

CONFÉDÉRATION SUISSE  
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **721 134 A2**

(51) Int. Cl.: **C10B** 47/34 (2006.01)  
**F27B** 9/06 (2006.01)  
**F27B** 9/08 (2006.01)

**Demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein**

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) **DEMANDE DE BREVET**

(21) Numéro de la demande: 000039/2024

(71) Requérant:  
Greenlina SA, Route du Platy 7a  
1752 Villars-sur-Glâne (CH)

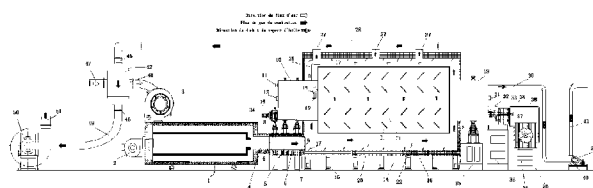
(22) Date de dépôt: 16.11.2022

(43) Demande publiée: 31.03.2025

(72) Inventeur(s):  
Jin Hu, 1400 Yverdon-les-Bains (CH)

(54) **Système de pyrolyse pour le traitement de déchets organiques solides**

(57) L'invention concerne un système de pyrolyse pour traiter des déchets solides organiques, comprenant un corps cylindrique extérieur (14) du réacteur de pyrolyse et un corps cylindrique intérieur (20) du réacteur de pyrolyse. Au moins un composant tubulaire en forme de U est disposé dans le cylindre intérieur (20) du réacteur. Le composant tubulaire en forme de U comprend un tube en forme de U disposé dans la partie supérieure de la cavité intérieure du cylindre intérieur (20) du réacteur, et les deux extrémités ouvertes du tube en forme de U sont respectivement reliées à la sortie du conduit d'entrée des gaz de combustion (18) du composant tubulaire en forme de U et à l'entrée du conduit de sortie des gaz de combustion (26) du composant tubulaire en forme de U. L'entrée du conduit d'entrée des gaz de combustion (18) est ouvert aux gaz de combustion à haute température et la sortie du conduit de sortie des gaz de combustion (26) du composant tubulaire en forme de U est reliée à la sortie d'évacuation des fumées du passage d'air chaud (27) par une dérivation. Le système de pyrolyse de la présente invention utilise une partie des gaz de combustion à haute température pour chauffer directement les matériaux dans le réacteur à travers le composant tubulaire en forme de U, ce qui permet d'augmenter la zone d'échange de chaleur et d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'énergie.



## Description

### Domaine technique

**[0001]** L'invention appartient au domaine de l'énergie et de la technologie chimique, en particulier à un système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement de déchets solides organiques.

### État de la technique

**[0002]** La croissance économique et l'évolution des modes de consommation et de fabrication entraînent une augmentation rapide de la production de déchets plastiques dans le monde. La production mondiale de plastique est en augmentation depuis plus de 50 ans. En outre, le plastique étant un matériau non biodégradable, il subsiste dans le sol et pollue l'environnement s'il est enfoui. Actuellement, seuls 14% des emballages plastiques sont recyclés dans le monde [source <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2017/feb/22/plastics-recycling-trashchemicals-styrofoam-packaging>] et environ 8 millions de tonnes de plastique sont rejetées dans l'océan chaque année. Ils sont parfois pris pour une proie et sont ingérés par les animaux marins et les oiseaux, ce qui affecte gravement leur santé. Certains plastiques, combinés à des produits chimiques industriels, polluent les océans depuis des décennies, ce qui peut induire l'introduction de toxines dans la chaîne alimentaire. Selon un rapport récent de la Fondation Ellen MacArthur, le recyclage des 86 % restants de plastique utilisé dans les emballages et produits d'emballage à usage unique peut potentiellement générer des revenus de 80 à 120 milliards de dollars [source <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/the-new-plasticseconomy-re-thinking-the-future-of-plastics>].

**[0003]** Bien que l'incinération ait été jusqu'à présent la méthode prédominante d'élimination des déchets, l'augmentation récente de la quantité et de la variété des déchets a changé une politique de promotion pure et simple de l'incinération des déchets à une politique encourageant également la réduction des déchets par une limitation de la quantité de déchets produits, ainsi que par une revalorisation des déchets par recyclage en tant que ressource. Par ailleurs, l'impact négatif des émissions d'incinération sur l'environnement, notamment par la pollution de l'air et des sols, nécessite l'utilisation de technologies avancées, notamment pour limiter la production de dioxines. Actuellement, 50 millions de tonnes de déchets généraux sont générés chaque année, dont environ 75% sont incinérés. Les émissions toxiques et dangereuses associées à l'incinération soulèvent une problématique importante qui doit être sérieusement considérée.

**[0004]** La technologie de revalorisation énergétique des déchets a généralement pour objectif de traiter les matériaux potentiels contenus dans les déchets, notamment les plastiques, la biomasse et les pneus en caoutchouc, et de les transformer en produits combustibles, comme des biocarburants. En tant qu'alternative à la technologie de l'incinération, la pyrolyse a été développée dans les années 1970 pour limiter la production de dioxines. La pyrolyse est un procédé simple qui consiste à chauffer des matériaux ou des matières organiques dans un environnement pauvre ou privé d'oxygène et à les décomposer en des fractions solides, liquides et gazeuses. L'avantage du processus de pyrolyse est sa capacité à pouvoir craquer les déchets de plastique/caoutchouc non triés et non nettoyés ou d'autres déchets solides organiques. En outre, contrairement à l'incinération, la pyrolyse n'émet pas d'émissions toxiques ou nocives dans l'environnement et n'aggrave pas une situation qui se détériore depuis de nombreuses années.

**[0005]** Comparaison des émissions de gaz à effet de serre des procédés de pyrolyse avec d'autres procédés de traitement des déchets [Sam Haig, et.al Plastic to oil IFM002 final report „Zero Waste Scotland"] : Les émissions associées à la fabrication des matières premières (à l'exclusion des flux de déchets plastiques) sont de 13,0 kg de CO<sub>2</sub>. Dans le cas de la pyrolyse, cela est dû à l'hydrogène consommé dans le processus. Les émissions sur site résultant de l'incinération du gaz de pyrolyse, des résidus de distillation et de 3 % du produit diesel obtenu sont de 56 kg de CO<sub>2</sub>. Les émissions associées à tous les éléments de transport (produits et déchets) sont de 197 kg de CO<sub>2</sub>. Sur la base de ces données, les émissions associées au craquage thermique sont de 266 kg de CO<sub>2</sub>. Les économies d'émissions associées au remplacement de la production de diesel fossile sont de 426 kg de CO<sub>2</sub>. Globalement, les émissions nettes de la pyrolyse sont donc de -160 kg de CO<sub>2</sub>.

**[0006]** Les matières premières plastiques usagées proviennent principalement de mélanges de déchets de polyéthylène (PE), de polypropylène (PP), de polystyrène (PS), de chlorure de polyvinyle (PVC) et d'autres produits plastiques de la vie quotidienne, tels que les films agricoles, les sacs d'emballage alimentaire, les déchets plastiques techniques ou les déchets plastiques mixtes triés dans les décharges d'ordures ménagères. Les matières premières des déchets de caoutchouc proviennent principalement du caoutchouc naturel (NR), du caoutchouc styrène-butadiène (SBR), du caoutchouc polybutadiène (BR) et d'autres mélanges de déchets de produits en caoutchouc, tels que les pneus usagés, les semelles en caoutchouc et les produits de pièces en caoutchouc, etc. Dans des conditions normales, la température de décomposition du polyéthylène (PE) est d'environ 265 °C, la température de décomposition du polypropylène (PP) est de 350-400 °C, la température de décomposition du polystyrène (PS) est d'environ 300 °C, la température de décomposition du polychlorure de vinyle (PVC) est de 150 °C, le caoutchouc naturel (NR) se décompose rapidement à 270 °C et le caoutchouc chlorobutadiène (CR) se décompose à 230-260°C. Les déchets plastiques sont constitués de PE, PP, d'un mélange de divers plastiques tels que PS, PVC..., tandis que les déchets de caoutchouc sont un mélange de divers caoutchoucs tels que NR, SBR, BR, CR..., etc. Certains plastiques (tels que le PE, PVC) ou caoutchoucs (tels que le CR) peuvent être thermiquement craqués ou dépolymérisés à des températures relativement basses, tandis que d'autres plastiques (tels

que PP) ou caoutchoucs (tels que NR) nécessitent des températures plus élevées pour une décomposition thermique complète efficace.

**[0007]** Les autres déchets solides organiques proviennent des déchets domestiques urbains, des déchets agricoles et forestiers, et de certains déchets industriels, comprenant principalement le papier, les déchets alimentaires, la biomasse, les boues industrielles, etc. Les déchets solides organiques sont principalement composés de C, H, O et d'autres éléments, ainsi que de N, S et d'autres oligo-éléments; aussi, par rapport au charbon, les autres déchets solides organiques ont une teneur en carbone plus faible, le rapport H/C et O/C étant assez élevé, de sorte qu'ils ont une teneur en matières volatiles plus élevée, mais le pouvoir calorifique est inférieur à celui du charbon ordinaire. Ces caractéristiques font que les autres déchets solides organiques sont plus adaptés à la gazéification. À 120-200°C, les autres déchets solides organiques sont chauffés et séchés par volatilisation de l'eau et à 300-500°C, la plupart des substances organiques sont complètement pyrolysées et volatilisées en gaz de pyrolyse. Une partie du gaz de pyrolyse peut être condensée en bio-huile tandis qu'une autre en gaz noncondensés comprenant principalement CO, H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> ainsi que d'autres gaz.

**[0008]** Dans le processus de pyrolyse des déchets organiques solides, la méthode traditionnelle consiste à chauffer directement ou indirectement l'extérieur du réacteur de pyrolyse pour atteindre la température requise. À l'heure actuelle, la plupart des différents réacteurs de pyrolyse permettant de traiter les déchets plastiques et les déchets de caoutchouc, décrits dans les brevets et la littérature nationale et étrangère, utilisent des méthodes consistant à fournir directement de la chaleur au corps du réacteur avec une flamme à haute température. Les principaux défauts de cette technique sont les suivants : (1) En raison du chauffage inégal, un segment de l'équipement est rapidement chauffé et subit donc une expansion thermique, une déformation, une oxydation, une décarburation, voire une fusion de la couche métallique, ce qui impacte considérablement la durée de vie de l'équipement; (2) Le détachement de la couche d'oxyde peut induire une combustion partielle du réacteur, une fuite de vapeur d'huile et de gaz à haute température dans le corps du réacteur, ce qui peut mener à un incendie ou à une explosion; (3) Il est difficile de contrôler la température de manière stable et précise avec un chauffage direct; (4) Le débit d'air chaud est trop rapide, ce qui impacte considérablement la consommation d'énergie thermique et l'efficacité thermique.

**[0009]** L'utilisation d'un fourneau à air chaud ou d'une chambre de combustion pour chauffer indirectement le réacteur de pyrolyse en brûlant un carburant liquide ou gazeux à travers un brûleur est l'une des méthodes pour prolonger la durée de vie du réacteur. Le taux d'utilisation de l'énergie du réacteur de pyrolyse correspond à l'énergie d'entrée moins la somme des pertes d'énergie suivantes : la perte d'énergie lors de l'évacuation des gaz de combustion générés par la combustion, la perte de chaleur par l'évaporation de l'humidité, les pertes par convection et par rayonnement thermique et d'autres pertes d'énergie diverses non incluses.

**[0010]** Dans un processus de production industriel, le brûleur doit continuellement être alimenté en oxygène pendant l'utilisation, et les gaz de combustion générés doivent être évacués par le ventilateur à tirage induit et, même si une plaque d'égalisation des gaz de combustion ou un bloc d'écoulement d'air est intégré dans le canal des gaz de combustion, réduisant ainsi partiellement le débit des gaz de combustion à haute température et à grande vitesse [Jia Zhaopeng, Xu Dangqi, Zhang Guangcai, Li Hongzhi, Wear and leakage of low temperature reheater and analysis and reconstruction of low reheat steam temperature, Thermal Power Generation, Vol. 43, Issue 2, Février 2014], le canal des gaz de combustion du réacteur de pyrolyse horizontal ou vertical est généralement relativement court et donc seule une petite partie de l'énergie fournie par ces gaz de combustion est échangée avec le réacteur. L'utilisation réelle de l'énergie de ce type de système de chauffage alimenté par un brûleur ne correspond généralement qu'à 30-40 % de l'énergie d'entrée. Ainsi, dans l'étude précédente, la pyrolyse est décrite comme ayant une „haute efficacité et à faible consommation d'énergie“, mais les résultats expérimentaux ont montré que la plupart des systèmes de pyrolyse avait en général une efficacité négative, avec une consommation d'énergie 5 à 87 fois plus élevée par rapport aux produits de la pyrolyse [Andrew Rollinson de Blushful Earth, Why pyrolysis and 'plastic to fuels' is not a solution to the plastics problem, Dec 4 2018, <https://www.lowimpact.org/pyrolysis-not-solutionplastics-problem/>].

**[0011]** Dans le processus de pyrolyse des déchets solides organiques, l'air chaud/les gaz de combustion agissent sur l'extérieur du réacteur de pyrolyse, et la chaleur est transférée à la paroi du réacteur par échange de chaleur par convection forcée. Le transfert de chaleur depuis la paroi du corps du réacteur chauffé, aux déchets solides organiques dans le corps du réacteur est principalement basé sur la conduction thermique et le rayonnement thermique. La paroi du corps du réacteur est généralement constituée d'un matériau métallique, avec une épaisseur relativement faible et une conductivité thermique élevée. Les métaux utilisés ont généralement une conductivité de 50 à 415 W/m\*K, et les alliages ont une conductivité de 12 à 120 W/m\*K [Peter O.Cervenka, Lou Massa, Applications of Dimensionless Variables to Scaling in the Infrared, CARDIVNSWC-TR-95/002 January 1995], et leur résistance thermique est faible. Lorsque la chaleur pénètre à l'intérieur du réacteur, les déchets solides organiques chargés et une petite quantité d'air résiduel dans le réacteur servent de vecteur de chaleur. À ce moment-là, le processus de transfert de chaleur du caloporteur dans le réacteur repose principalement sur la conduction et la radiation de la chaleur. Ce n'est que lorsque la température du caloporteur dans le réacteur est élevée que le rayonnement thermique peut devenir la principale méthode de transfert de chaleur. À 23°C, la conductivité thermique du plastique HDPE est de 0,45-0,52W/m-K, la conductivité thermique du plastique LDPE est de 0,33W/m-K, la conductivité thermique du plastique du PET est de 0,15-0,4W/m-K, la conductivité thermique du plastique PP est de 0,1-0,22W/m-K, et la conductivité thermique du plastique PS est de 0,1-0,13W/m-K [Source: <http://www.professionalplastics.com> (dernier accès le 20.07.2020)]. Bien que la conductivité thermique des plastiques

augmente légèrement avec la température, son ordre de grandeur ne change pas. Les données ci-dessus montrent que la conductivité thermique des plastiques ordinaires est très faible, et que la résistance thermique de la conduction de la chaleur est importante. Le caoutchouc est également un matériau à faible conductivité thermique et à résistance thermique élevée, et sa conductivité thermique est généralement comprise entre 0,15 et 0,4 W/m\*K [R.C. Kerschbaumer, S. Stieger, M. Gschwandl, T. Hutterer, M. Fasching, B. Lechner, L. Meinhart, J. Hildenbrandt, B. Schritteser, P.F. Fuchs, G.R. Berger, W. Friesenbichle, Comparison of steady-state and transient thermal conductivity testing methods using different industrial rubber compounds, *Polymer Testing* 80 (2019) 106121]. La conductivité thermique des déchets solides organiques tels que la paille de blé, la paille d'avoine, la paille de soja, la paille de maïs, le foin de luzerne et les copeaux de bois est de 0,03-0,30W/m\*K [H.K. Ahn, T.J. Sauer, T.L. Richard, T.D. Glanville, Determination of thermal properties of composting bulking materials, *Bioresource Technology* 100 (2009) 3974-3981] et ils sont également des matériaux à faible conductivité thermique et à grande résistance thermique. La conductivité thermique de l'air humide (en supposant une humidité de 10%) est d'environ 0,035W/m-K [M. Boukharriss, K. Zhani, R. Ghribi, Study of thermophysical properties of a solar desalination system using solar energy, *Desalination and Water Treatment*, 51 (2013) 1290-1295, doi:10.1080/19443994.2012.714925]. Cela signifie que l'air humide restant dans le réacteur est un excellent isolant thermique avec une grande résistance thermique.

**[0012]** La résistance thermique totale dans le processus de transfert de chaleur est la superposition de la résistance thermique de chaque élément. Le coefficient de transfert de chaleur  $K$  intègre donc les caractéristiques de chaque élément, reflète la capacité globale du processus de transfert de chaleur, et peut être exprimé comme l'inverse de la résistance thermique totale. Selon les données ci-dessus, lorsque la chaleur est transférée du corps de réacteur métallique à conductivité thermique élevée aux déchets solides organiques et à l'air humide résiduel dont la conductivité thermique est des centaines, voire des milliers de fois plus petite, parce que le coefficient de transfert de chaleur  $K$  du côté du matériau est très faible, la „résistance maximale“ au processus de transfert de chaleur se produira dans le corps de réacteur, où le transfert de chaleur est sérieusement affaibli. En conséquence, l'augmentation de la température du matériau est lente. De plus, en raison du grand volume et de la masse du corps du réacteur, l'inertie thermique est importante, ce qui entraîne aussi une lente augmentation de la température des matériaux dans le réacteur. Cela dit, la réduction de la résistance thermique de chaque élément permet d'augmenter le coefficient de transfert de chaleur  $K$ . Selon la formule générale  $Q=KA\Delta T$  pour le calcul du transfert de chaleur, pour augmenter le transfert de chaleur  $Q$ , les trois paramètres du côté droit de la formule peuvent être augmentés, où  $K$  est le coefficient de transfert de chaleur,  $A$  est la surface de transfert de chaleur et  $\Delta T$  est la différence de température. Sur la base de l'analyse ci-dessus, dans le processus d'utilisation du brûleur pour chauffer directement ou indirectement l'extérieur du réacteur de pyrolyse, les moyens suivants peuvent être utilisés : des ailettes permettant de renforcer le transfert de chaleur peuvent être disposées à l'intérieur et à l'extérieur de la paroi du réacteur pour augmenter la zone d'échange de chaleur ; dans le corps du réacteur, étant donné que la conductivité thermique des déchets solides organiques du côté des matériaux ne peut être modifiée, il est possible de réduire la quantité d'air résiduel dans le corps du réacteur pour augmenter le coefficient de transfert de chaleur, etc. Cependant, les méthodes ci-dessus ne peuvent améliorer que les 30 à 40 % restants de l'énergie fournie par la combustion, après déduction de l'énorme perte de chaleur. La majeure partie de l'énergie fournie par la combustion est absorbée par les gaz de combustion qui sont rapidement évacués. Exploiter plus efficacement l'énergie des gaz de combustion est devenu le sujet central de l'augmentation de l'efficacité thermique du système de craquage thermique.

## Solution

**[0013]** Le but de la présente invention est de fournir un système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement des déchets solides organiques, compte tenu du problème de la faible efficacité d'utilisation de l'énergie thermique dans la manière traditionnelle d'utiliser un fourneau à air chaud ou une chambre de combustion pour chauffer indirectement un réacteur de pyrolyse par l'intermédiaire d'un brûleur. Le but de la présente invention est de résoudre ce problème par les solutions techniques suivantes:

Le système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement de déchets solides organiques, comprenant un cylindre extérieur du réacteur de pyrolyse et un cylindre intérieur du réacteur de pyrolyse, est caractérisé en ce que : au moins un composant tubulaire en forme de U est disposé dans le cylindre intérieur du réacteur, le composant tubulaire en forme de U comprend un tube en forme de U disposé dans la partie supérieure de la cavité intérieure du cylindre intérieur du réacteur, et les deux extrémités ouvertes du tube en forme de U sont respectivement connectées à l'extrémité arrière du conduit d'admission des gaz de combustion du composant tubulaire en forme de U et au début du conduit de sortie des gaz de combustion du composant tubulaire en forme de U. Le début du conduit d'admission des gaz de combustion est ouvert aux gaz de combustion à haute température et l'extrémité arrière du conduit de sortie des gaz de combustion du composant tubulaire en forme de U est reliée à la sortie d'évacuation des fumées par une dérivation.

**[0014]** Un écran filtrant à mailles fines en acier inoxydable 310 capable de filtrer les fumées et les poussières est installé à l'intérieur de l'ouverture de l'orifice de départ du conduit d'admission des gaz de combustion du composant tubulaire en forme de U.

**[0015]** L'ouverture de l'orifice de départ du conduit d'entrée des gaz de combustion du composant tubulaire en forme de U a la forme d'une trompette élargie. L'extrémité arrière du conduit d'admission des gaz de combustion du composant tubulaire en forme de U est reliée au cylindre interne du réacteur par soudage ou par un joint résistant aux hautes températures, et le conduit d'admission des gaz de combustion est relié à une extrémité ouverte du tube en forme de U.

**[0016]** L'orifice de départ du conduit de sortie des gaz de combustion du composant tubulaire en forme de U est relié au cylindre interne du réacteur par soudage ou par un joint résistant aux hautes températures, et le conduit de sortie des gaz de combustion est relié à l'autre extrémité de l'ouverture du tube en forme de U.

**[0017]** Le conduit d'entrée des gaz de combustion, le tube en forme de U et le conduit de sortie des gaz de combustion du composant tubulaire en forme de U sont fabriqués en acier inoxydable 310S ou 316L sans soudure. Le diamètre du conduit d'entrée des gaz de combustion du tube en forme de U et du conduit de sortie des gaz de combustion du composant tubulaire en forme de U est supérieur ou égal à 80 mm, et l'épaisseur de la paroi des trois éléments ci-dessus correspond à l'épaisseur du cylindre interne du réacteur.

**[0018]** Le conduit d'entrée des gaz de combustion du composant tubulaire en forme de U et le conduit de sortie des gaz de combustion du composant tubulaire en forme de U sont disposés à une extrémité du cylindre interne du réacteur, à proximité de la source de gaz de combustion à haute température.

**[0019]** Sur la face intérieure du cylindre extérieur du réacteur, plusieurs déflecteurs en forme d'arc sont disposés le long de l'axe du réacteur, et sont situés au-dessus de la couche de matériau isolant réfractaire et celle de matériau métallique. La surface incurvée du déflecteur en forme d'arc est disposée contre la direction d'écoulement des gaz de combustion à haute température. De cette façon, la surface incurvée du déflecteur en forme d'arc peut partiellement bloquer les gaz de combustion à haute température et les guider longitudinalement vers le cylindre interne du réacteur à chauffer.

**[0020]** Les déflecteurs en forme d'arc sont répartis sur la paroi intérieure du cylindre extérieur du réacteur le long de la direction de l'axe du corps du réacteur en longueur et distance égales.

**[0021]** L'angle inclus entre la ligne tangente au bas de la surface en arc du déflecteur en forme d'arc et l'axe du corps du réacteur  $\theta$  est de  $30^\circ \sim 40^\circ$ .

**[0022]** L'extrémité avant du déflecteur en forme d'arc traverse la couche de matériau d'isolation réfractaire à l'intérieur du matériau composite et est fixée sur la couche métallique de la face intérieure du cylindre extérieur. La couche de matériau d'isolation réfractaire composite comprenant une couche de matériaux d'isolation réfractaire et une couche de matériau métallique est située sur la paroi intérieure du cylindre extérieur du réacteur.

**[0023]** L'épaisseur de la couche de matériau d'isolation thermique réfractaire dans le matériau composite d'isolation thermique réfractaire est de 25-30 mm, et l'épaisseur de la couche métallique est de 6-8 mm.

**[0024]** Le déflecteur en forme d'arc est fabriqué en acier inoxydable 316L. La longueur L du déflecteur en forme d'arc est de 300-500 mm, et la distance entre les déflecteurs en forme d'arc dans la direction axiale du corps du réacteur est de 500-600 mm.

**[0025]** La paroi extérieure circonférentielle du cylindre interne du réacteur est pourvue d'aillettes à panneau hyperbolique disposées en rangées, et les ailettes à panneau hyperbolique sont disposées sur la paroi extérieure circonférentielle du cylindre interne du réacteur selon une inclinaison de  $30^\circ \sim 45^\circ$ . Les facettes supérieure et inférieure, les facettes avant et arrière de toute ailette à panneau hyperbolique sont toutes des surfaces incurvées avec la même courbure. Les facettes gauche et droite de toute ailette à panneau hyperbolique sont rectangulaires.

**[0026]** Les ailettes à panneau hyperbolique sont disposées en rangée le long de la direction axiale du cylindre interne du réacteur et les ailettes hyperboliques dans toutes rangées d'aillettes à panneau hyperbolique sont toutes parallèles.

**[0027]** Un des deux côtés des ailettes à panneau hyperbolique est disposé selon une forme hyperbolique à pente positive, alors l'autre côté des ailettes à panneau hyperbolique est disposé selon une forme à pente hyperbolique négative.

**[0028]** Les différentes rangées d'aillettes hyperboliques sont uniformément réparties sur la paroi extérieure circonférentielle du cylindre interne du réacteur. En outre, la courbure de la facette supérieure et inférieure de chaque ailette à panneau hyperbolique est égale à la courbure de l'arc de surface externe du cylindre interne du réacteur auquel elle est fixée.

**[0029]** L'intervalle entre deux ailettes à panneau hyperbolique adjacentes dans la même colonne est égal à la longueur de la corde incurvée des ailettes à panneau hyperbolique. L'intervalle entre deux ailettes à panneau hyperbolique dans la même rangée et l'intervalle entre deux ailettes à panneau hyperbolique dans une colonne adjacente est égale à la longueur de corde incurvée des ailettes à panneau hyperbolique.

**[0030]** La hauteur des ailettes à panneau hyperbolique est de  $1/15$  à  $1/25$  du diamètre extérieur du cylindre interne du réacteur sur lequel elles sont situées; la longueur de l'ailette du panneau hyperbolique est supérieure à deux fois sa hauteur. L'épaisseur de chaque ailette à panneau hyperbolique est de 8 à 10 mm.

**[0031]** Le rayon de courbure des faces avant et arrière des ailettes du panneau hyperbolique est égal au rayon de la circonférence du cylindre interne du réacteur sur lequel elles sont situées.

**[0032]** Les ailettes à panneau hyperbolique sont fabriquées en acier inoxydable 310S ou 314, et les ailettes à panneau hyperbolique sont fixées sur la surface extérieure du cylindre intérieur du réacteur par soudage.

**[0033]** Le cylindre intérieur du corps du réacteur est doté d'un mécanisme d'agitation à coupe uniaxiale à entraînement direct. Le mécanisme d'agitation comprend une lame de coupe en spirale disposée sur l'arbre principal de la lame d'agitation, et les deux extrémités de l'arbre principal de la lame d'agitation dépassent du réacteur. L'arbre principal est entraîné par une unité de ligne directe d'engrenage à moteur électrique.

**[0034]** L'arbre principal de la lame d'agitation est équipé de deux lames de coupe en spirale alternées de longueur égale ; l'une des lames est tordue à 180° dans le sens des aiguilles d'une montre et l'autre lame est tordue à 180° dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, le diamètre des lames est de 700-900 mm. L'intersection entre deux lames représente 15 à 18 % de la longueur d'une seule lame.

**[0035]** L'extrémité proéminente de l'arbre principal de la lame d'agitation est respectivement équipée d'un siège de palier avant du mécanisme d'agitation, d'un composant d'étanchéité, du siège de palier arrière et des composants d'étanchéité du mécanisme d'agitation.

**[0036]** Un joint de refroidissement détachable est disposé sur l'extrémité prolongée de l'arbre principal de la lame d'agitation. L'entrée d'eau de refroidissement et la sortie d'eau de refroidissement du joint de refroidissement détachable sont respectivement reliées à la sortie d'eau et à l'entrée d'eau de retour du refroidisseur à air par des tuyaux.

**[0037]** La sortie des fumées du passage d'air chaud sur le dessus du cylindre extérieur du réacteur est reliée à l'entrée des fumées de l'échangeur de chaleur gaz-gaz par le conduit d'évacuation des fumées; la sortie d'air chaud de l'échangeur de chaleur gaz-gaz est reliée à l'entrée du souffleur; la sortie du souffleur est reliée au fourneau à air chaud mobile ; le fourneau à air chaud mobile souffle les gaz de combustion à haute température dans le passage d'air chaud entre la paroi intérieure du cylindre extérieur du réacteur et la paroi extérieure du cylindre intérieur du réacteur.

**[0038]** Une plaque de transfert de chaleur en forme de coussin est disposée à l'intérieur de l'échangeur de chaleur gaz-gaz; l'air froid, provenant de l'entrée d'air froid de l'échangeur de chaleur gaz-gaz, pénètre à l'intérieur de la plaque de transfert de chaleur en forme de coussin, et l'air chaud après échange de chaleur sort de la sortie d'air chaud, puis entre dans le souffleur ; les gaz de combustion à haute température provenant de l'entrée de gaz de combustion de l'échangeur de chaleur pénètre dans le canal extérieur de la plaque de transfert de chaleur en forme de coussin, et le gaz de combustion à basse température, après échange de chaleur, s'échappe par la sortie de gaz de combustion de l'échangeur de chaleur gaz-gaz.

**[0039]** La sortie des gaz de combustion de l'échangeur de chaleur est reliée à l'entrée du ventilateur centrifuge à tirage induit par le conduit d'entrée du ventilateur centrifuge à tirage induit. L'extrémité de sortie du ventilateur à tirage induit centrifuge est pourvue d'un conduit de sortie du ventilateur à tirage induit centrifuge.

**[0040]** L'orifice d'alimentation du cylindre intérieur du réacteur est équipé d'une porte d'alimentation et d'une entrée de gaz de protection. L'extrémité de sortie du réacteur est équipée d'un conduit de sortie de vapeur d'huile et de gaz, d'une porte d'entretien et d'un système de décharge de scories. Le conduit de sortie de vapeur d'huile et de gaz est relié au ventilateur centrifuge à tirage induit résistant aux hautes températures. La sortie du ventilateur centrifuge à tirage induit est équipé d'un tuyau de raccordement à l'orifice de sortie du ventilateur centrifuge à tirage induit.

**[0041]** Par rapport à l'état actuel de la technique, la présente invention présente les avantages suivants:

Afin de mieux utiliser les gaz de combustion à haute température générés par la combustion, le système de pyrolyse de la présente invention ajoute un composant tubulaire en forme de U au cylindre interne du réacteur, et utilise une partie des gaz de combustion à haute température pour échanger de la chaleur directement dans le cylindre interne du réacteur à travers le composant tubulaire en forme de U. Le matériau est chauffé plus efficacement en augmentant la surface d'échange thermique, ce qui permet non seulement de réduire les émissions de gaz à effet de serre, mais aussi de réduire la consommation d'énergie.

**[0042]** Afin de résoudre les problèmes de flux d'écoulement irrégulier et de débit trop rapide du passage d'air chaud du système de pyrolyse, un certain nombre d'ailettes en forme d'arc sont disposées sur le cylindre interne du réacteur du côté du passage d'air chaud. Les déflecteurs en forme d'arc permettent de partiellement bloquer les gaz de combustion à haute température et les guider longitudinalement vers le cylindre intérieur du réacteur à chauffer, permettant ainsi la régulation de l'uniformité du flux d'écoulement, de la réduction du débit et de l'ajustement du volume et de la température de l'air chaud.

**[0043]** Dans le système de pyrolyse de la présente invention, afin d'améliorer le transfert de chaleur, le réacteur de pyrolyse de la présente invention possède un réseau d'ailettes à panneaux hyperboliques disposés de manière spécifique sur la surface extérieure du cylindre interne du réacteur, ce qui peut améliorer le transfert de chaleur. Les ailettes hyperboliques inclinées forcent le fluide à se déplacer dans le sens de l'envergure, et le fluide s'écoule près de la surface de l'ailette hyperbolique, ce qui améliore considérablement le transfert de chaleur.

**[0044]** Afin d'améliorer l'uniformité des matériaux en réaction, le système de pyrolyse de la présente invention est doté d'un mécanisme d'agitation à coupe uniaxiale à entraînement direct dans le cylindre intérieur du réacteur, et l'arbre principal de la lame de mélange est doté de deux lames de coupe en spirale alternées de longueur égale. Le mélange et la dispersion des matériaux à haute viscosité par le mécanisme de mélange sont réalisés par la combinaison du cisaillement, de l'étalement, de l'étirement, du pliage, de la compression, du pétrissage et du déchirement (agissant principalement sur les matériaux). La structure solide, la conception spéciale et la surface de la lame de coupe en spirale permet le mélange, de sorte qu'elle peut mélanger de manière stable des matériaux à haute viscosité en grande quantité, et l'uniformité du mélange peut atteindre 99%.

**[0045]** Afin de résoudre le problème de la non-utilisation de la chaleur résiduelle des gaz de combustion à haute température, le système de pyrolyse de la présente invention est équipé d'un échangeur de chaleur gaz-gaz pour récupérer la chaleur évacuée par les gaz de combustion de la chambre de combustion et l'utiliser pour préchauffer l'air d'alimentation de la combustion dans le fourneau à air chaud. L'augmentation de la température de préchauffage de l'air d'alimentation de la combustion peut étendre la plage de combustion stable du combustible, et plus la température de préchauffage est élevée, plus la plage de combustion stable est importante.

### Description du dessin

#### **[0046]**

La figure 1 est le diagramme schématique de l'état de fonctionnement du système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement des déchets solides organiques de la présente invention;

La figure 2 est le schéma de la structure externe et interne du réacteur de pyrolyse de la présente invention;

La figure 3 est le schéma en coupe de la disposition du composant tubulaire en forme de U de la présente invention sur le réacteur de pyrolyse horizontal;

La figure 4 est le schéma de la structure du tube en forme de U du composant tubulaire en forme de U de la présente invention;

La figure 5 est le schéma de la structure du déflecteur en arc de cercle de la présente invention;

La figure 6 est un schéma des différents types d'ailettes d'amélioration du transfert de chaleur différenciées par leur forme dans l'art antérieur;

La figure 7 est un diagramme structurel schématique d'une ailette à panneau hyperbolique pour améliorer le transfert de chaleur de la présente invention;

La figure 8 est un schéma de l'agencement des ailettes à panneau hyperbolique améliorant le transfert de chaleur de la présente invention sur le cylindre interne du réacteur;

La figure 9 est une vue en coupe schématique de l'agencement des ailettes à panneau hyperbolique améliorant le transfert de chaleur de la présente invention sur le cylindre interne du réacteur du réacteur de pyrolyse horizontal;

La figure 10 est un schéma de structure du mécanisme d'agitation à coupe uniaxiale à entraînement direct de la présente invention;

La figure 11 est un schéma de la disposition de l'installation et de la trajectoire du mouvement de la lame d'agitation du mécanisme d'agitation à coupe uniaxiale à entraînement direct dans le cylindre interne du réacteur de pyrolyse horizontal de la présente invention ;

La figure 12 est un schéma de structure de l'échangeur de chaleur gaz-gaz à plaques de la présente invention.

**[0047]** Parmi celles-ci : 1 - Fourneau à air chaud mobile ; 2 - Brûleur à gaz/combustible ; 3 - Souffleur ; 4 - Sortie d'air chaud du fourneau à air chaud ; 5 - Entrée d'air chaud du réacteur ; 6 - Matériau d'isolation réfractaire ; 7 - Colonne de support de l'entrée d'air chaud ; 8 - Soutien du rouleau de support et siège du rouleau de support ; 9 - Écran filtrant à mailles grossières ; 10 - Entrée d'alimentation du réacteur ; 11 - Entrée de gaz de protection ; 12 - Porte d'alimentation ; 13 - Siège du palier avant et composants d'étanchéité du mécanisme d'agitation ; 14 - Cylindre extérieur du réacteur ; 15 - Cadre de support du cylindre extérieur ; 16 - Couche de matériau isolant réfractaire composite et de matériau métallique ; 17 - Déflecteur en forme d'arc ; 18 - Conduit d'entrée des gaz de combustion du composant tubulaire en forme de U ; 19 - Écran filtrant à mailles fines ; 20 - Cylindre intérieur du réacteur ; 21 - Ailettes à panneau hyperbolique ; 22 - Passage de l'air chaud ; 23 - Lame ; 24 - Arbre principal de la lame d'agitation ; 25 - Tube en forme de U ; 26 - Conduit de sortie des gaz de combustion du composant tubulaire en forme de U ; 27 - Sortie d'évacuation des fumées du passage d'air chaud ; 28 - Conduit d'évacuation des fumées ; 29 - Sortie du réacteur ; 30 - Conduit d'évacuation de la vapeur d'huile et des gaz ; 31 - Porte d'entretien et de décharge des scories ; 32 - Siège de palier arrière et composants d'étanchéité

du mécanisme d'agitation ; 33 - Unité de ligne directe d'engrenage à moteur électrique ; 34 - Joint de refroidissement amovible ; 35 - Corps du cadre de support ; 36 - Refroidisseur à air ; 37 - Entrée d'eau de refroidissement ; 38 - Sortie d'eau de refroidissement ; 39 - Ventilateur centrifuge à tirage induit résistant aux températures élevées ; 40 - Groupe de support du ventilateur à tirage induit centrifuge ; 41 - Tuyau de raccordement à l'orifice de sortie du ventilateur à tirage induit centrifuge ; 42 - Echangeur de chaleur gaz-gaz ; 43 - Couche d'isolation réfractaire ; 44 - Plaque de transfert de chaleur en forme de coussin ; 45 - Entrée des gaz de combustion de l'échangeur de chaleur ; 46 - Sortie des gaz de combustion de l'échangeur de chaleur ; 47 - Entrée d'air froid ; 48 - Sortie d'air chaud ; 49 - Conduit d'entrée du ventilateur à tirage induit centrifuge ; 50 - Ventilateur à tirage induit centrifuge ; 51 - Conduit de sortie du ventilateur à tirage induit centrifuge.

## Réalisation de l'invention

**[0048]** La présente invention est décrite plus en détail ci-après, en liaison avec les dessins et les exemples de réalisation qui l'accompagnent.

**[0049]** Comme le montre la figure 1 : afin de mieux utiliser les gaz de combustion à haute température produits par la combustion, le système de pyrolyse économe en énergie fourni par la présente invention pour traiter les déchets solides organiques a ajouté un composant tubulaire en forme de U dans le cylindre interne du réacteur 20 ; afin de résoudre les problèmes de flux d'écoulement irrégulier et de vitesse d'écoulement trop rapide dans le conduit de gaz de combustion, plusieurs déflecteurs en forme d'arc 17 sont disposés à l'intérieur du passage d'air chaud 22 vers le cylindre interne du réacteur 20 ; afin d'améliorer le transfert de chaleur, la surface extérieure du cylindre intérieur 20 du réacteur est équipée d'un ensemble d'ailettes hyperboliques 21 qui peuvent améliorer le transfert de chaleur d'une manière originale ; afin d'améliorer l'uniformité du matériau, le mécanisme d'agitation à coupe uniaxiale et à entraînement direct est introduit à l'intérieur de 20 ; l'échangeur de chaleur gaz-gaz 42 pour préchauffer l'air d'alimentation de la combustion dans le fourneau à air chaud mobile 1 utilise la chaleur résiduelle des gaz de combustion à l'extérieur du réacteur ; les équipements spécifiques sont décrits comme suit.

### 1. Composant tubulaire en forme de U

**[0050]** Afin de mieux utiliser les gaz de combustion à haute température générés par la combustion, dans la présente invention, comme le montrent la Figure 2, la Figure 3 et la Figure 4, un composant tubulaire en forme de U est utilisé pour chauffer directement les matériaux dans le réacteur en utilisant une partie des gaz de combustion à haute température, ce qui non seulement augmente la zone d'échange de chaleur mais améliore également l'efficacité de l'utilisation de l'énergie. Le composant tubulaire en forme de U est composé du conduit d'entrée des gaz de combustion 18, d'un écran filtrant à maille fine, du tube en forme de U 25 et du conduit de sortie des gaz de combustion 26. Le tube en forme de U est fabriqué en acier inoxydable sans soudure 310S ou 316L, et l'épaisseur de sa paroi correspond à l'épaisseur du cylindre interne (20) du réacteur. La section d'entrée du composant tubulaire en forme de U est le conduit d'entrée des gaz de combustion 18 du composant tubulaire en forme de U. Dans les applications pratiques, 18 est utilisé comme le conduit d'entrée du composant tubulaire en forme de U pour recevoir les gaz de combustion à haute température, qui se situent à l'extérieur du cylindre interne 20 du réacteur, mais à l'intérieur du passage d'air chaud 22. La section intermédiaire du composant tubulaire en forme de U est un tube en forme de U 25, comme illustré sur les figures 3 et 4. Le tube en forme de U 25 est disposé au-dessus de la lame 23 du mécanisme d'agitation et est parallèle à l'axe central du réacteur de pyrolyse horizontal. La longueur du tube en forme de U 25 est inférieure à la longueur de la cavité intérieure du cylindre interne 20 du réacteur. La section de sortie du composant tubulaire en forme de U est le conduit de sortie des gaz de combustion 26. 26 et le conduit d'entrée des gaz de combustion 18 sont placés à l'extrémité d'alimentation 10 du réacteur. Sur les côtés gauche et droit, les lignes d'axe des deux conduits sont parallèles l'une à l'autre, et les deux sont situés sur le côté gauche du cylindre interne du réacteur 20.

**[0051]** Comme le montrent les figures 1 et 2, afin d'utiliser les gaz de combustion à haute température, un écran filtrant à mailles grossières détachable et lavable 9 en acier inoxydable 310S est installé à l'arrière de l'entrée d'air chaud du réacteur 5 du réacteur de pyrolyse horizontal. L'ouverture au niveau de l'orifice de départ du conduit d'entrée des gaz de combustion (18) du composant tubulaire en forme de U a la forme d'une trompette élargie, qui est utilisée comme entrée des gaz de combustion à haute température. Afin d'empêcher la poussière transportée par les gaz de combustion de boucher le conduit du composant tubulaire en forme de U, un métal non ferreux est utilisé dans la présente invention. Le diamètre du conduit en acier inoxydable est large,  $\geq 80\text{mm}$ , et un écran filtrant à mailles fines 19 en acier inoxydable 310S pour filtrer les fumées est ajouté au conduit d'entrée des gaz de combustion 18. L'extrémité arrière du conduit d'entrée des gaz de combustion 18 est reliée à 20 par soudage ou scellement à haute température. 18 est relié à une extrémité ouverte du tube en U 25. La base du conduit de sortie des gaz de combustion 26 du composant tubulaire en forme de U est relié à 20 par soudage ou scellement à haute température et est relié à l'autre extrémité ouverte du tube en forme de U 25. L'extrémité arrière de 26 est reliée à la sortie d'évacuation des fumées du canal d'air chaud 27 par une dérivation. Les trois orifices d'évacuation de fumée du canal d'air chaud 27 illustrés sur la figure 1 peuvent non seulement évacuer la fumée dans le passage d'air chaud 22, mais aussi évacuer la fumée dans le composant tubulaire en forme de U. Sous l'action synergique du souffleur 3 et du ventilateur centrifuge à tirage induit 50 de la figure 1, la direction de l'écoulement des gaz de combustion à haute température dans le passage d'air chaud 22 du réacteur de pyrolyse et dans le composant tubulaire en forme de U est comme indiqué sur les figures 1 et 2, par une flèche. Une partie des gaz de combustion



dans le passage d'air chaud 22 est filtrée par l'écran filtrant à maille fine 19, puis aspirée par le conduit d'entrée des gaz de combustion 18 ; comme le composant tubulaire en forme de U est sans soudure, il est hermétique et relié à 20. Le fluide chaud est transporté indépendamment, et les gaz de combustion aspirés ne peuvent que s'écouler et transférer la chaleur le long du composant tubulaire en forme de U. Les gaz de combustion provenant de la sortie d'évacuation des fumées 27 sont finalement aspirés dans le conduit d'évacuation des fumées 28. Le composant tubulaire en forme de U de la présente invention peut être utilisé non seulement dans le réacteur de pyrolyse horizontal, mais aussi dans le réacteur de pyrolyse vertical ou des dispositifs similaires.

## 2. Déflecteurs

**[0052]** Afin de résoudre le problème du flux d'écoulement irrégulier dans le conduit de fumées, des déflecteurs sont généralement disposés dans le conduit principal de fumées. Dans la présente invention, entre le passage d'air chaud 22 et le côté intérieur du cylindre extérieur du réacteur 14, une pluralité de déflecteurs en forme d'arc 17 de longueur égale et de distribution équidistante sont disposés le long de la direction axiale du corps du réacteur et leurs surfaces sont parallèles les unes aux autres. Les déflecteurs en forme d'arc 17 bloquent partiellement l'air chaud avec leur surface en forme d'arc et le guide longitudinalement vers le cylindre interne 20 du réacteur à chauffer, de manière à ajuster le volume et la température de l'air chaud. Comme le montre la figure 5, l'angle inclus  $\theta$  entre la ligne tangente au bas de la surface en forme d'arc du déflecteur en forme d'arc et l'axe du corps du réacteur est de  $30^\circ \sim 40^\circ$ , et la longueur L du déflecteur en forme d'arc 17 est de 300 ~ 500 mm, sa taille pouvant être révisée en fonction des conditions de travail réelles. Afin d'empêcher efficacement la corrosion à haute température et d'assurer la sécurité et la fiabilité du dispositif d'écoulement, le déflecteur en forme d'arc 17 est fabriqué en acier inoxydable 316L. L'extrémité avant du déflecteur en forme d'arc 17 traverse la couche de matériau isolant réfractaire à l'intérieur de la couche composite de matériau isolant réfractaire 16 et est fixée sur la paroi intérieure de la couche métallique à l'extérieur de la couche 16 par l'intermédiaire du support d'arbre. Les couche de matériau d'isolation réfractaire et de matériau métallique sont situées sur la paroi intérieure du cylindre extérieur du réacteur. L'épaisseur de la couche de matériau d'isolation thermique réfractaire est de 25-30 mm, et l'épaisseur de la couche métallique est de 6-8 mm. La distance entre les déflecteurs 17 en forme d'arc est de 500-600 mm. Selon la simulation CFD par ordinateur et les données expérimentales, le déflecteur en forme d'arc 17 sert non seulement à guider le flux du gaz pour le stabiliser, mais aussi à réduire la zone à haute vitesse et la zone à basse vitesse, de sorte que l'uniformité de la vitesse est grandement améliorée, et la perte de charge du système peut être réduite en même temps. Lorsque  $\theta$  est de  $30^\circ \sim 40^\circ$ , l'efficacité de l'échange thermique peut être augmentée de plus de 10%.

## 3. Ailettes de transfert de chaleur renforcées

**[0053]** L'objectif des ailettes est d'améliorer le transfert de chaleur. Le transfert de chaleur est proportionnel à la surface de transfert de chaleur, au coefficient de transfert de chaleur et à la différence de température :  $Q=KA\Delta T$ , où Q est la quantité de transfert de chaleur, K est le coefficient de transfert de chaleur, A est la surface de transfert de chaleur et  $\Delta T$  est la différence de température. Pour améliorer le transfert de chaleur, il est nécessaire d'augmenter la zone de transfert de chaleur, d'améliorer le coefficient de transfert de chaleur et/ou d'augmenter la différence de température. La température de fonctionnement étant généralement limitée, l'augmentation de la différence de température n'est pas nécessairement réalisable dans la pratique. La méthode la plus couramment utilisée consiste donc à augmenter le coefficient de transfert de chaleur ou à accroître la surface de transfert de chaleur. La méthode d'amélioration du coefficient de transfert de chaleur comprend l'utilisation de la convection forcée et l'utilisation d'un écoulement diphasique ; la méthode d'augmentation de la surface de transfert de chaleur consiste à utiliser des ailettes, qui peuvent non seulement améliorer l'efficacité du transfert de chaleur durant le processus de pyrolyse, mais aussi servir à la dissipation de la chaleur après le processus de pyrolyse. Avec le flux d'air, le transfert de chaleur sur la surface des ailettes est obtenu par trois mécanismes principaux : la convection naturelle, la convection forcée et le transfert de chaleur par rayonnement.

**[0054]** Différentes formes d'ailettes, comme le montre la figure 6, sont utilisées dans la production industrielle : les ailettes en plaques, telles que les ailettes plates, triangulaires et paraboliques, les ailettes cylindriques, telles que les ailettes cylindriques, carrées, hexagonales et coniques, et les ailettes en anneaux, en forme de cercle, de coquilles, etc. Les ailettes rectangulaires étant simples et rapides à fabriquer, elles sont le plus souvent utilisées dans la pratique pour augmenter le taux de transfert de chaleur par convection.

**[0055]** Comme le montrent la figure 1 et la figure 2, dans la présente invention, huit ensembles d'ailettes à panneau hyperbolique 21 avec un angle d'inclinaison de  $45^\circ$  sont disposés sur la surface extérieure du cylindre interne du réacteur 20 pour améliorer la conduction thermique, la structure des ailettes à panneau hyperbolique 21 étant représentée à la figure 7. Une paire d'ailette à panneau hyperbolique 21 provenant du réseau est représentée sur la figure 8, dans laquelle la hauteur des ailettes à panneau hyperbolique est de  $1/15$  à  $1/25$  du diamètre extérieur du cylindre interne du réacteur sur lequel elles sont situées ; la longueur des ailettes à panneau hyperbolique est plus de deux fois leur hauteur. L'épaisseur de chaque ailette à panneau hyperbolique 21 est de 8 à 10 mm. L'intervalle entre deux ailettes à panneau hyperbolique adjacentes dans la même colonne est égal à la longueur de la corde incurvée des ailettes à panneau hyperbolique. La distance centrale entre deux ailettes à panneau hyperbolique dans la même rangée et la distance centrale entre deux ailettes à panneau hyperbolique dans une colonne adjacente est égale à la longueur de corde incurvée des ailettes à panneau hyperbolique. Le rayon de courbure des côtés avant et arrière des ailettes à panneau hyperbolique 21 est égal

au rayon de la circonférence du cylindre interne du réacteur 20 sur lequel elles sont situées. Les ailettes à panneaux hyperboliques à rangées multiples sont uniformément réparties sur la paroi extérieure circonférentielle du cylindre interne du réacteur. En outre, la courbure de la facette supérieure et inférieure de chaque ailette à panneau hyperbolique est égale à la courbure de l'arc de surface externe du cylindre interne du réacteur auquel elle est fixée.

**[0056]** Les ailettes du panneau hyperbolique sont fabriquées en acier inoxydable 310S ou 314, et les ailettes du panneau hyperbolique sont fixées sur la surface extérieure du cylindre intérieur du réacteur par soudage. Une vue en coupe transversale de l'agencement du réseau d'ailettes sur la surface extérieure du cylindre interne du réacteur 20 est représentée sur la figure 9. La figure 9 montre que sur la circonférence à 360° de la section transversale du cylindre interne 20, une ailette à panneau hyperbolique 21 avec un angle d'inclinaison de 45° est disposée sur l'arc de cercle avec un intervalle de 45°.

**[0057]** Une fois que les ailettes à panneau hyperbolique 21 avec un angle de 45° sont disposées, le fluide est forcé de se déplacer longitudinalement sur le cylindre interne du réacteur à chauffer, et le fluide s'écoule près de la surface des ailettes à panneau hyperbolique 21, de sorte que le transfert de chaleur soit grandement amélioré ; via des simulations, l'augmentation du transfert de chaleur dans l'écoulement laminaire est d'environ 40-50%, et l'augmentation du transfert de chaleur dans l'écoulement turbulent est d'environ 15-20%, mais la perte de charge est inférieure à 1 Pa; lorsque le nombre de Reynolds est élevé, le modèle de conduction thermique de l'angle d'inclinaison  $\theta$  de l'ailette de 45°, est légèrement supérieur au modèle de conduction thermique de l'angle d'inclinaison  $\theta$  de l'ailette de 30° et la disposition des ailettes à panneau hyperbolique 21 peut modifier considérablement la distribution de la température des ailettes.

#### 4. Mécanisme d'agitation à coupe uniaxiale à entraînement direct

**[0058]** Les propriétés physiques et mécaniques des plastiques sont étroitement liées à la température. Lorsque la température change, le comportement mécanique des plastiques change et présente différents états physiques. Avec le chauffage du réacteur de pyrolyse, les propriétés macroscopiques des déchets plastiques ou du caoutchouc présentent trois états mécaniques : état vitreux, état hautement élastique et état d'écoulement visqueux, et deux transformations de l'état vitreux à l'état hautement élastique et de l'état hautement élastique à l'état d'écoulement visqueux.

**[0059]** En général, la viscosité des liquides à faible masse moléculaire est faible, et la viscosité ne change pas fondamentalement avec l'état d'écoulement à une certaine température déterminée. Par exemple, à température ambiante, la viscosité de l'eau est d'environ 1 mPa.s. Les liquides non newtoniens, tels que les plastiques polymères ou le caoutchouc, ont une viscosité absolue élevée lorsqu'ils sont chauffés et transformés en liquide. La viscosité à cisaillement nul  $\eta_0$  du polymère fondu est de l'ordre de  $10^2$ - $10^4$  Pa.s, soit environ  $10^6$  fois celle de l'eau, ce qui montre que la viscosité de la masse fondue est importante. On considère généralement qu'un fluide dont la viscosité est inférieure à 5 Pa.s est un fluide à faible viscosité ; un fluide de 5-50 Pa.s est un fluide à viscosité moyenne ; et un fluide de 50-500 Pa.s est un fluide à viscosité élevée. La viscosité des matières plastiques ou des caoutchoucs fondus tels que ceux décrits dans cet article est considérée comme très élevée, car supérieure à 500 Pa.s.

**[0060]** Dans le processus de pyrolyse des déchets de plastique ou de caoutchouc et d'autres matériaux, lorsque la température dans le réacteur de pyrolyse dépasse la température d'écoulement visqueux  $T_f$  du matériau, ce dernier devient un fluide à très haute viscosité. Si le transfert de chaleur entre la paroi du réacteur de pyrolyse et le matériau n'est pas uniforme, des phénomènes de fonctionnement anormaux tels que l'adhésion du matériau au réacteur, une agglomération voire un phénomène de „lit mort“ se produiront facilement, ce qui affectera le fonctionnement normal du réacteur de pyrolyse. Dans l'industrie de la pyrolyse, on observe fréquemment des apparitions de scories sur la paroi interne du corps du réacteur après la réaction de pyrolyse. Ces scories sont causées par le mauvais écoulement et le chauffage inégal de la matière après que celle-ci soit devenue un fluide à très haute viscosité. S'il n'est pas nettoyé, le coke sur la paroi interne du corps du réacteur deviendra de plus en plus épais, ce qui affectera sérieusement la conduction thermique. Lorsque le plastique ou le caoutchouc est dans un état d'écoulement visqueux, la viscosité est de 1000-10000 Pa.s. Afin de résoudre le problème d'adhésion mentionné ci-dessus, la présente invention introduit un mécanisme d'agitation à coupe uniaxiale à entraînement direct montré dans la figure 10 dans le corps du réacteur du système de pyrolyse.

**[0061]** Ce mécanisme d'agitation à coupe uniaxiale à entraînement direct contient une lame d'agitation coupante très résistante. Elle permet de mélanger et disperser les matériaux à haute viscosité en combinant le cisaillement, l'étalement, l'étirement, le pliage, la compression, le pétrissage et la déchirure (agissant principalement sur les matériaux). La structure solide et la conception spéciale de la lame de coupe en spirale 23 impliquée dans le mélange est très large et ferme, et permet de mélanger de manière stable des matériaux à haute viscosité et en grande quantité ; l'uniformité du mélange peut atteindre 99%.

**[0062]** Le mécanisme d'agitation comprend une lame de coupe en spirale 23 disposée sur l'arbre principal 24 de la lame d'agitation, et les deux extrémités de l'arbre principal 24 de la lame d'agitation dépassent de l'extrémité du cylindre intérieur 20 du réacteur. L'arbre principal 24 est entraîné par une unité de ligne directe d'engrenage à moteur électrique 33. L'extrémité proéminente de l'arbre principal de la lame d'agitation 24 est respectivement équipée d'un siège de palier avant du mécanisme d'agitation et de composants d'étanchéité 13 et du siège de palier arrière et des composants d'étanchéité du mécanisme d'agitation 32.

**[0063]** Comme le montre la figure 10, le mécanisme d'agitation de la présente invention adopte une disposition à un seul arbre, et l'arbre principal 24 de la lame d'agitation est muni de deux lames de coupe en spirale 23 alternées, de même

longueur. L'une des lames 23 est tordue à 180° dans le sens des aiguilles d'une montre, et l'autre lame 23 est tordue à 180° dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Le diamètre des lames 23 est de 700-900 mm, et un tel arrangement peut fournir un mélange radial et axial suffisant. Comme la température de fonctionnement dans le cylindre interne 20 du réacteur est relativement élevée, la lame 23 est faite d'acier inoxydable résistant aux hautes températures. En outre, afin d'empêcher le roulement de l'arbre principal 24 de la lame d'agitation de surchauffer, les extrémités avant et arrière du mécanisme d'agitation sont équipées de joints de refroidissement détachables 34, qui peuvent être connectés à un équipement de refroidisseurs à air 36 pour empêcher la surchauffe des roulements. Un tuyau relie le joint de refroidissement détachable 34 et refroidit le palier en faisant circuler l'eau de refroidissement entre l'entrée d'eau de refroidissement 37 et la sortie d'eau de refroidissement 38.

**[0064]** La figure 1 et la figure 2 montrent la disposition de l'installation du mécanisme d'agitation dans le réacteur de pyrolyse. Étant donné que les matériaux (déchets plastiques ou déchets de caoutchouc) contenus dans le cylindre interne 20 du corps de réaction passe de l'état solide à l'état liquide lorsqu'ils sont chauffés à une certaine température, un changement de volume très important se produit. Un grand espace apparaît dans la cavité supérieure du cylindre 20 dans le réacteur, originellement presque rempli, et la ligne de niveau du liquide à ce moment-là peut être légèrement supérieure à l'axe central du cylindre 20 dans le réacteur ou inférieure à l'axe central. Si l'arbre principal 24 de la lame d'agitation du mécanisme d'agitation est placé au niveau de l'axe central du cylindre intérieur 20 du réacteur, après que le matériau ait été chauffé à l'état liquide, une partie de la lame 23 ne sera plus en contact avec les matériaux pendant son mouvement circulaire, ce qui entraînera une agitation inefficace. Afin de remuer efficacement les matériaux fondus, l'arbre principal 24 de la lame d'agitation est placé sous l'axe central du corps cylindrique 20 dans le réacteur, comme illustré sur la figure 11. La trajectoire de la lame d'agitation 23 dans le cylindre intérieur 20 du réacteur est représentée par la ligne pointillée sur la figure 11. L'amplitude maximale du mouvement circulaire de la lame 23 doit être aussi proche que possible du fond de la paroi intérieure du cylindre 20 dans le réacteur, afin d'agiter complètement les matériaux à l'état solide et à l'état liquide ; l'écart entre le bord le plus extérieur de la lame d'agitation 23 et le fond de la paroi intérieure du cylindre intérieur 20 du réacteur est de 8-10 mm.

## 5. Échangeur de chaleur gaz-gaz

**[0065]** Afin de résoudre le problème de la non-utilisation de la chaleur résiduelle des gaz de combustion à haute température évacués, la chaleur évacuée par les gaz de combustion de la chambre de combustion est récupérée et utilisée pour préchauffer l'air d'alimentation de la combustion. L'augmentation de la température de préchauffage de l'air d'alimentation de la combustion peut étendre la plage de combustion stable du combustible. Plus la température de préchauffage est élevée, plus la plage de combustion stable est grande.

**[0066]** Les échangeurs de chaleur gaz-gaz sont utilisés pour le chauffage (préchauffage), le refroidissement (prérefroidissement), la récupération de la chaleur résiduelle et d'autres conditions de travail. Dans les conditions d'échange de chaleur gaz-gaz de la présente invention, un échangeur de chaleur traditionnel présenterait soit une trop faible efficacité de transfert de chaleur, soit une perte de charge trop importante pour être utilisée efficacement, soit il serait affecté par la présence de poussières. L'échangeur de chaleur gaz-gaz 42 utilisé dans la présente invention sert à l'échange de chaleur entre les gaz de combustion et l'air, et est conçu sur la base de la technologie de transfert de chaleur par soudage laser de plaques en forme de coussins. La plaque de transfert de chaleur en forme de coussin (44) illustrée sur la figure 12 est traitée par soudage laser automatique et par un processus de postformage. Sa structure spéciale en forme de coussin permet un meilleur état d'écoulement turbulent aux fluides entre les plaques de 44, de manière à obtenir un transfert de chaleur plus efficace. Plusieurs plaques de transfert de chaleur en forme de coussin (44) sont disposées à certains intervalles dans l'échangeur de chaleur gaz-gaz (42). Entre les plaques se trouve un canal de gaz propre ; l'air froid entre à l'intérieur de 44 par l'entrée d'air froid (47) et la chaleur est échangée. L'air chaud chauffé sort par la sortie d'air chaud 48, puis entre dans le souffleur 3 et est entraîné vers le fourneau à air chaud mobile 1. L'extérieur de 44 est un canal de gaz de combustion à haute température. Les gaz de combustion s'écoulent de la sortie des gaz de combustion de l'échangeur de chaleur 46 dans le conduit d'entrée du ventilateur centrifuge à tirage induit 49, et sont évacués par le conduit de sortie du ventilateur centrifuge à tirage induit 51 sous l'action du ventilateur centrifuge à tirage induit 50. La distance entre les plaques de transfert de chaleur en forme de coussin 44 peut être conçue et ajustée de manière flexible en fonction des conditions de travail. L'échangeur de chaleur gaz-gaz 42 présente non seulement un coefficient de transfert de chaleur très élevé, mais aussi les caractéristiques techniques suivantes : faible perte de charge, résistance aux hautes températures et aux hautes pressions, résistance à la poussière, facilité de nettoyage, etc. ce qui représente des avantages conséquents en comparaison des échangeurs de chaleur traditionnels.

## Exemple de réalisation

**[0067]** Dans la présente invention, comme le montre la figure 1, le cylindre intérieur du réacteur horizontal 20 est placé à l'intérieur du cylindre extérieur du réacteur 14. Une partie de l'extrémité d'alimentation du réacteur 10 et de la sortie du réacteur 29 sont toutes deux situées à l'intérieur du cylindre extérieur du réacteur 14, et l'autre partie est située à l'extérieur du cylindre extérieur du réacteur 14. Le poids de l'extrémité d'alimentation du réacteur 10, du cylindre intérieur du réacteur 20, de la sortie du réacteur 29, des matières premières remplissant le réacteur, du mécanisme d'agitation du réacteur et du composant tubulaire en forme de U de la figure 1 est supporté par les quatre sets de de rouleau de support et le siège

de rouleau de support 8, par plusieurs colonnes de support d'entrée d'air chaud 7 et par le corps de cadre de support 35 ; le poids du cylindre extérieur du réacteur 14 est supporté par un certain nombre de cadre de support du cylindre extérieur 15 ; le passage d'air chaud 22 est l'espace entre le cylindre extérieur du réacteur 14 et le cylindre intérieur du réacteur 20 ; et l'espace entre le cylindre extérieur 14 du réacteur et le passage d'air chaud 22 est rempli de matériaux isolants réfractaires composites 16.

**[0068]** Avant de remplir le réacteur de déchets solides organiques, il est nécessaire de mettre en marche le ventilateur centrifuge à tirage induit 39 résistant aux hautes températures pour aspirer l'air dans le cylindre 20 du réacteur ; 2000 kg de déchets de plastique/caoutchouc sont d'abord soumis à un broyage grossier, à une récupération des métaux, à une déshydratation mécanique, à un séchage et à un broyage. Ils sont compactés en petits morceaux après le prétraitement, puis ces petits morceaux sont introduits dans le cylindre intérieur 20 du réacteur par la porte d'alimentation 12 à l'aide d'un alimentateur externe, et le mécanisme d'agitation est mis en marche pendant le processus d'alimentation pour mélanger les matériaux d'alimentation. Puis, la porte d'alimentation 12 est fermée après le remplissage. Ensuite, de l'azote ou du gaz protecteur CO<sub>2</sub> est injecté dans le cylindre intérieur 20 du réacteur par l'entrée de gaz de protection 11, de sorte que l'ensemble du processus de pyrolyse se déroule dans un environnement sans oxygène ou à faible teneur en oxygène. Puis, l'entrée de gaz de protection 11 est fermée. Il est alors possible de déplacer le fourneau à air chaud mobile 1 vers le système de pyrolyse horizontal, pour établir la connexion entre la sortie d'air chaud du fourneau à air chaud 4 et l'entrée d'air chaud du réacteur 5. Le brûleur à combustible liquide/gazeux 2 est enclenché, et l'air chaud entre dans le passage d'air chaud 22 depuis l'entrée d'air chaud 5 du réacteur sous l'action du souffleur 3 et passe à travers l'écran filtrant à mailles grossières 9 en acier inoxydable 310S ; l'ensemble du corps 20 est chauffé, ce qui améliore l'homogénéité de la distribution de la chaleur. Dans la direction de l'axe du corps du réacteur, plusieurs déflecteurs 17 en forme d'arc sont disposés sur les bords supérieur et inférieur du conduit d'air du passage d'air chaud 22. La surface en arc de cercle des déflecteurs 17 bloque partiellement l'air chaud et le guide longitudinalement vers le réacteur à chauffer et permet le réglage du volume et de la température de l'air chaud. Afin de renforcer le transfert de chaleur, huit groupes d'ailettes à panneaux hyperboliques 21 avec un angle d'inclinaison de 45° sont disposés sur la surface extérieure du cylindre intérieur 20 du réacteur. Sous l'effet synergique du souffleur 3 et du ventilateur centrifuge à tirage induit 50 illustré sur les figures 1 et 2, une partie des gaz de combustion à haute température passant dans le passage d'air chaud 22 est filtrée par un écran filtrant à maille fine 19 en acier inoxydable 310S, puis aspirée par le conduit d'entrée des gaz de combustion 18 dans le composant tubulaire en forme de U. Comme le composant tubulaire en forme de U est sans soudure, il est étroitement relié au cylindre interne 20 du réacteur et transporte le fluide chaud de manière indépendante. Les gaz de combustion aspirés ne peuvent s'écouler et transférer de la chaleur que le long de la cavité interne du composant tubulaire en forme de U. Cette partie des gaz de combustion peut directement s'écouler dans le cylindre 20 du réacteur et peut chauffer directement les matériaux dans le cylindre 20 du réacteur. Après le transfert de chaleur, elle est finalement aspirée dans le conduit d'évacuation des fumées 28 par le conduit de sortie des gaz de combustion du composant tubulaire en forme de U et transmise à la sortie d'évacuation des fumées du passage d'air chaud 27. En outre, les gaz de combustion à haute température collectés par les deux autres orifices de 27 sont également évacués dans le conduit d'évacuation des fumées 28. Les gaz de combustion à haute température entrent dans l'échangeur de chaleur gaz-gaz 42 par le conduit d'évacuation des fumées 28 et l'entrée des gaz de combustion de l'échangeur de chaleur 45 ; les gaz de combustion à basse température, après échange de chaleur par l'échangeur de chaleur gaz-gaz 42, sont évacués par la sortie des gaz de combustion de l'échangeur de chaleur 46 et entrent dans le conduit d'entrée du ventilateur centrifuge à tirage induit 49, sous l'action du ventilateur centrifuge à tirage induit 50, puis dans le conduit de sortie du ventilateur centrifuge à tirage induit 51, et 51 peut être connecté à une série d'autres équipements de traitement des gaz pour désulfurer les gaz de combustion et les évacuer en toute sécurité après dépoussiérage. De l'air froid est amené entre les plaques de transfert de chaleur en forme d'oreiller 44 dans l'échangeur de chaleur gaz-gaz 42 depuis l'entrée d'air froid 47, et l'air chaud à haute température obtenu après l'échange de chaleur sort par la sortie d'air chaud 48 et entre ensuite dans le souffleur 3. Le souffleur 3 souffle l'air chaud à haute température vers le fourneau à air chaud mobile 1 en tant qu'air d'alimentation pour la combustion. L'augmentation de la température de préchauffage de l'air d'alimentation pour la combustion peut étendre la plage de combustion stable du combustible. Plus la température de préchauffage est élevée, plus la plage de combustion stable est grande.

**[0069]** Pendant le processus de chauffage du cylindre intérieur 20 du réacteur, le mécanisme d'agitation à coupe uniaxiale à entraînement direct agit le matériau sous l'action synergique de ses différents composants, et la vitesse d'agitation est de 40 à 50 tr/min. En outre, afin d'éviter la surchauffe du palier de l'arbre principal 24 de la lame d'agitation, le mécanisme d'agitation peut être relié à un ensemble de refroidisseurs à air 36. La circulation entre l'entrée d'eau de refroidissement 37 et la sortie d'eau de refroidissement 38 permet de refroidir le palier.

**[0070]** Lorsque le matériau est chauffé de la température ambiante à environ 450-500°C dans le réacteur de pyrolyse horizontal, son état physique change et une grande quantité de gaz de pyrolyse à haute température commence à être générée ; sous l'action du tirage induit, il s'écoule le long du conduit de sortie de vapeur d'huile et de gaz 30, puis entre dans le tuyau de raccordement 41 de l'orifice de sortie du ventilateur centrifuge. Ensuite, le gaz de pyrolyse à haute température peut entrer dans un réservoir de déchloration du système suivant pour la réduction de chlore, un réservoir de séparation vapeur-eau en acier inoxydable est utilisé pour la séparation vapeur-eau, puis le gaz d'huile légère propre et sec entre dans le système de condensation pour être condensé en huile. Les gaz non condensés peuvent être introduits dans le fourneau à air chaud portable 1 pour une combustion après traitement. Lorsque la pyrolyse est terminée et que le

réacteur de pyrolyse horizontal est refroidi, les résidus de la réaction de pyrolyse, tels que le noir de carbone et la poudre de cendres, peuvent être nettoyés en ouvrant la porte 31 de maintenance et de décharge des scories, puis en connectant un dépoussiéreur industriel mobile pour terminer le nettoyage. Ensuite, le noir de carbone collecté peut être recyclé.

[0071] L'exemple de réalisation ci-dessus ne sert qu'à illustrer l'idée technique de la présente invention, et ne limite pas la portée de la protection de la présente invention. Toute modification apportée sur la base de la solution technique selon l'idée technique proposée par la présente invention entre dans le cadre de la protection de la présente invention. La technologie non impliquée dans la présente invention peut être réalisée par la technologie existante.

## Revendications

1. Système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement de déchets solides organiques, comprenant un cylindre extérieur (14) du réacteur de pyrolyse et un cylindre intérieur (20) du réacteur de pyrolyse, caractérisé en ce que : au moins un composant tubulaire en forme de U est disposé dans le cylindre intérieur (20) du réacteur. Le composant tubulaire en forme de U comprend un tube en forme de U (25) disposé dans la partie supérieure de la cavité intérieure du cylindre intérieur (20) du réacteur, et les deux extrémités ouvertes du tube en forme de U (25) sont respectivement reliées à l'extrémité de sortie du conduit d'entrée des gaz de combustion (18) du composant tubulaire en forme de U et à l'entrée du conduit de sortie des gaz de combustion (26) du composant tubulaire en forme de U. L'entrée du conduit d'entrée des gaz de combustion (18) est ouverte aux gaz de combustion à haute température et l'extrémité de sortie du conduit de sortie des gaz de combustion (26) du composant tubulaire en forme de U est reliée à la sortie d'évacuation des fumées du passage d'air chaud (27) par une dérivation. Sur le côté intérieur du cylindre extérieur (14) du réacteur, plusieurs déflecteurs en forme d'arc (17) sont disposés le long de l'axe du réacteur, et sont situés au-dessus de la couche de matériau composite réfractaire isolant (16) comprenant une couche de matériau métallique. La surface incurvée des déflecteurs en forme d'arc (17) est disposée contre la direction d'écoulement des gaz de combustion à haute température. De cette façon, la surface incurvée du déflecteur en forme d'arc (17) peut partiellement retenir les gaz de combustion à haute température et les guider longitudinalement vers le cylindre interne (20) du réacteur à chauffer. Sur la paroi extérieure circonférentielle du cylindre intérieur (20) du réacteur sont intégrées des ailettes à panneau hyperbolique (21) disposées en réseau, et les ailettes à panneau hyperbolique (21) sont disposées sur la paroi extérieure circonférentielle du cylindre intérieur (20) du réacteur selon une inclinaison de  $30^\circ \sim 45^\circ$ . Les facettes supérieure et inférieure, les facettes avant et arrière de toute ailette à panneau hyperbolique (21) sont toutes des surfaces incurvées avec la même courbure. Les facettes gauche et droite de toute ailette à panneau hyperbolique (21) sont rectangulaires. Les ailettes à panneau hyperbolique (21) sont disposées en rangées le long de la direction axiale du cylindre interne du réacteur (20). Les ailettes à panneau hyperbolique (21) dans toute rangée d'ailettes à panneau hyperbolique (21) sont toutes disposées en parallèle. Les ailettes à panneau hyperbolique (21) à rangées multiples sont uniformément réparties sur la paroi extérieure circonférentielle du cylindre intérieur du réacteur (20). En outre, la courbure de la facette supérieure et inférieure de chaque ailette à panneau hyperbolique (21) est égale à la courbure de l'arc de surface externe du cylindre interne (20) du réacteur auquel elle est fixée. L'intervalle entre deux ailettes à panneau hyperbolique (21) adjacentes dans la même colonne est égal à la longueur de la corde incurvée des ailettes à panneau hyperbolique (21). La distance centrale entre deux ailettes à panneau hyperbolique (21) dans la même rangée et la distance centrale entre deux ailettes à panneau hyperbolique dans une colonne adjacente, est égale à la longueur de corde incurvée des ailettes à panneau hyperbolique (21). La hauteur des ailettes à panneau hyperbolique (21) est de  $1/15$  à  $1/25$  du diamètre extérieur du cylindre interne (20) du réacteur sur lequel elles sont situées. La longueur des ailettes à panneau hyperbolique (21) est supérieure à deux fois leur hauteur. L'épaisseur de chaque ailette à panneau hyperbolique (21) est de 8 à 10 mm. Le rayon de courbure des côtés avant et arrière des ailettes à panneau hyperbolique (21) est égal au rayon de la circonférence du cylindre interne (20) du réacteur sur lequel elles sont situées. Les ailettes à panneau hyperbolique (21) sont fabriquées en acier inoxydable 310S ou 314, et les ailettes à panneau hyperbolique (21) sont fixées sur la surface extérieure du cylindre interne (20) du réacteur par soudage. Les ailettes à panneau hyperbolique (21) disposées dans le réseau ci-dessus font que le transfert de chaleur en écoulement laminaire augmente de 40-50%, le transfert de chaleur en écoulement turbulent augmente de 15-20%, et la perte de charge est inférieure à 1 Pa.
2. Système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement de déchets organiques solides selon la revendication 1, dans lequel : un écran filtrant à mailles fines (19) en acier inoxydable 310 capable de filtrer la fumée et la poussière est installé à l'intérieur de l'ouverture de l'orifice de départ du conduit d'entrée des gaz de combustion (18) du composant tubulaire en forme de U.
3. Système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement de déchets organiques solides selon la revendication 1, dans lequel : l'ouverture au niveau de l'orifice de départ du conduit d'entrée des gaz de combustion (18) du composant tubulaire en forme de U a la forme d'une trompette élargie. L'extrémité arrière du conduit d'entrée des gaz de combustion (18) du composant tubulaire en forme de U est reliée au cylindre interne (20) du réacteur par soudage ou par un joint résistant aux hautes températures, et (18) est reliée à une extrémité ouverte du tube en forme de U (25).
4. Système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement de déchets organiques solides selon la revendication 1, dans lequel : l'orifice de départ du conduit de sortie des gaz de combustion (26) du composant tubulaire en forme de

U est relié au cylindre interne (20) du réacteur par soudage ou par un joint résistant aux hautes températures, et (26) est relié à l'autre extrémité d'ouverture du tube en forme de U (25).

5. Système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement de déchets solides organiques selon la revendication 1, dans lequel : le conduit d'entrée des gaz de combustion (18), le tube en forme de U (25) et le conduit de sortie des gaz de combustion (26) du composant tubulaire en forme de U sont fabriqués en acier inoxydable sans soudure 310S ou 316L. Le diamètre du conduit d'entrée des gaz de combustion (18), du tube en forme de U (25) et du conduit de sortie des gaz de combustion (26) du composant tubulaire en forme de U est supérieur ou égal à 80mm, et l'épaisseur de paroi des trois éléments ci-dessus est égale à l'épaisseur du cylindre interne (20) du réacteur.
6. Système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement de déchets organiques solides selon la revendication 1, dans lequel : le conduit d'entrée des gaz de combustion (18) du composant tubulaire en forme de U et le conduit de sortie des gaz de combustion (26) du composant tubulaire en forme de U sont disposés à une extrémité du cylindre interne du réacteur (20) adjacent à la source de gaz de combustion à haute température.
7. Système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement de déchets organiques solides selon la revendication 1, dans lequel : les déflecteurs en forme d'arc (17) sont répartis sur la paroi intérieure du cylindre extérieur (14) du réacteur le long de la direction de l'axe du corps du réacteur en longueur et distance égales.
8. Système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement de déchets organiques solides selon la revendication 1, dans lequel : l'angle inclus entre la ligne tangente à la base de la surface en forme d'arc du déflecteur en forme d'arc (17) et l'axe du corps du réacteur  $\theta$  est de  $30^\circ \sim 40^\circ$ .
9. Système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement de déchets solides organiques selon la revendication 1, dans lequel : l'extrémité avant du déflecteur en forme d'arc (17) traverse la couche de matériau isolant réfractaire à l'intérieur de la couche de matériau isolant réfractaire composite (16) et est fixée sur la paroi intérieure de la couche de métal à l'extérieur de (16) par l'intermédiaire du support d'arbre. La couche de matériau isolant réfractaire composite (16) est située sur la paroi intérieure du cylindre extérieur (14) du réacteur.
10. Système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement des déchets organiques solides selon la revendication 9, dans lequel : l'épaisseur de la couche de matériau d'isolation thermique réfractaire dans le matériau d'isolation thermique réfractaire composite (16) est de 25-30 mm et l'épaisseur de la couche métallique est de 6-8 mm.
11. Système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement de déchets organiques solides selon la revendication 1, dans lequel : le déflecteur en forme d'arc (17) est fait d'acier inoxydable 316L. La longueur L de (17) est de 300-500 mm, et la distance entre les déflecteurs en forme d'arc (17) le long de la direction axiale du corps du réacteur est de 500-600 mm.
12. Système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement de déchets solides organiques selon la revendication 1, dans lequel : un côté des ailettes à panneau hyperbolique (21) est disposé selon une forme hyperbolique à pente positive, tandis que le côté opposé des ailettes à panneau hyperbolique (21) est disposé selon une forme inversée et hyperbolique à pente négative.
13. Système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement de déchets organiques solides selon les revendications 1 à 6, dans lequel : le cylindre interne (20) du corps de réacteur est pourvu d'un mécanisme d'agitation à coupe uniaxiale à entraînement direct. Le mécanisme d'agitation comprend une lame de coupe en spirale (23) disposée sur l'arbre principal (24) de la lame d'agitation, et les deux extrémités de l'arbre principal (24) de la lame d'agitation dépassent de l'extrémité du cylindre intérieur (20) du réacteur. L'arbre principal (24) est entraîné par une unité de ligne directe d'engrenage à moteur électrique (33).
14. Système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement de déchets organiques solides selon la revendication 13, dans lequel : l'arbre principal (24) de la lame d'agitation est équipé de deux lames de coupe en spirale alternées de longueur égale (23) ; l'une des lames (23) est tordue à  $180^\circ$  dans le sens des aiguilles d'une montre et l'autre lame (23) est tordue à  $180^\circ$  dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Le diamètre des lames (23) est de 700-900 mm et l'intersection entre deux lames (23) représente 15-18% de la longueur d'une seule lame (23).
15. Système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement de déchets organiques solides selon la revendication 13, dans lequel : l'extrémité proéminente de l'arbre principal de la lame d'agitation (24) est respectivement équipée d'un siège de palier avant du mécanisme d'agitation, d'un composant d'étanchéité (13) et du siège de palier arrière et des composants d'étanchéité du mécanisme d'agitation (32).
16. Système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement de déchets organiques solides selon la revendication 15, dans lequel : un joint de refroidissement détachable (34) est disposé sur l'extrémité proéminente de l'arbre principal (24) de la lame d'agitation. L'entrée d'eau de refroidissement (37) et la sortie d'eau de refroidissement (38) du joint de refroidissement détachable (34) sont respectivement reliées à la sortie d'eau et à l'entrée d'eau de retour du refroidisseur à air (36) par des tuyaux.
17. Système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement de déchets organiques solides selon les revendications 1 à 6, dans lequel : la sortie de fumée (27) du passage d'air chaud sur le dessus du cylindre extérieur (14) du réacteur est reliée à l'entrée de fumée (45) de l'échangeur de chaleur gaz-gaz (42) par le conduit d'évacuation de fumée (28) ;

la sortie d'air chaud (48) de l'échangeur de chaleur gaz-gaz (42) est reliée à l'entrée du souffleur (3) ; la sortie du souffleur (3) est reliée au fourneau à air chaud mobile (1) ; le fourneau à air chaud mobile (1) souffle les gaz de combustion à haute température dans le passage d'air chaud (22) entre la paroi intérieure du cylindre extérieur (14) du réacteur et la paroi extérieure du cylindre intérieur (20) du réacteur.

18. Système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement de déchets organiques solides selon la revendication 17, dans lequel : une plaque de transfert de chaleur en forme d'oreiller (44) est disposée à l'intérieur de l'échangeur de chaleur gaz-gaz (42) ; l'air froid provenant de l'entrée d'air froid (47) de l'échangeur de chaleur gaz-gaz (42) pénètre à l'intérieur de la plaque de transfert de chaleur en forme d'oreiller (44), et l'air chaud après l'échange de chaleur sort par la sortie d'air chaud (48) et entre ensuite dans le souffleur (3) ; les gaz de combustion à haute température arrivant par l'entrée des gaz de combustion (45) de l'échangeur de chaleur entrent dans le canal extérieur de la plaque de transfert de chaleur en forme de coussin (44), et les gaz de combustion à basse température, après l'échange de chaleur, sont évacués par la sortie des gaz de combustion (46) de l'échangeur de chaleur gaz-gaz (42).
19. Système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement de déchets organiques solides selon la revendication 18, dans lequel : la sortie des gaz de combustion (46) de l'échangeur de chaleur est reliée à l'entrée du ventilateur à tirage induit centrifuge (50) par le conduit d'entrée (49) du ventilateur à tirage induit centrifuge. L'extrémité de sortie du ventilateur à tirage induit centrifuge (50) est pourvue d'un conduit de sortie (51) du ventilateur à tirage induit centrifuge.
20. Système de pyrolyse économe en énergie pour le traitement de déchets organiques solides selon la revendication 1, dans lequel : l'orifice d'alimentation du réacteur (10) du cylindre interne (20) du réacteur est muni d'une porte d'alimentation (12) et d'une entrée de gaz de protection (11). L'extrémité de sortie (29) du réacteur est équipée d'un conduit de sortie de vapeur d'huile et de gaz (30) et d'une porte de maintenance et de décharge de scories (31). Le conduit de sortie de vapeur d'huile et de gaz (30) est relié au ventilateur centrifuge à tirage induit (39) résistant aux hautes températures. La sortie de (39) est équipé d'un tuyau de raccordement (41) à l'orifice de sortie du ventilateur centrifuge à tirage induit.

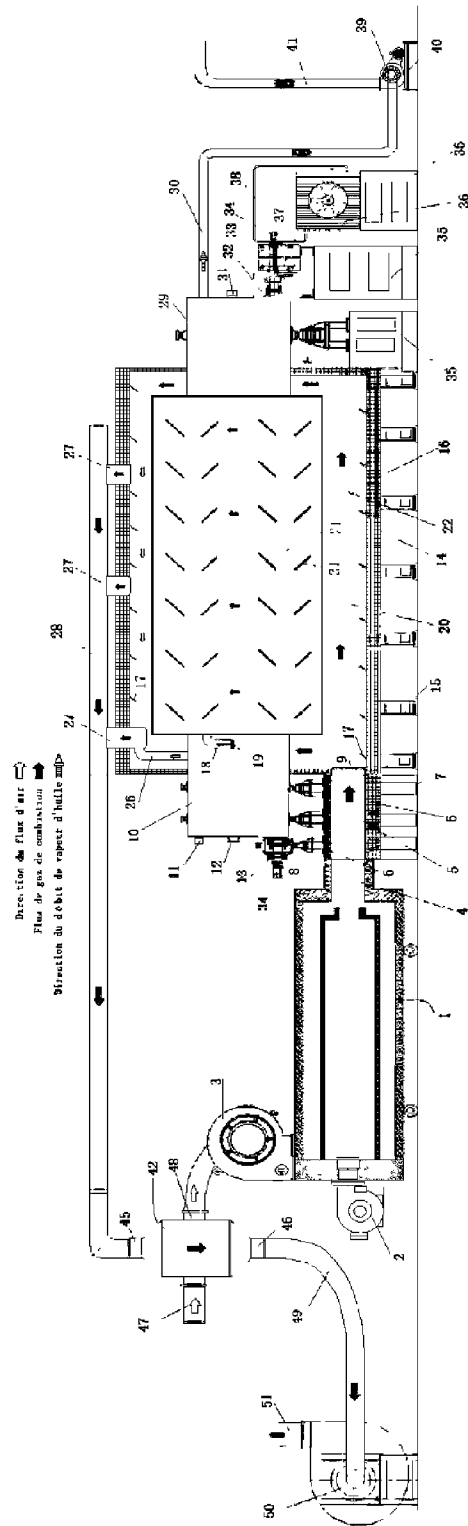


Fig. 1



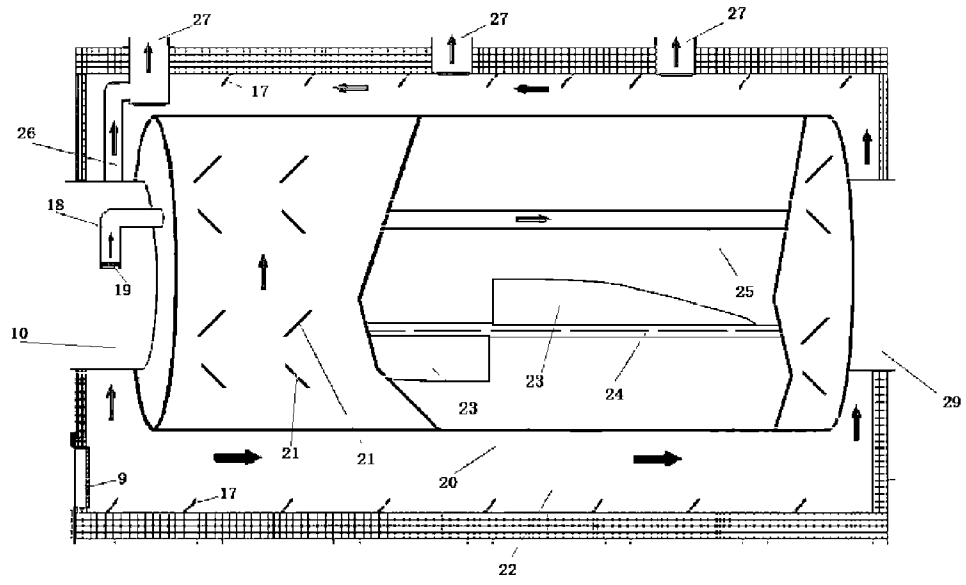


Fig. 2

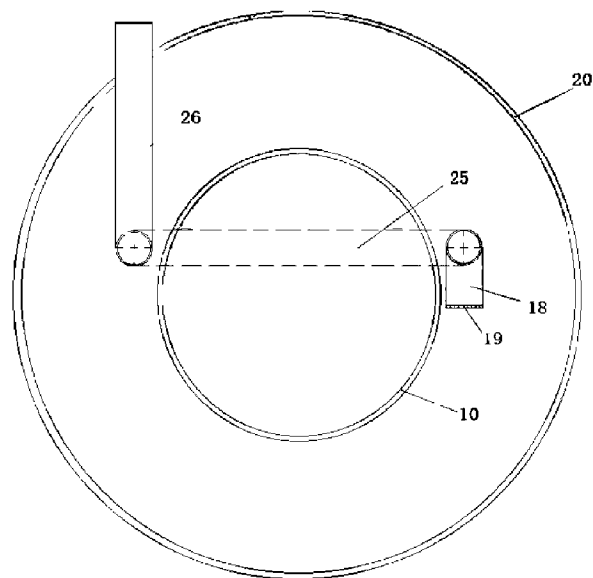


Fig. 3

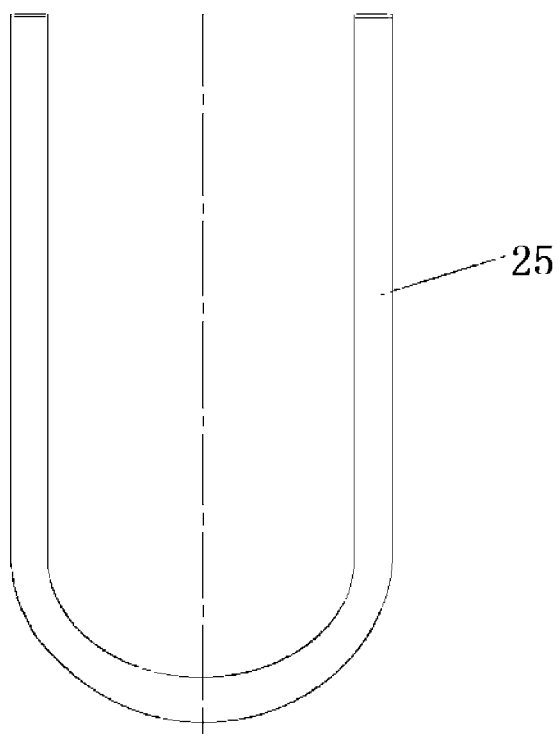


Fig. 4

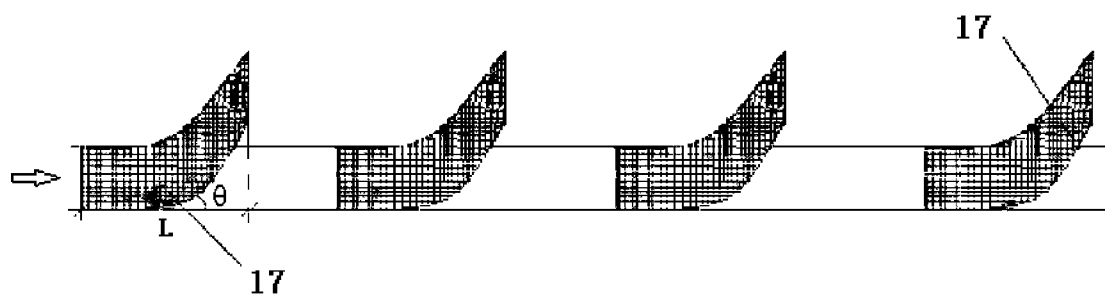


Fig. 5

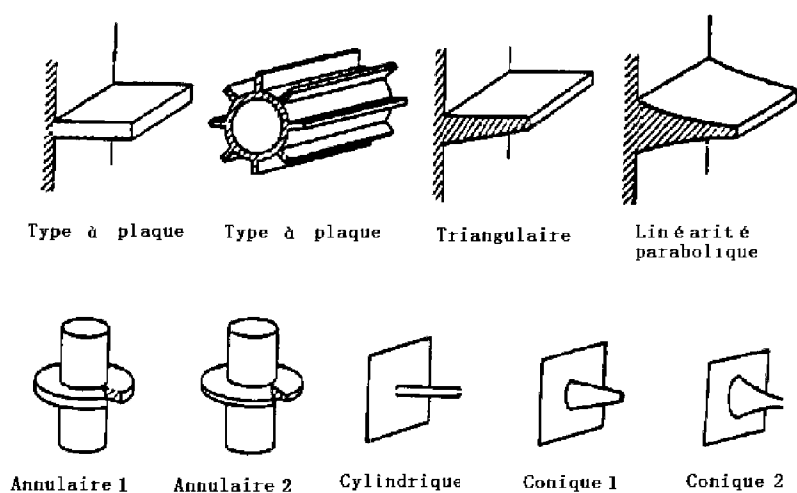


Fig. 6

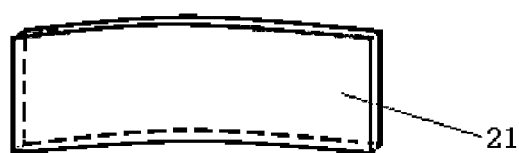


Fig. 7

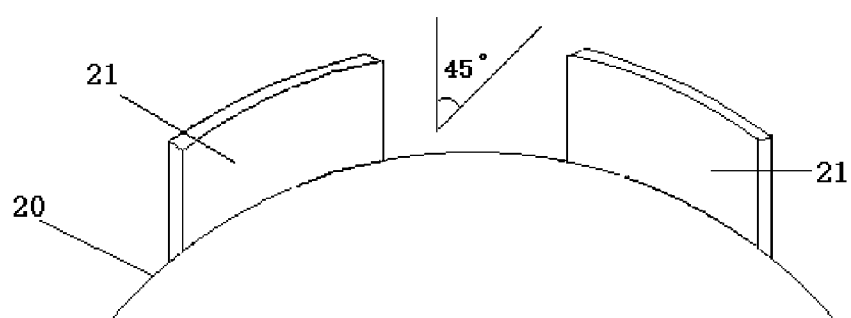


Fig. 8

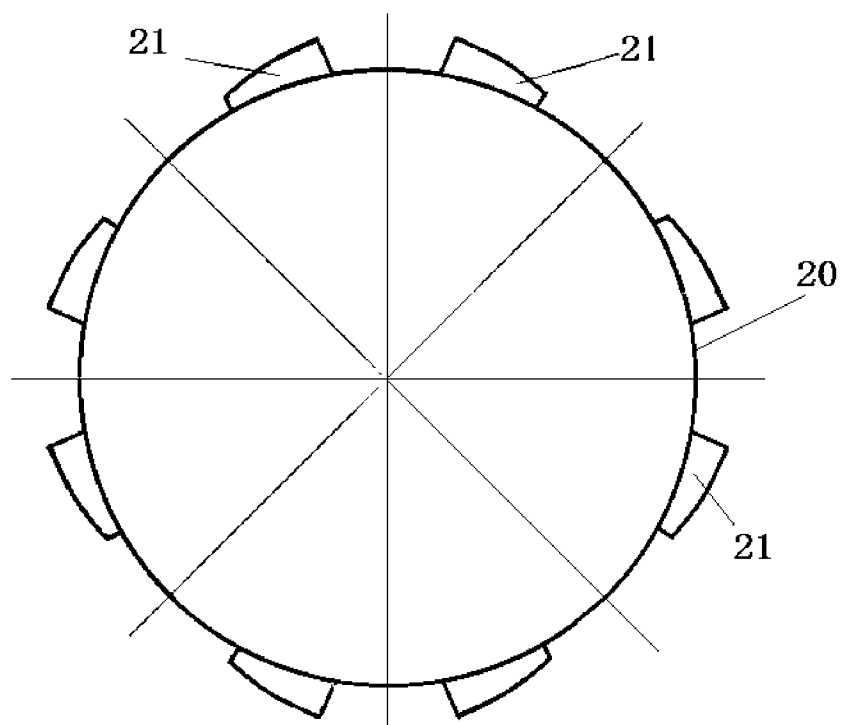


Fig. 9

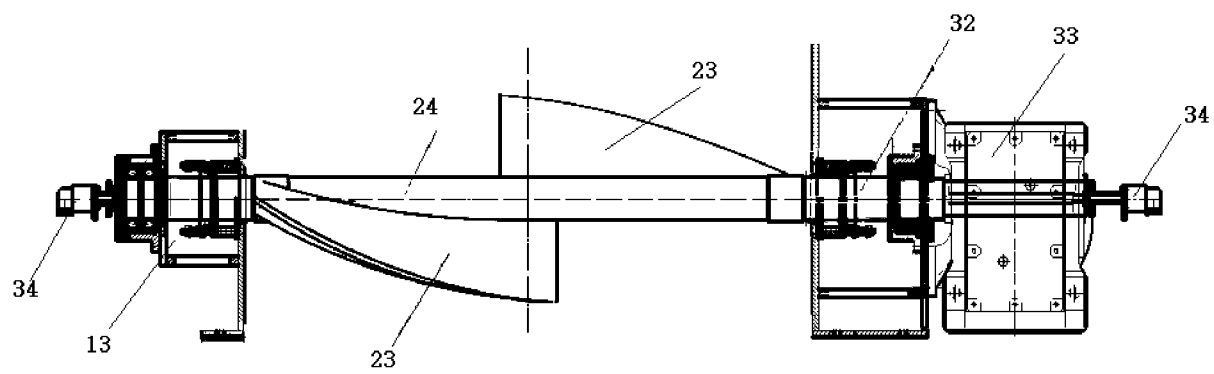


Fig. 10

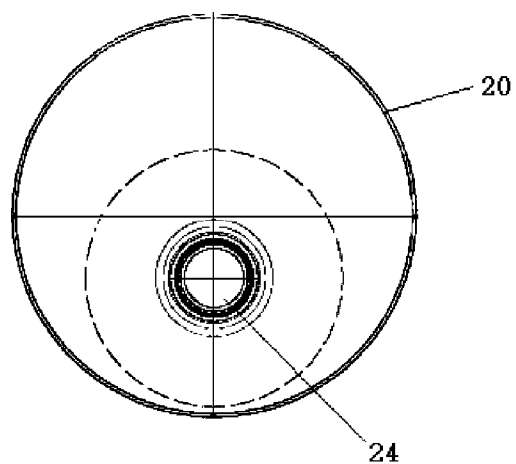


Fig. 11

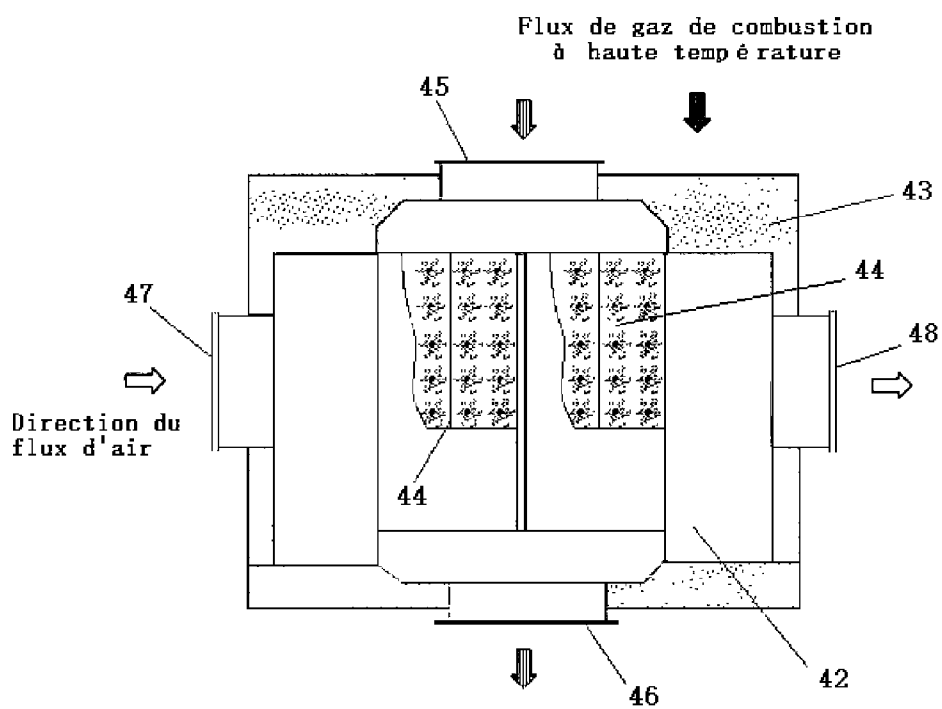


Fig. 12