还原反应主要在回转窑筒体内进行,为了使还原气能够直接进入回转窑筒体,进气管9末端的至少一部分伸入回转窑筒体所包括的窑头回转筒节11,同时为了减少还原气在窑尾部分的聚集,出气管17的至少一部分伸入回转窑筒体,具体地,出气管17在回转窑筒体内的端部即出气管口44设置在位于窑尾的窑尾变径12中,通过该种设置方式能够使反应后的还原气在经过主筒体2后随即从系统中排出,以减少反应后还原气在反应系统内部的聚集量,使颗粒铁氧化物的还原反应进行的更加充分。

[0087] 本发明中颗粒铁氧化物在回转窑筒体内部是与还原气逆向接触,基于还原气的从窑头向窑尾的流向,颗粒铁氧化物是在窑尾进料并从窑头排出还原后的颗粒海绵体。

[0088] 具体地,窑尾封闭机构内部设置有助于进料的进料螺旋19,所述进料螺旋19的上部设置有助于密闭进料的闭锁进料料斗18。进料螺旋19包括有助于输送颗粒铁氧化物的进料螺旋轴42,闭锁进料料斗18的出料口设置在进料螺旋轴42的上方。

[0089] 窑头封闭机构内部设置有助于出料的出料螺旋8,所述窑头封头10的底部设置有出料口7,出料螺旋8包括有助于输送还原后颗粒直接还原铁的出料螺旋轴38,出料螺旋轴38架设在出料口7的正上方,便于还原后的颗粒海绵体经出料螺旋8的输送后在出料口7位置落料,在出料口7上连接有助于密闭出料的闭锁出料料斗4。

[0090] 本实施例中的进料螺旋19与出料螺旋8均用于对固体物料进行输送,基于密闭的反应体系,进料螺旋19及出料螺旋8分别与窑尾封头16及窑头封头10密封相接,且分别包括有助于容置螺旋轴的进料螺旋管43及出料螺旋管40。

[0091] 在窑尾部分,进料螺旋管43与进料螺旋轴42同时伸入窑尾封头16及窑尾回转筒节13,且延伸末端进入窑尾变径12中,能够使颗粒铁氧化物通过进料螺旋管43及进料螺旋轴42直接进入回转窑筒体,一方面能够减少固体物料在窑尾部分的撒落,另一方面能够使进料直接在回转窑筒体内的还原气氛中进行还原反应,有效保障反应的充分性。

[0092] 出料螺旋管40并不伸入窑头封头10,其在外部与是窑头封头10相接,使出料螺旋轴38的延伸末端伸入窑头回转筒节11内部,通过该种设置方式一方面能够使出料螺旋轴38有效地对还原后颗粒直接还原铁进行倒料,另一方面还减少了颗粒直接还原铁的倒料行程,使颗粒直接还原铁产品尽快地从出料口7进入闭锁出料料斗4,降低二次氧化的风险。

[0093] 用于驱动进料螺旋轴42以及出料螺旋轴38的进料驱动装置41及出料驱动装置39均连接在进料螺旋管43及出料螺旋管40的外部,以使电气设备与还原气氛的反应系统相隔离,进一步规避安全风险。

[0094] 通过本实施例中的闭锁进料料斗18以及闭锁出料料斗4,保证了空悬式回转窑反应器整体的密闭性,避免了外部空气进入反应系统,从而在反应系统的整体安全性角度提

高了保障。

[0095] 从窑头出料的角度,为了减少部分出料进入窑头膨胀节6以及窑头密封组件5,在窑头封闭筒节22与窑头回转筒节11之间还设置有挡料板31,该挡料板31具体设置在窑头回转筒节11的外端下部,可以为倾斜设置的半圆环结构,通过半圆环结构的挡板能够防止颗粒直接还原铁在从出料螺旋轴38落料至出料口7的过程中进入窑头回转筒节11与窑头密封筒节之间的缝隙,进而直接影响膨胀节及密封组件的正常使用。

[0096] 在一个优选的实施例中,从利于出料的角度,在窑头位置设置有导流板结构。在位于窑头部位的窑头变径3以及窑头回转筒节11内部,分别设置有用于导出物料的窑头变径导流板34及窑头导流板35。

[0097] 参见图3,图中示出了其中一个窑头变径导流板34在窑头变径3上的结构,窑头变径导流板34朝回转窑筒体的转动方向倾斜设置,具体地,窑头变径导流板34远离主筒体2即靠近窑头变径3缩颈端的部分朝转动方向设置有一定的倾角,靠近窑头变径3扩径端的部分朝转动方向倾斜。通过倾斜设置的窑头变径导流板34能够有效地起到导流的作用,使出料能够更加顺畅。

[0098] 本实施例中的窑头变径导流板34包括间隔均布在窑头变径3上的多个,且在窑头变径3的周向均分分布,构成窑头变径3上螺旋状分布的出料导流板。通过螺旋状分布的窑头变径导流板34,能够使颗粒直接还原铁在出料时构成散落分布的状态,防止出现颗粒直接还原铁的粘结,提升了产品的品质。

[0099] 参见图4,窑头回转筒节11内设置的窑头导流板35设置在窑头回转筒节11与窑头变径3的相接处,且窑头导流板35与窑头变径导流板34处于相接状态,能够有效承接从窑头变径3倒料进入窑头回转筒节11的出料,构成连续出料状态。

[0100] 参见图5,在主筒体2的内部还连接有主筒体导流板33,主筒体导流板33具体设置在主筒体2位于窑头变径3的一侧,且主筒体导流板33也与窑头变径导流板34相接,窑头导流板35及主筒体导流板33同样也包括分别间隔均布在窑头回转筒节11及主筒体2周向上的多个。

[0101] 窑头导流板35及主筒体导流板33分别倾斜设置在窑头回转筒节11及主筒体2的径向方向上,相较水平布设的设置方式,倾斜的窑头导流板35及主筒体导流板33能够使在窑头部位的出料形成固定的流动方向,提高出料效率。

[0102] 主筒体导流板33、窑头变径导流板34以及窑头导流板35三段导流板的每个导流板可以依次相接,同时每段导流板也可以在回转窑筒体的径向方向交错布置。

[0103] 依次相接的三段导流板能够保证出料的顺畅性,而交错布置的三段导流板则能使出料更加分散,在具体设置时可依照实际工况需求进行调整,这里不再赘述。

[0104] 为了进一步提高出料的顺畅程度并缩短出料行程,避免出现二次氧化,出料螺旋轴38的延伸末端靠近窑头导流板35,能够使出料螺旋轴38直接承接从窑头导流板35上导出的物料。

[0105] 从对进料均匀分散在回转窑筒体内部的角度,在窑尾变径12内部设置有用于导入物料的窑尾变径导流板45,窑尾变径导流板45间隔均布在窑尾变径12的周向上,能够构成进料的初步分散,利于增大颗粒铁氧化物与还原气的接触面积。

[0106] 在另一个优选的实施例中,设置在主筒体2内部的抄扬组件包括沿所述主筒体2的

轴向间隔均布的多段,每段所述抄扬组件在所述主筒体2的径向间隔均布。

[0107] 参见图7-图8,本实施例中的抄扬组件具体包括抄板51及扬板52,抄板51为平板结构,其一端连接在主筒体2的内壁上,另一端与扬板52连接,且抄板51沿主筒体2的径向延伸。

[0108] 扬板52具体为半圆形的弯板结构,其连接在抄板51朝7向主筒体2轴心的延伸末端,抄板51及扬板52之间构成的开口朝向与回转窑筒体的转动方向相同。

[0109] 回转窑筒体在转动时,单独某一个抄扬组件上的抄板51对聚集在回转窑筒体底部的固体物料进行抄底挡料,同时部分物料在回转窑筒体的转动中也会通过沿主筒体2内部滚落的形式进入扬板52上的开口空间中。当挡载固体物料的抄板51及扬板52转动至主筒体2的中部位置时,开始进行散料,当抄板51及扬板52转动至主筒体2的底部时,随即完成整个散料过程。通过在主筒体2周向上均布的多个抄扬组件,能够使多个独立的抄扬组件形成的散料区域得到汇集,构成相对完整的散料面,从而构成颗粒铁氧化物物料帘的布料形式。

[0110] 通过多段分布的抄扬组件,能够有效构成固体物料沿主筒体2轴向上的多层物料帘,极大增大了固体物料的分散面积,同时通过与穿行于多层物料帘的还原气相接触,从最大程度上改善了固体物料与气体物料的接触工况,极大促进了颗粒铁氧化物的还原反应效率。

[0111] 参见图6,为了进一步改善固体物料的分布状态,多段抄扬组件沿主筒体2的轴向交错布置,通过交错布置的多段抄扬能够形成物料在主筒体2径向上交错分布的层叠状态,利于颗粒铁氧化物在回转窑筒体内部的均匀分散。

[0112] 每个抄扬组件沿主筒体2径向均匀分布,间隔为D,每段抄扬组件与相邻段抄扬组件沿主筒体2径向平移宽度d,沿主筒体2轴向平移高度H,图示的 $d=1/5D$, $H=1/2D$ 。

[0113] 抄板51的长度与所述主筒体2的直径的比例为1:20-1:3,抄板51的半径与所述抄板51的长度的比例为1:10-1:2,本实施例中抄板51长度与主筒体2直径的比例优选为1:10,扬板52半径R与抄板51长度L的比例优选为1:2,可根据具体的主筒体2尺寸以及实际使用工况对抄板51及扬板52的具体尺寸进行设置。

[0114] 从抄扬组件对固体物料挡料量的角度,抄板51的宽度与扬板52的宽度相同,能够有效进行兜料,保障稳定可靠物料帘的构成。

[0115] 本发明中的回转窑筒体安装在基座20上,在回转窑筒体的中部设置有传动装置21,并通过电机驱动传动装置21运转,带动回转窑筒体转动。在回转窑筒体的两侧设置有滚轴支撑1,滚轴支撑1设置在基座20上,以实现回转窑筒体转动时的支撑,保证整体设备的可靠运行。

[0116] 需要重点指出的是,通过本发明中特殊的抄扬组件以及物料在回转窑筒体内的落料形式,能够使固体物料呈雨帘式分布,还原气在通过反应系统时不断穿过呈雨帘式分布的固体物料,气固接触更加充分。

[0117] 通过在回转窑主筒体2两端连接变径,缩颈后的窑头窑尾可以采用高压水冷密封结构,使反应系统能够在正压下操作,大大降低了泄露的风险,并提高了反应效率,采用本发明提出的回转炉反应系统,使用还原气直接还原颗粒铁氧化物,无需将铁矿粉成球,也无需引入煤粉等易带入杂质的还原剂,操作温度低,没有矿粉结圈的弊端,可以获得优质的颗粒状直接还原铁产品。

[0118] 本发明中可以在空悬式回转窑反应器回转窑筒体外侧设置保温层,或者在回转窑筒体内壁设置保温层,来增强回转窑反应器的保温性能,减少热损。同时,在回转窑筒体内壁可以设置保温层和耐磨层的结构,以减少颗粒铁氧化物对筒体的冲蚀,延长设备的使用寿命。

[0119] 沿回转窑反应器的轴向,分布有多个检测温度和压力的温度和压力测量接口,以及供检修的人孔和手孔,满足设备的正常运行。

[0120] 本发明还提供了一种采用上述空悬式回转窑反应器进行的反应方法,用于利用还原气还原颗粒铁氧化物直接获得颗粒直接还原铁,包括以下步骤:

[0121] 1) 加入预热后的颗粒铁氧化物,同时加入预热后的还原气;

[0122] 2) 颗粒铁氧化物通过抄扬组件构成多层物料帘,并与穿行于多层物料帘的还原气充分逆向接触反应,还原得到颗粒直接还原铁;

[0123] 3) 反应后的还原气从反应系统排出,颗粒铁氧化物经过还原得到颗粒直接还原铁。

[0124] 具体地,在反应过程中,首先通过电机驱动传动装置21,使回转窑筒体做圆周运动,将预热至500-750℃的颗粒铁氧化物从位于窑尾的闭锁进料料斗18进料,并通过进料螺旋19进入回转窑筒体,固体颗粒在筒体内部不断被抄板51抄起并在筒体转动过程中通过扬板52撒落,随着筒体的不断转动固体颗粒逐渐向窑头移动,最后在窑头位置导流板的作用下移出窑头回转筒节11,被出料螺旋8输送至出料口7,并经闭锁出料料斗4移出反应系统;

[0125] 在加入颗粒铁氧化物的同时,将预热至450-650℃的还原气从位于窑头顶部的进气管9连续加入反应系统,还原气沿回转窑筒体的轴向流向窑尾,在流动的过程中与被抄撒的固体物料接触,最后从窑尾的出气管17流出反应系统,还原气在与固体物料的接触中,将固体中的铁氧化物还原成颗粒直接还原铁。

[0126] 空悬式回转窑反应器内部操作压力的区间范围是0.01-3MPa,在该操作压力下,能够保证颗粒铁氧化物与还原气的反应进行得更加充分。操作压力还可优选为0.05-2.5MPa,更优选为0.1-2MPa,可以选取0.01MPa、0.05MPa、0.1MPa、2MPa、2.5MPa以及3MPa,另外还可以为0.03MPa、0.08MPa、0.5MPa、1.2MPa、1.5MPa、2.4MPa、2.6MPa以及2.8MPa等。

[0127] 为了保证颗粒铁氧化物在空悬式回转窑反应器中能够反应得更加充分,需要使颗粒铁氧化物在空悬式回转窑反应器中具有充足的停留时间,本实施例中的颗粒铁氧化物在空悬式回转窑反应器中的停留时间区间范围为1-15h,优选为2-10h,更优选为3-8h。可以选取1h、2h、3h、5h、8h、10h以及15h,另外还可以为1.5h、2.5h、3.5h、4h、6h、12h以及14h等。

[0128] 从与还原气进行的还原反应角度考虑,颗粒铁氧化物的平均粒径需要满足一定的要求,本实施例中颗粒铁氧化物的平均粒径为0.015-4mm,优选为0.05-2mm,更优选为0.1-1mm。可以选取0.015mm、0.05mm、0.1mm、0.5mm、1mm、2mm、3mm以及4mm,另外还可以为0.04mm、0.08mm、0.15mm、0.3mm、0.4mm、0.8mm、1.5mm、2.5mm、2.8mm以及3.5mm等。

[0129] 本实施例中基于颗粒铁氧化物所进行的还原反应,还原气的还原组分需要满足基本的还原要求。本实施例中还原气的气体组分,以体积分数计,还原气中 H_2 含量 $>50\%$, CO_2 含量 $<3\%$ 。

[0130] 除了还原气中 H_2 的基本组成,当需要对颗粒直接还原铁中的碳组分有特殊要求时,需要在还原气中引入部分碳基还原组分,本实施例中的还原气中的碳基还原组分为CO。

[0131] 本发明中还原气的组成,是较适合上述空悬式回转窑反应器进行气相还原铁的气体组成,其中的CO可以根据需要改变含量,如需要直接还原铁具有较高的含碳量,可以适当增加CO的含量。

[0132] 优选地,还原气的气体组分,以体积分数计,还原气中H₂含量为75-100%,CO含量为0-10%,CO₂含量为0-1%。H₂含量可以为75%、80%、85%、88%、90%、95%、99%以及100%等,根据改变直接还原铁的含碳量,以体积分数计,CO含量可以为0.5%、1%、2%、3%、4%、6%、8%、9%以及9.5%等,CO含量可根据具体生产直接还原铁的质量要求进行调整。在还原气的组成中,还可加入CH₄、CO₂以及N₂等气体组分,但是从利于还原的角度,CO₂含量应控制在较低水平,以体积分数计,CO₂含量控制在1%以下,可以为0.2%、0.3%、0.5%、0.6%或者0.8%等。

[0133] 本发明中的反应方法,通过将颗粒铁氧化物以及还原气分别预热后再加入反应系统的方式,并不需要设置燃烧喷嘴等复杂构件,精简了设备的同时能够使颗粒铁氧化物与还原气充分接触反应,极大提高了反应效率,并能够可靠得到优质的颗粒直接还原铁产品。

[0134] 基于本发明中的空悬式回转窑反应器,以下通过不同的实验例及比较例来对本发明中的反应方法进行说明。

[0135] 实验例1

[0136] 粒径分布为5-40目(380-4000 μ m,平均粒径为1.05mm)的颗粒铁氧化物,其化学组成为全铁、FeO、SiO₂、CaO、MgO、Al₂O₃、MnO的含量分别为55.2%、0.29%、8.69%、0.01%、0.01%、6.53%、0.07%,颗粒铁氧化物预热至750 $^{\circ}$ C后连续加入空悬式回转窑反应器,还原气组成为H₂含量88%,CO含量0.5%,CO₂含量0.3%,CH₄含量2.5%,N₂含量为8.7%,还原气预热至500 $^{\circ}$ C通入空悬式回转窑反应器,空悬式回转窑反应器操作压力为0.6MPa,颗粒铁氧化物在空悬式回转窑反应器中的停留时间为5h,最终可获得金属化率96.7%的直接还原铁粉,碳含量0.2%。

[0137] 实验例2

[0138] 粒径分布为10-40目(380-1700 μ m,平均粒径为0.78mm)的颗粒铁氧化物,其化学组成为全铁、FeO、SiO₂、Al₂O₃、MnO的含量分别为57.76%、0.71%、6.82%、6.26%、1.2%,颗粒铁氧化物预热至700 $^{\circ}$ C后连续加入空悬式回转窑反应器,还原气组成为H₂含量大于99%,还原气预热至570 $^{\circ}$ C通入空悬式回转窑反应器,空悬式回转窑反应器操作压力为0.8MPa,颗粒铁氧化物在空悬式回转窑反应器中的停留时间为4h,最终可获得金属化率97.8%的直接还原铁粉。

[0139] 实验例3

[0140] 粒径分布为40-100目(150-380 μ m,平均粒径为0.28mm)的颗粒铁氧化物,其化学组成为全铁、FeO、SiO₂、Al₂O₃、MnO的含量分别为62.67%、0.59%、4.52%、1.59%、0.26%,颗粒铁氧化物预热至650 $^{\circ}$ C后连续加入空悬式回转窑反应器,还原气组成为H₂含量为75%,CO含量为8%,CO₂含量为0.5%,N₂含量为16.5%,还原气预热至600 $^{\circ}$ C通入空悬式回转窑反应器,空悬式回转窑反应器操作压力为1.0MPa,颗粒铁氧化物在空悬式回转窑反应器中的停留时间为4.5h,最终可获得金属化率96.3%的直接还原铁粉,碳含量为2.6%。

[0141] 实验例4

[0142] 粒径分布为50-200目(75-270 μ m,平均粒径为0.15mm)的颗粒铁氧化物,其化学组

成为全铁、FeO、SiO₂、Al₂O₃、MnO的含量分别为66.2%、1.4%、5.2%、0.43%、0.06%，颗粒铁氧化物预热至650℃后连续加入空悬式回转窑反应器，还原气组成为H₂含量为90%，N₂含量为10%，还原气预热至550℃通入空悬式回转窑反应器，空悬式回转窑反应器操作压力为1.5MPa，颗粒铁氧化物在空悬式回转窑反应器中的停留时间为3h，最终可获得金属化率98.1%的直接还原铁粉。

[0143] 实验例5

[0144] 粒径分布为100-300目(48-150μm,平均粒径为0.105mm,)的颗粒铁氧化物,全铁、FeO、SiO₂、CaO、MgO、Al₂O₃、MnO的含量分别为62.7%、27.3%、1.32%、1.53%、3.45%、0.82%、0.28%，颗粒铁氧化物预热至600℃后连续加入空悬式回转窑反应器，还原气组成为H₂含量大于99.5%，还原气预热至600℃通入空悬式回转窑反应器，空悬式回转窑反应器操作压力为2.5MPa，颗粒铁氧化物在空悬式回转窑反应器中的停留时间为8h，最终可获得金属化率98.5%的直接还原铁粉。

[0145] 比较例1

[0146] 粒径分布为5-40目(380-4000μm,平均粒径为1.05mm)的颗粒铁氧化物,其化学组成为全铁、FeO、SiO₂、CaO、MgO、Al₂O₃、MnO的含量分别为55.2%、0.29%、8.69%、0.01%、0.01%、6.53%、0.07%，颗粒铁氧化物预热至750℃后连续加入与本发明空悬式回转窑反应器类似的回转窑，还原气组成为H₂含量88%，CO含量0.5%，CO₂含量0.3%，CH₄含量2.5%，N₂含量为8.7%，还原气预热至500℃通入回转窑，不同之处在于，在该比较例的回转窑中没有在筒体内设置抄扬组件，回转窑操作压力为0.6MPa，颗粒铁氧化物在回转窑中的停留时间为15h，最终可获得金属化率28.5%的直接还原铁粉，碳含量0.05%。

[0147] 比较例2

[0148] 粒径分布为100-300目(48-150μm,平均粒径为0.105mm,)的颗粒铁氧化物,全铁、FeO、SiO₂、CaO、MgO、Al₂O₃、MnO的含量分别为62.7%、27.3%、1.32%、1.53%、3.45%、0.82%、0.28%，颗粒铁氧化物预热至600℃后连续加入与本发明空悬式回转窑反应器类似的回转窑,不同之处在于,在该比较例的回转窑中没有在窑头窑尾设置变径,及进料及出料位置并未设置导流板,还原气组成为H₂含量大于99.5%，还原气预热至600℃通入回转窑，回转窑操作压力为0.2MPa,料层厚度约为实施例5的1/3,颗粒铁氧化物在回转窑中的停留时间为8h,最终可获得金属化率53.4%的直接还原铁粉。

[0149] 通过对回转窑反应器的多个结构进行设计,本发明的空悬式回转窑反应器,可以在高压下运行,固体装填量大,气固接触效率更高,采用本发明的回转窑反应器,可获得金属化率超过95%的直接还原铁粉。

[0150] 通过比较例1与实验例1的对比,可见在回转窑筒体上的抄扬组件极为关键,能够使固体物料构成帘式分布,达到气固两相良好的接触效果。相较于没有设置抄板及扬板的回转窑,即使采用更长的反应时间,也仅能获得金属化率较低的产物,金属化率不及50%的产物几乎无法作为产品出售,只能作为高炉或其它炼铁过程的原料。

[0151] 通过比较例2与实验例5的对比,能够看出在回转窑的变径设计和进料及出料位置设置的导流板非常重要,变径及导流板的设计在保持进料和出料非常顺利的同时提高了固体装填量,而直筒形的回转窑筒体由于出料口物料容易排出,难以形成高的料层厚度,在低料层厚度的操作条件下,即使有特殊的抄扬组件,也没有足够的物料形成雨帘式的物料通

道,气体反而容易短路,同时大的密封系统也导致炉内不能维持特别高的压力,否则还原气体容易泄露,在保持同样的气体操作气速下,还原气的量只能降低,加上固体料层厚度较低,要保证固体停留时间不变,也需降低固体进料速度,也就造成了虽然生产能力下降了,但是产物的金属化率反而降低的结果。而通过本发明的变径和导流板的设计,再加上扬抄组件的作用,可在大通量的同时获得高金属化率的产物。

[0152] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

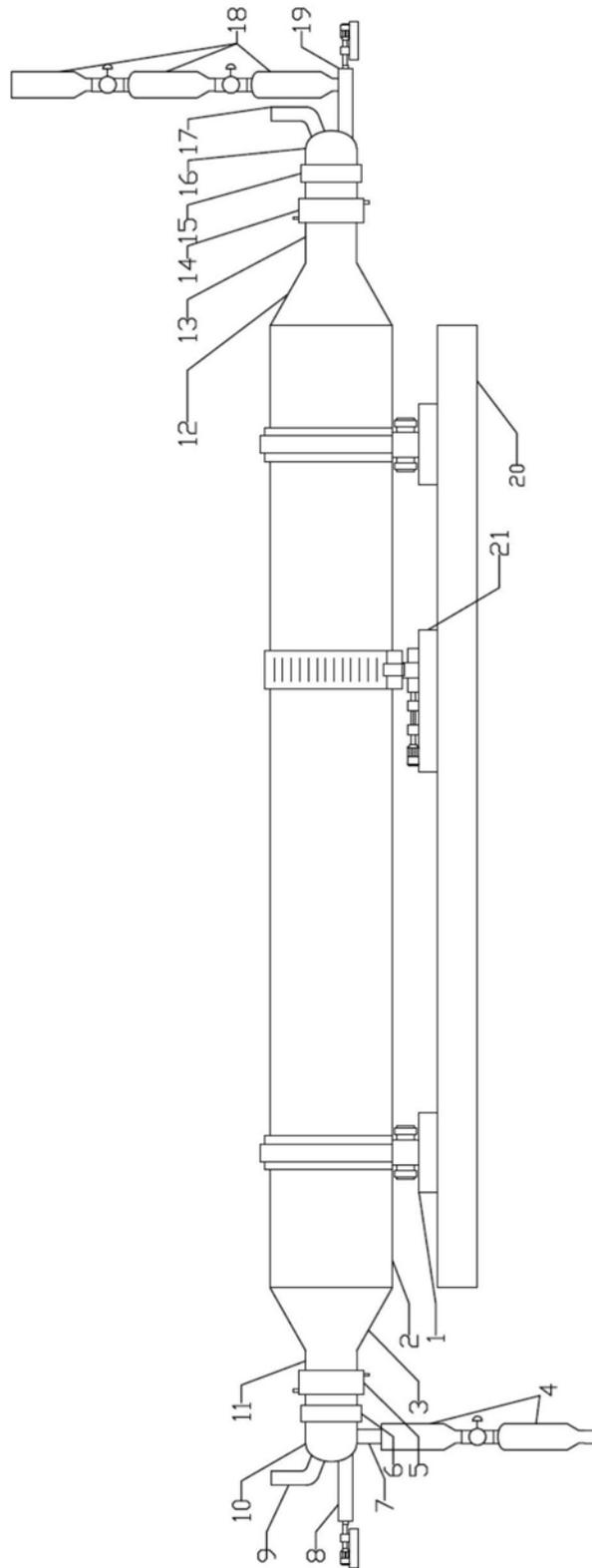


图1

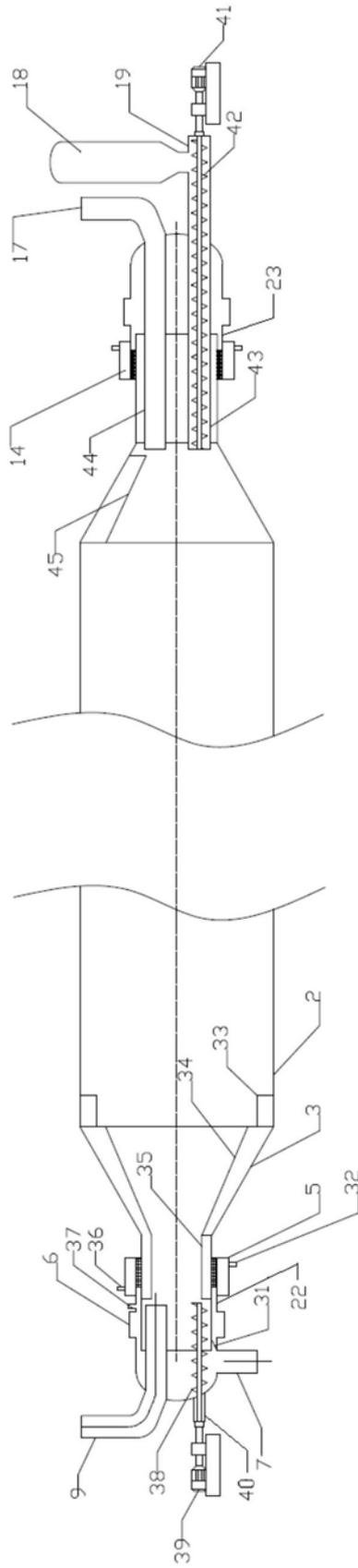


图2

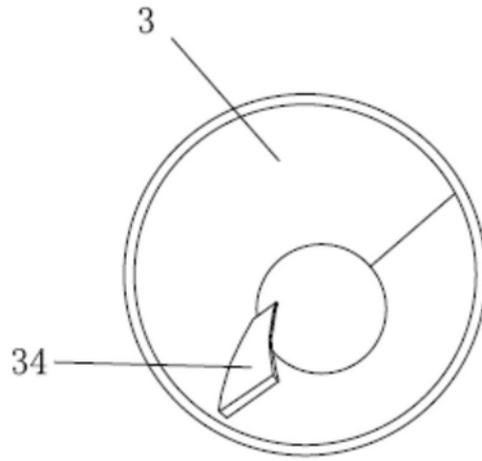


图3

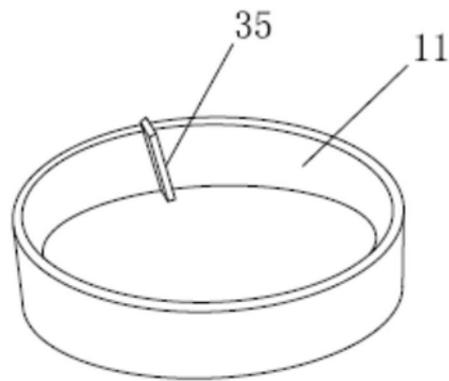


图4

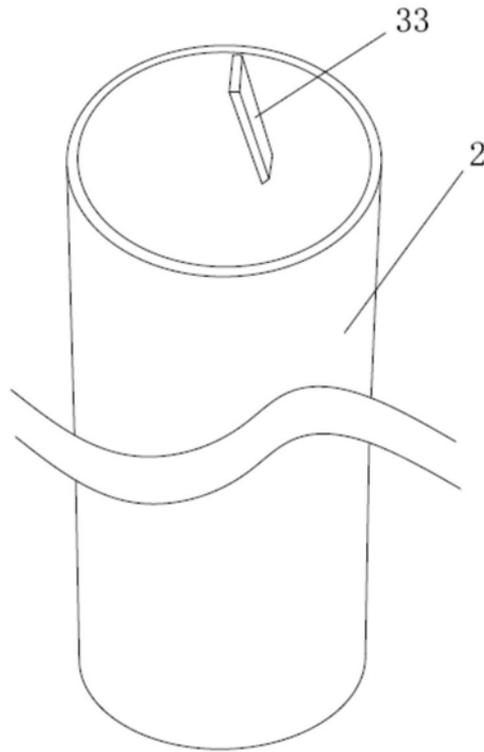


图5

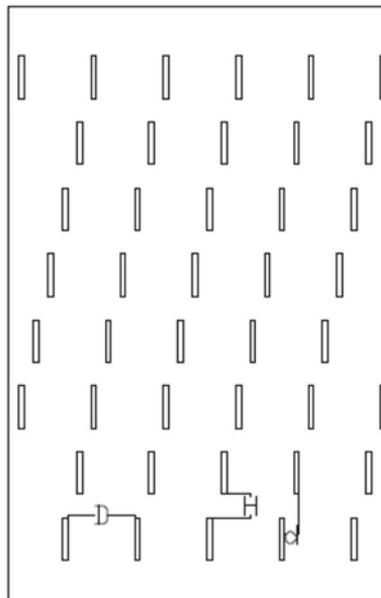


图6

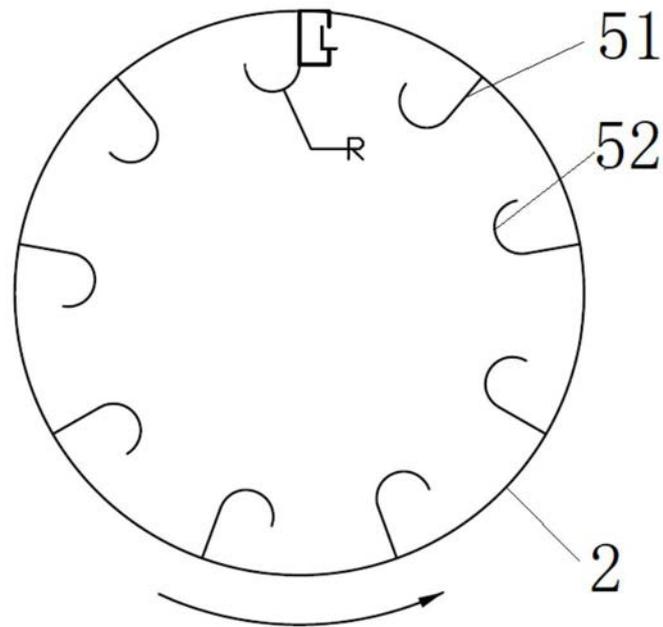


图7

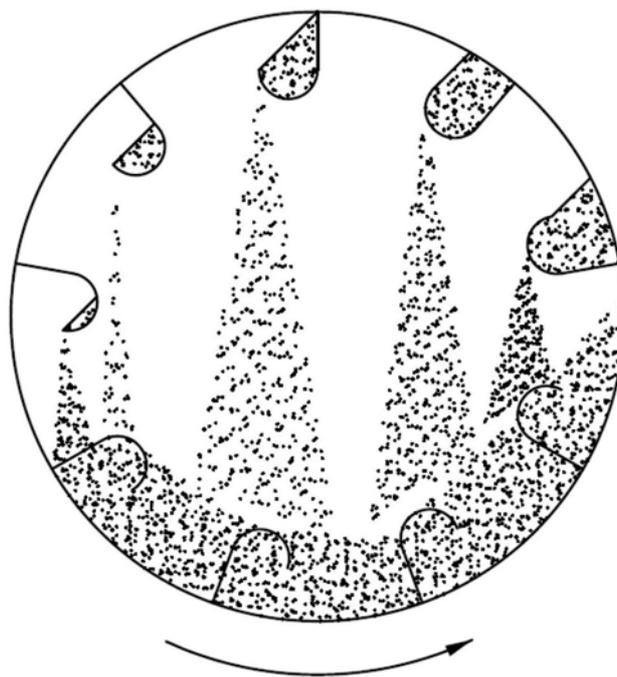


图8