(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** ***3 134 585***

(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **22 03543**

(51) Int Cl[8] : ***C 25 B 1/04*** *(2022.01), C 25 B 11/087, C 25 B 1/50*

(12) **CERTIFICAT D'UTILITÉ** **B3**

(54) RÉACTEUR À DÉCHARGE ÉLECTROCATALYTIQUE ET SYSTÈME DE PRODUCTION D'HYDROGÈNE.

(22) **Date de dépôt :** 15.04.22.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 20.10.23 Bulletin 23/42.

(45) **Date de la mise à disposition du public du certificat d'utilité :** 31.05.24 Bulletin 24/22.

(56) **Les certificats d'utilité ne font pas l'objet d'un rapport de recherche.**

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

◯ **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *HONG Kun-Liang* — CN.

(72) **Inventeur(s) :** HONG Kun-Liang.

(73) **Titulaire(s) :** HONG Kun-Liang.

(74) **Mandataire(s) :** GEVERS & ORES.

FR 3 134 585 - B3

Description

Titre de l'invention : RÉACTEUR À DÉCHARGE ÉLECTROCATALYTIQUE ET SYSTÈME DE PRODUCTION D'HYDROGÈNE

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un réacteur à décharge électrocatalytique et un système de production d'hydrogène.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE

[0002] Avec le développement rapide de l'économie moderne et la croissance rapide de la population mondiale, les hommes ont de plus en plus besoin d'énergie. Bien que des combustibles fossiles tels que le charbon et le pétrole constituent toujours une grande part de la structure énergétique actuelle, l'utilisation de combustibles fossiles d'une part entraîne une pollution de l'environnement sérieuse et menace sérieusement la santé et la vie des hommes. D'autre part, le besoin croissant d'énergie entraîne une crise énergétique sérieuse étant donné que les combustibles fossiles sont une ressource épuisable, non renouvelable. C'est pourquoi le développement et l'utilisation d'énergies renouvelables propres et efficaces constituent un objectif urgent du monde. En tant qu'énergie verte au XXIe siècle, l'énergie hydrogène est devenue en raison de sa capacité de stockage que ne possèdent pas l'énergie électrique et l'énergie thermique, la meilleure source d'énergie renouvelable et a aussi attiré l'attention de tous les pays du monde sur elle.

[0003] L'application pratique de l'énergie hydrogène doit résoudre les problèmes techniques suivants : technologie de production d'hydrogène bon marché, méthodes de stockage et de transport d'hydrogène sûres et fiables, technologie de conversion de l'énergie hydrogène à haute efficacité et voies d'application globales et approfondies pour l'énergie hydrogène. Actuellement, de nombreux procédés de production d'hydrogène sont principalement utilisés mais de nombreux problèmes se posent simultanément. Par exemple le CO dans le produit qui est obtenu par la réformation du gaz naturel et la gazéification du charbon pour la production d'hydrogène, doit être séparé et encore converti. Ce dernier peut contenir de la poussière et du soufre. Les inconvénients du reformage de vapeur d'hydrocarbure et de l'oxydation partielle d'hydrocarbures pour la production d'hydrogène consistent en ce que la température de conversion est élevée et le catalyseur est facilement désactivé. Le reformage d'hydrocarbures autothermique, le reformage de vapeur d'alcool, la décomposition d'alcool, et le reformage d'alcool autothermique pour la production d'hydrogène nécessitent toutes un catalyseur avec une activité et une stabilité élevées. La décomposition d'ammoniac pour la production d'eau nécessite une température de conversion élevée et les matières premières sont toxiques.

La décomposition d'hydrazine pour la production d'hydrogène utilise des matières premières toxiques et la réaction est explosive.

[0004] La production d'hydrogène par électrolyse de l'eau est une technologie de production d'hydrogène relativement sophistiquée. Cela élimine la dépendance au gaz naturel et présente les avantages d'un équipement simple, d'un fonctionnement fiable, d'une gestion confortable, d'une absence de pollution environnementale, d'une pureté élevée de l'hydrogène généré et d'une teneur faible en impuretés. Cela convient à différentes applications. Le seul inconvénient est toutefois une consommation d'énergie importante et des coûts de production de l'hydrogène élevés.

OBJECTIF DE L'INVENTION

[0005] L'objectif de l'invention consiste à fournir un réacteur à décharge électrocatalytique et un système de production d'hydrogène qui peut résoudre les problèmes survenant lors de la production d'hydrogène conventionnelle, tels qu'une efficacité faible, des coûts élevés et une sécurité de production instable.

[0006] L'objectif de l'invention est atteint par la technique suivante :

[0007] L'invention fournit un réacteur à décharge électrocatalytique qui comporte un boîtier isolant, deux plaques d'électrode, deux membranes d'échange de cations, deux plaques de blindage de catalyseur, un couvercle d'extrémité et une source de courant externe.

[0008] Le boîtier isolant forme un espace creux fermé avec un côté supérieur ouvert, dans lequel les plaques de blindage de catalyseur, les membranes d'échange de cations et les plaques d'électrode sont agencées de manière symétrique entre le centre et les deux parois latérales de l'espace creux fermé, dans lequel des catalyseurs sont prévus entre les deux plaques de blindage de catalyseur, dans lequel les plaques de blindage de catalyseur et les plaques d'électrode présentent respectivement plusieurs trous débouchants, dans lequel respectivement un canal d'électrolyse est formé entre les membranes d'échange de cations et les plaques d'électrode, dans lequel les deux parois latérales du boîtier isolant sont pourvues respectivement d'au moins un orifice de remplissage d'eau, dans lequel le côté supérieur du boîtier isolant et le couvercle d'extrémité sont reliés de manière étanche, et dans lequel deux connecteurs pneumatiques sont prévus sur le couvercle d'extrémité, lesquels sont reliés aux deux canaux d'électrolyse.

[0009] Les plaques d'électrode traversent le couvercle d'extrémité et sont reliées à la source de courant externe, dans lequel la plaque d'électrode reliée au pôle positif de la source de courant est la plaque d'électrode d'anode et le canal d'électrolyse sur le côté de la plaque d'électrode d'anode sert à la génération d'oxygène, dans lequel la plaque d'électrode reliée au pôle négatif de la source de courant est la plaque d'électrode de cathode et le canal d'électrolyse sur le côté de la plaque d'électrode de cathode sert à la génération d'hydrogène.

[0010] Dans l'invention, le matériau du boîtier isolant est un matériau d'isolation normal résistant aux températures élevées dans ce domaine, tel que du PPO, FRP ou PTFE.

[0011] Dans l'invention, les plaques d'électrode sont fabriquées en un matériau d'électrode normal dans ce domaine. Les plaques d'électrode se composent de préférence d'un alliage de titane, dans lequel les surfaces des plaques d'électrode sont de préférence pourvues par application ou galvanisation d'un revêtement, dans lequel le matériau du revêtement est un matériau de métal noble ou un oxyde du matériau de métal noble, et dans lequel le matériau de métal noble est de préférence du ruthénium, de l'iridium, du tantale, du platine ou du palladium.

[0012] Dans l'invention, la membrane d'échange de cations est une membrane d'échange de cations normale dans ce domaine. La membrane d'échange de cations est de préférence une membrane d'échange de cations homogène, une membrane d'échange de cations semi-homogène ou une membrane d'échange de cations hétérogène, de préférence une membrane d'échange de cations homogène à base de polymère.

[0013] Dans l'invention, les parois intérieures de l'espace creux fermé sont pourvues de rainures pour la fixation des plaques de blindage de catalyseur, des membranes d'échange de cations et des plaques d'électrode, dans lequel les parois intérieures de l'espace creux fermé sont de préférence pourvues selon les plaques d'électrode d'une pluralité de rainures parallèles et espacées de manière identique afin de modifier la largeur du canal d'électrolyse.

[0014] Dans l'invention, les catalyseurs sont fabriqués en un matériau de catalyseur normal dans ce domaine. Le matériau des catalyseurs est de préférence de l'oxyde de titane et/ou du pentoxyde de vanadium. Les catalyseurs sont de préférence sphériques, cubiques ou elliptiques. Les catalyseurs sont agencés de manière étroite entre les deux plaques de blindage de catalyseur.

[0015] L'invention fournit aussi un système de production d'hydrogène qui comporte N réacteurs à décharge électrocatalytique, au moins un réservoir de remplissage d'eau et un dispositif de séparation de gaz pour la collecte séparée d'hydrogène et d'oxygène, dans lequel N est un nombre entier de 1 à 200, dans lequel les parois latérales des réacteurs à décharge électrocatalytique sont pourvues d'un tube de sortie d'eau, dans lequel le réservoir de remplissage d'eau est relié par des tubes de remplissage d'eau aux orifices de remplissage d'eau des réacteurs à décharge électrocatalytique, et dans lequel le dispositif de séparation de gaz est relié par des conduites de gaz aux connecteurs pneumatiques des réacteurs à décharge électrocatalytique.

[0016] Dans l'invention, un capteur de température et une vanne sphérique électrique pour l'écoulement d'eau sont de préférence agencés au niveau du tube de sortie d'eau, dans lequel le capteur de température est électriquement relié à la vanne sphérique électrique pour l'écoulement d'eau. Le capteur de température est un capteur de tem-

pérature normal dans ce domaine et sert à la mesure de la température de l'eau du canal d'électrolyse. La vanne sphérique électrique pour l'écoulement d'eau est une vanne sphérique électrique normale dans ce domaine et peut réaliser en liaison avec le capteur de température une sortie d'eau automatique.

[0017] Dans l'invention, le réservoir de remplissage d'eau présente de préférence une soupape d'entrée d'eau. La soupape d'entrée d'eau est une soupape d'entrée d'eau normale dans ce domaine et de préférence une soupape à flotteur afin de commander automatiquement le niveau d'eau du réservoir de remplissage d'eau.

[0018] Dans l'invention, le réservoir de remplissage d'eau contient de préférence un réservoir de remplissage d'eau de cathode et un réservoir de remplissage d'eau d'anode qui sont agencés indépendamment l'un de l'autre, dans lequel l'orifice de remplissage d'eau sur le côté de la plaque d'électrode de cathode est l'orifice de remplissage d'eau de cathode et le réservoir de remplissage d'eau de cathode est de préférence relié par un tube de remplissage d'eau de cathode à l'orifice de remplissage d'eau de cathode, dans lequel l'orifice de remplissage d'eau sur le côté de la plaque d'électrode d'anode est l'orifice de remplissage d'eau d'anode et le réservoir de remplissage d'eau d'anode est de préférence relié par un tube de remplissage d'eau d'anode à l'orifice de remplissage d'eau d'anode. La configuration séparée du réservoir de remplissage d'eau assure que l'eau d'anode et l'eau de cathode ne soient pas mélangées, ce qui permet d'augmenter l'efficacité de l'énergie du courant.

[0019] Dans l'invention, le tube de sortie d'eau contient de préférence un tube de sortie d'eau de cathode et un tube de sortie d'eau d'anode, dans lequel le tube de sortie d'eau de cathode est de préférence relié au réservoir de remplissage d'eau de cathode et le tube de sortie d'eau d'anode est de préférence relié au réservoir de remplissage d'eau d'anode.

[0020] Dans l'invention, le dispositif de séparation de gaz contient de préférence un dispositif de séparation d'hydrogène et un dispositif de séparation d'oxygène, dans lequel les connecteurs pneumatiques sur le côté des plaques d'électrode de cathode sont les connecteurs de cathode pneumatiques, dans lequel le dispositif de séparation d'hydrogène est relié par une conduite de gaz aux connecteurs de cathode pneumatiques, et dans lequel les connecteurs pneumatiques sur le côté des plaques d'électrode d'anode sont les connecteurs d'anode pneumatiques et le dispositif de séparation d'oxygène est relié par une conduite de gaz aux connecteurs d'anode pneumatiques.

[0021] Dans l'invention, le dispositif de séparation de gaz est un tamis moléculaire, des fibres creuses ou une membrane à ultrafiltration.

[0022] Si N est un nombre entier supérieur ou égal à 2, les deux parois latérales des réacteurs à décharge électrocatalytique sont pourvues respectivement d'au moins deux

orifices de remplissage d'eau, dans lequel les réacteurs à décharge électrocatalytique sont agencés parallèlement et proches les uns des autres, dans lequel les plaques d'électrode d'anode des réacteurs à décharge sont toutes agencées sur le même côté, ce qui permet de former un agencement de réacteurs, dans lequel la liaison de l'agencement de réacteurs et du réservoir de remplissage d'eau est une liaison en série ou une liaison parallèle.

[0023] Si la liaison de l'agencement de réacteurs et du réservoir de remplissage d'eau est une liaison en série, le réservoir de remplissage d'eau d'anode est relié par le tube de remplissage d'eau d'anode à l'orifice de remplissage d'eau d'anode inférieur du premier réacteur à décharge électrocatalytique à une extrémité de l'agencement de réacteurs et le réservoir de remplissage d'eau de cathode est relié par le tube de remplissage d'eau de cathode à l'orifice de remplissage d'eau de cathode inférieur du premier réacteur à décharge électrocatalytique à l'autre extrémité de l'agencement de réacteurs, dans lequel dans l'agencement de réacteurs, les orifices de remplissage d'eau de deux réacteurs à décharge électrocatalytique contigus sont reliés par un tube de remplissage d'eau individuel, dans lequel les parois latérales des réacteurs à décharge électrocatalytique sont pourvues aux deux extrémités de l'agencement de réacteurs respectivement d'un tube de sortie d'eau, dans lequel le tube de sortie d'eau d'anode est relié à l'orifice de remplissage d'eau d'anode sur la paroi latérale opposée au tube de remplissage d'eau de cathode et le tube de sortie d'eau de cathode est relié à l'orifice de remplissage d'eau de cathode sur la paroi latérale opposée au tube de remplissage d'eau d'anode.

[0024] Si la liaison de l'agencement de réacteurs et du réservoir de remplissage d'eau est une liaison parallèle, le tube de remplissage d'eau d'anode et le tube de remplissage d'eau de cathode présentent tous les deux N tubes de dérivation, dans lequel le réservoir de remplissage d'eau d'anode est relié par le tube de remplissage d'eau d'anode à l'orifice de remplissage d'eau d'anode inférieur de chaque réacteur à décharge électrocatalytique dans l'agencement de réacteurs et le réservoir de remplissage d'eau de cathode est relié par le tube de remplissage d'eau de cathode à l'orifice de remplissage d'eau de cathode inférieur de chaque réacteur à décharge électrocatalytique dans l'agencement de réacteurs ; et le tube de sortie d'eau d'anode et le tube de sortie d'eau de cathode présentent tous les deux N tubes de dérivation, dans lequel le tube de sortie d'eau d'anode est relié à l'orifice de remplissage d'eau d'anode supérieur de chaque réacteur à décharge électrocatalytique dans l'agencement de réacteurs et le tube de sortie d'eau de cathode est relié à l'orifice de remplissage d'eau de cathode supérieur de chaque réacteur à décharge électrocatalytique dans l'agencement de réacteurs.

[0025] Dans l'invention, un cadre de fixation est de plus prévu sur le côté extérieur de l'agencement de réacteurs qui sert à la fixation des réacteurs à décharge électroca-

talytique.

[0026] L'invention fournit encore des étapes de production d'hydrogène du système de production d'hydrogène qui contiennent les étapes suivantes : (1) de l'eau est introduite par le réservoir de remplissage d'eau dans les réacteurs à décharge électrocatalytique pour électrolyse ; et (2) le H_2 et l'O_2 sont collectés séparément par le dispositif de séparation de gaz.

[0027] Dans l'invention, la température de l'eau est de préférence comprise entre 5 et 100 °C.

[0028] Dans l'invention, la source de courant de l'électrolyse est une source de courant continu à haute tension et la tension est comprise entre 50 et 10 000 V.

[0029] Sur la base de l'application de la connaissance de base dans ce domaine, les conditions susmentionnées préférées peuvent être combinées arbitrairement afin d'obtenir les exemples de réalisation préférés de l'invention.

[0030] Les avantages de l'invention sont les suivants : le réacteur à décharge électrocatalytique de cette invention qui se base sur le principe de la catalyse électrique à haute tension, est appliqué sur un système de production d'hydrogène qui peut générer à température normale et à pression normale de manière efficace et stable de l'hydrogène et de l'oxygène à pureté élevée, sans ajout de matériaux électrolytes supplémentaires, ce qui convient très bien à la production d'hydrogène à grande échelle et à la production combinée d'hydrogène et d'oxygène. Les coûts de fonctionnement, les coûts d'électricité et les coûts de production d'hydrogène sont faibles. Les coûts d'électricité par mètre cube d'hydrogène de cette invention sont compris seulement à peu près entre 10 et 20 % des coûts d'électricité occasionnés lors de la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau conventionnelle.

Brève description des dessins

[0031] La [Fig.1] est une vue de face du réacteur à décharge électrocatalytique de l'exemple de réalisation de l'invention.

[0032] La [Fig.2] est une vue de dessus du réacteur à décharge électrocatalytique de l'exemple de réalisation de l'invention.

[0033] La [Fig.3] est une représentation en coupe du réacteur à décharge électrocatalytique de l'exemple de réalisation de l'invention.

[0034] La [Fig.4] est une représentation en perspective du système de production d'hydrogène du premier exemple de réalisation de l'invention.

[0035] La [Fig.5] est une vue de dessus du système de production d'hydrogène du premier exemple de réalisation de l'invention.

[0036] La [Fig.6] est une représentation en perspective de l'agencement de réacteurs du premier exemple de réalisation de l'invention.

[0037] La [Fig.7] est une vue de dessus du système de production d'hydrogène du second exemple de réalisation de l'invention.

[0038] La [Fig.8] est une représentation en perspective de l'agencement de réacteurs du second exemple de réalisation de l'invention.

MODES DE RÉALISATION DE L'INVENTION

[0039] La présente invention est décrite en détail par la suite à l'aide des exemples de réalisation, mais n'est pas limitée aux exemples de réalisation décrits.

[0040] Le réacteur à décharge électrocatalytique utilisé dans les exemples de réalisation suivants est représenté sur les figures 1 à 3. Il comporte un boîtier isolant **1**, deux plaques d'électrode **2**, deux membranes d'échange de cations **3**, deux plaques de blindage de catalyseur **4** et un couvercle d'extrémité **5**. Le boîtier isolant **1** forme un espace creux fermé avec un côté supérieur ouvert. Des catalyseurs **6** agencés de manière étroite sont prévus au milieu de l'espace creux fermé. Les plaques de blindage de catalyseur **4**, les membranes d'échange de cations **3** et les plaques d'électrode **2** sont agencées parallèlement les unes à côté des autres entre les catalyseurs **6** et les deux parois latérales de l'espace creux fermé. Les plaques de blindage de catalyseur **4** et les plaques d'électrode **2** présentent respectivement plusieurs trous débouchants. Un canal d'électrolyse est respectivement formé entre les membranes d'échange de cations **3** et les plaques d'électrode **2**. Les deux parois latérales du boîtier isolant sont pourvues en bas respectivement d'un orifice de remplissage d'eau inférieur **7**. Le côté supérieur du boîtier isolant **1** et le couvercle d'extrémité **5** sont reliés de manière étanche par des vis. Les plaques d'électrode **2** traversent le couvercle d'extrémité **5** et sont reliées au circuit. Deux connecteurs pneumatiques **8** sont prévus sur le couvercle d'extrémité **5**, lesquels sont reliés aux deux canaux d'électrolyse. Les plaques d'électrode **2** se composent d'un alliage de titane. Les surfaces des plaques d'électrode **2** sont pourvues d'un revêtement par application ou galvanisation. Le matériau du revêtement est un matériau de métal noble ou un oxyde du matériau de métal noble. Les parois intérieures de l'espace creux fermé sont pourvues de rainures pour la fixation des plaques de blindage de catalyseur **4**, des membranes d'échange de cations **3** et des plaques d'électrode **2**. Chaque plaque d'électrode **2** est pourvue en conséquence d'une pluralité de rainures parallèles et espacées de manière identique. Le matériau des catalyseurs **6** est de l'oxyde de titane et/ou du pentoxyde de vanadium. Les catalyseurs **6** sont sphériques.

[0041] Comme représenté sur la [Fig.1], les deux parois latérales du boîtier isolant **1** sont pourvues en haut respectivement d'un orifice de remplissage d'eau **9** supérieur. Selon l'état réel, l'orifice de remplissage d'eau **9** supérieur peut aussi être prévu seulement sur un côté ou ne pas l'être. Il n'est pas représenté ici sur la figure.

[0042] Exemple de réalisation 1

[0043] Comme représenté sur la [Fig.4] à la [Fig.6], cet exemple de réalisation fournit un

système de production d'hydrogène. Le système de production d'hydrogène comporte un agencement de réacteurs **100** qui est agencé dans une caisse test **101**, un réservoir de remplissage d'eau et un dispositif de séparation de gaz.

[0044] Trois réacteurs à décharge électrocatalytique sont agencés parallèlement et de proches les uns des autres afin de former un agencement de réacteurs **100**. Les deux plaques d'électrode **2** des réacteurs à décharge électrocatalytique sont reliées respectivement par une conduite commune au pôle positif et au pôle négatif de la source de courant externe. Les plaques d'électrode **2** reliées au pôle positif de la source de courant sont des plaques d'électrode d'anode. Les plaques d'électrode **2** reliées au pôle négatif de la source de courant sont des plaques d'électrode de cathode.

[0045] Le réservoir de remplissage d'eau présente une soupape à flotteur **201**. Le réservoir de remplissage d'eau contient un réservoir de remplissage d'eau de cathode **210** et un réservoir de remplissage d'eau d'anode **220**, qui sont agencés indépendamment l'un de l'autre. L'orifice de remplissage d'eau inférieur sur le côté de la plaque d'électrode de cathode est l'orifice de remplissage d'eau de cathode **72** inférieur. Le réservoir de remplissage d'eau de cathode **210** est relié par un tube de remplissage d'eau de cathode **211** à l'orifice de remplissage d'eau de cathode **72** inférieur. L'orifice de remplissage d'eau inférieur sur le côté de la plaque d'électrode d'anode est l'orifice de remplissage d'eau d'anode **71** inférieur. Le réservoir de remplissage d'eau d'anode **220** est relié par un tube de remplissage d'eau d'anode **221** à l'orifice de remplissage d'eau d'anode **71** inférieur.

[0046] Le dispositif de séparation de gaz contient un dispositif de séparation d'hydrogène **310** et un dispositif de séparation d'oxygène **320**. Les connecteurs pneumatiques sur le côté des plaques d'électrode de cathode sont les connecteurs de cathode pneumatiques **82**. Le dispositif de séparation d'hydrogène **310** est relié par une conduite de gaz aux connecteurs de cathode pneumatiques **82**. Les connecteurs pneumatiques sur le côté des plaques d'électrode d'anode sont les connecteurs d'anode pneumatiques **81**. Le dispositif de séparation d'oxygène **320** est relié par une conduite de gaz aux connecteurs d'anode pneumatiques **81**.

[0047] Les parois latérales des réacteurs à décharge électrocatalytique sur les deux extrémités de l'agencement de réacteurs **100** sont pourvues d'un tube de sortie d'eau. Le tube de sortie d'eau contient un tube de sortie d'eau de cathode **410** et un tube de sortie d'eau d'anode **420**. Un capteur de température **430** et une vanne sphérique **440** électrique pour l'écoulement d'eau sont agencés au niveau du tube de sortie d'eau. Le capteur de température **430** est électriquement relié à la vanne sphérique **440** électrique pour l'écoulement d'eau.

[0048] La liaison de l'agencement de réacteurs **100** et du réservoir de remplissage d'eau est une liaison en série. Le réservoir de remplissage d'eau d'anode **220** est relié par le tube

de remplissage d'eau d'anode **221** à l'orifice de remplissage d'eau d'anode **71** inférieur du premier réacteur à décharge électrocatalytique à une extrémité de l'agencement de réacteurs **100**. Le réservoir de remplissage d'eau de cathode **210** est relié par le tube de remplissage d'eau de cathode **211** à l'orifice de remplissage d'eau de cathode **72** inférieur du premier réacteur à décharge électrocatalytique à l'autre extrémité de l'agencement de réacteurs **100**. Dans l'agencement de réacteurs **100**, les orifices de remplissage d'eau d'anode et de cathode **71**, **72** inférieurs ou les orifices de remplissage d'eau de d'anode et de cathode **91**, **92** supérieurs de deux réacteurs à décharge électrocatalytique contigus sont reliés par un tube de remplissage d'eau individuel. Un cadre de fixation **102** est de plus prévu sur le côté extérieur de l'agencement de réacteurs **100** .

[0049] Si le système de production d'hydrogène de cet exemple de réalisation est en usage, l'eau d'anode est introduite par l'orifice de remplissage d'eau d'anode **71** inférieur du premier réacteur à décharge électrocatalytique à une extrémité de l'agencement de réacteurs **100** dans ce réacteur à décharge électrocatalytique. Elle s'écoule alors dans les autres réacteurs à décharge électrocatalytique, les uns après les autres, à travers les tubes de remplissage d'eau entre les réacteurs à décharge électrocatalytique afin de réaliser la réaction d'électrolyse. L'eau de cathode est introduite par l'orifice de remplissage d'eau de cathode **72** inférieur du premier réacteur à décharge électrocatalytique à l'autre extrémité de l'agencement de réacteurs **100** dans ce réacteur à décharge électrocatalytique. Elle s'écoule alors dans les autres réacteurs à décharge électrocatalytique, les uns après les autres, à travers les tubes de remplissage d'eau entre les réacteurs à décharge électrocatalytique afin de réaliser la réaction d'électrolyse. L'eau d'anode et l'eau de cathode sont séparées l'une de l'autre par les catalyseurs **6** agencés de manière étroite. L'eau d'anode et l'eau de cathode sont évacuées par des tubes de sortie d'eau correspondants et s'écoulent alors dans le réservoir de remplissage d'eau d'anode et de cathode **220** et **210** afin de réaliser la réutilisation de l'eau primaire.

[0050] Les étapes de production d'hydrogène de l'exemple de réalisation 1 sont les suivantes : (1) de l'eau est introduite par le réservoir de remplissage d'eau dans les réacteurs à décharge électrocatalytiques pour électrolyse ; (2) le H_2 et l'O_2 sont collectés séparément par le dispositif de séparation de gaz. La température de l'eau s'élève à 5 °C. La source de courant de l'électrolyse est une source de courant continu à haute tension et la tension s'élève à 50 V.

[0051] Exemple de réalisation 2

[0052] La différence entre cet exemple de réalisation et l'exemple de réalisation 1 consiste en ce que la liaison de l'agencement de réacteurs **100** et du réservoir de remplissage d'eau est une liaison parallèle. Les autres sont les mêmes que ceux de l'exemple de réa-

lisation 1.

[0053] Comme représenté sur la [Fig.7] à la [Fig.8], le système de production d'hydrogène comporte un agencement de réacteurs **100**, une caisse test **101**, un cadre de fixation **102**, une soupape à flotteur **201**, un réservoir de remplissage d'eau de cathode **210**, un réservoir de remplissage d'eau d'anode **220**, un tube de remplissage d'eau de cathode **211**, un tube de remplissage d'eau d'anode **221**, un dispositif de séparation d'hydrogène **310**, un dispositif de séparation d'oxygène **320**, un tube de sortie d'eau de cathode **410**, un tube de sortie d'eau d'anode **420**, un capteur de température **430** et une vanne sphérique **440** électrique pour l'écoulement d'eau.

[0054] Le tube de remplissage d'eau d'anode **221** et le tube de remplissage d'eau de cathode **211** présentent tous les deux trois tubes de dérivation. Le réservoir de remplissage d'eau d'anode **220** est relié par le tube de remplissage d'eau d'anode **221** à l'orifice de remplissage d'eau d'anode **71** inférieur de chaque réacteur à décharge électrocatalytique dans l'agencement de réacteurs **100**. Le réservoir de remplissage d'eau de cathode **210** est relié par le tube de remplissage d'eau de cathode **211** à l'orifice de remplissage d'eau de cathode **72** de chaque réacteur à décharge électrocatalytique dans l'agencement de réacteurs **100**.

[0055] Si le système de production d'hydrogène de cet exemple de réalisation est en usage, l'eau d'anode est introduite à travers l'orifice de remplissage d'eau d'anode **71** inférieur de chaque réacteur à décharge électrocatalytique dans le réacteur à décharge électrocatalytique correspondant afin de réaliser la réaction d'électrolyse. L'eau de cathode est introduite à travers l'orifice de remplissage d'eau de cathode **72** inférieur de chaque réacteur à décharge électrocatalytique dans le réacteur à décharge électrocatalytique correspondant afin de réaliser la réaction d'électrolyse. L'eau d'anode et l'eau de cathode sont séparées l'une de l'autre par les catalyseurs **6** agencés de manière étroite. L'eau d'anode et l'eau de cathode sont évacuées par des tubes de sortie d'eau correspondants et s'écoulent alors dans le réservoir de remplissage d'eau d'anode et de cathode **220** et **210** afin de réaliser la réutilisation de l'eau primaire.

[0056] Les étapes de production d'hydrogène de l'exemple d'application 2 sont les suivantes : (1) de l'eau est introduite par le réservoir de remplissage d'eau dans les réacteurs à décharge électrocatalytique pour électrolyse ; (2) le H_2 et l'O_2 sont collectés séparément par le dispositif de séparation de gaz. La température de l'eau s'élève à 100 °C. La source de courant de l'électrolyse est une source de courant continu à haute tension et la tension s'élève à 10 000 V.

[0057] Variante de l'exemple de réalisation 1

[0058] Le système de production d'hydrogène dans cet exemple de réalisation est le même que celui de l'exemple de réalisation 1. La différence consiste en ce que la sortie de courant de l'installation, c'est-à-dire l'entrée de l'électrode possède la tension de

220 VCA. Dans la pratique, un courant de 16 A est mesuré à l'entrée de l'électrode. La tension à la sortie de l'électrode est convertie par le transformateur et le redresseur à 1 000 VCC. Le courant de mesure pendant le travail s'élève à environ 15,6 A et la tension de mesure s'élève à 300 VCC. 12 réacteurs à décharge électrocatalytiques sont agencés parallèlement et proches les uns des autres. La distance entre les deux plaques d'électrode dans le réacteur à décharge électrocatalytique s'élève à 36 mm. La longueur entière des plaques d'électrode d'anode et la longueur entière des plaques d'électrode de cathode sont respectivement de 12 mètres, c'est-à-dire qu'il y a dans l'ensemble 24 plaques d'électrode avec une longueur de 0,5 m et une largeur de 26 mm. Aucun autre électrolyte n'est ajouté à l'eau.

[0059] La consommation d'énergie des étapes de production d'hydrogène de l'exemple de réalisation s'élève à 3,52 kW/h. 1,85 m^3/h d'oxygène sont générés à l'anode et 3,7 m^3/h d'hydrogène sont générés à la cathode. La consommation de courant moyenne de la génération par mètre cube d'hydrogène s'élève à environ 0,95 kW/h.

[0060] Il est connu de l'homme de l'art que l'énergie entière ΔH nécessaire au processus de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau s'élève à 285,8 kJ/mol sous l'état normé de 298,15 K et 101,325 kPa. L'énergie de Gibbs libre, c'est-à-dire l'énergie électrique $\triangle G$ nécessaire à l'électrolyse de l'eau, s'élève à 237,2 kJ/mol. La tension de décomposition théorique de 1,23 V pour la décomposition de l'eau en hydrogène et oxygène peut ainsi être calculée. La consommation de courant minimum moyenne correspondante de la génération par mètre cube s'élève à 2,95 k/Wh.

[0061] Dans l'état de la technique, la production industrielle d'hydrogène à grande échelle par électrolyse de l'eau utilise en principe la technologie de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau avec des cellules d'électrolyse alcalines. Cette étape consomme beaucoup de courant. La consommation de courant moyenne par mètre cube d'hydrogène se situe entre environ 4,5 et 5,5 kW/h. Les coûts d'électricité s'élèvent à environ 80 % des coûts de production entiers de la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau. Pour d'autres technologies de production d'hydrogène telles que la technologie de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau SPE (technologie de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau à électrolyte polymère solide), la tension d'électrolyse réelle est en général de 1,5 à 1,6 V et la consommation de courant moyenne correspondante par mètre cube d'hydrogène est comprise entre environ 3,6 et 3,8 kW/h.

[0062] Il ressort de la comparaison des actions techniques susmentionnées que le réacteur à décharge électrocatalytique de cette invention qui se base sur le principe de la catalyse électrique à haute tension, est appliquée sur un système de production d'hydrogène qui présente à température normale et à pression normale de faibles coûts de fonctionnement, coûts d'électricité et coûts de production d'hydrogène. Les coûts

d'électricité par mètre cube d'hydrogène de cette invention sont compris seulement à peu près entre 10 et 20 % des coûts d'électricité occasionnés lors de la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau conventionnelle.

[0063] Pour résumer, l'invention convient à la production d'hydrogène à grande échelle et à la production combinée d'hydrogène et d'oxygène. Les coûts de fonctionnement, les coûts d'électricité et les coûts de production d'hydrogène sont faibles.

[0064] Il est à noter que les termes "en haut", "en bas", "à l'avant", "à l'arrière", "à gauche", "à droite", "perpendiculairement", "transversalement", "plafond", "sol" "à l'intérieur" et "à l'extérieur" utilisés dans la présente description se rapportent aux sens ou rapports de position dans les dessins qui servent seulement à l'illustration et à la simplification de la description de la présente invention, au lieu d'indiquer le sens, l'orientation et le fonctionnement du dispositif correspondant ou de l'élément correspondant. C'est pourquoi ils ne devraient pas limiter l'invention.

Revendications

[Revendication 1] Réacteur à décharge électrocatalytique qui comporte un boîtier isolant (1), deux plaques d'électrode (2), deux membranes d'échange de cations (3), deux plaques de blindage de catalyseur (4), un couvercle d'extrémité (5) et une source de courant externe ;
le boîtier isolant formant un espace creux fermé avec un côté supérieur ouvert, dans lequel les plaques de blindage de catalyseur, les membranes d'échange de cations et les plaques d'électrode sont agencées de manière symétrique entre le centre et deux parois latérales de l'espace creux fermé, dans lequel des catalyseurs (6) sont prévus entre les deux plaques de blindage de catalyseur, dans lequel les plaques de blindage de catalyseur et les plaques d'électrode présentent respectivement plusieurs trous débouchants, dans lequel respectivement un canal d'électrolyse est formé entre les membranes d'échange de cations et les plaques d'électrode, dans lequel les deux parois latérales du boîtier isolant sont pourvues respectivement d'au moins un orifice de remplissage d'eau, dans lequel le côté supérieur du boîtier isolant et le couvercle d'extrémité sont reliés de manière étanche, et dans lequel deux connecteurs pneumatiques (8) sont prévus sur le couvercle d'extrémité, lesquels sont reliés aux deux canaux d'électrolyse ; et
les plaques d'électrode traversant le couvercle d'extrémité et étant reliées à la source de courant externe, dans lequel la plaque d'électrode reliée au pôle positif de la source de courant est la plaque d'électrode d'anode et la plaque d'électrode reliée au pôle négatif de la source de courant est la plaque d'électrode de cathode.

[Revendication 2] Réacteur à décharge électrocatalytique selon la revendication 1, caractérisé en ce que le matériau du boîtier isolant est du PPO, FRP ou PTFE ;
et/ou les plaques d'électrode se composent d'un alliage de titane, dans lequel les surfaces des plaques d'électrode sont de préférence pourvues par application ou galvanisation d'un revêtement, dans lequel le matériau du revêtement est un matériau de métal noble ou un oxyde du matériau de métal noble, et dans lequel le matériau de métal noble est de préférence du ruthénium, de l'iridium, du tantale, du platine ou du palladium ;
et/ou la membrane d'échange de cations est une membrane d'échange de cations homogène, une membrane d'échange de cations semi-homogène

ou une membrane d'échange de cations hétérogène, de préférence une membrane d'échange de cations homogène à base de polymère ;
et/ou les parois intérieures de l'espace creux fermé sont pourvues de rainures pour la fixation des plaques de blindage de catalyseur, des membranes d'échange de cations et des plaques d'électrode, dans lequel les parois intérieures de l'espace creux fermé sont de préférence pourvues selon les plaques d'électrode d'une pluralité de rainures parallèles et espacées de manière identique.

[Revendication 3] Réacteur à décharge électrocatalytique selon la revendication 1, caractérisé en ce que le matériau des catalyseurs est de l'oxyde de titane et/ou du pentoxyde de vanadium ;
et/ou les catalyseurs sont de forme sphérique, cubique ou elliptique ;
et/ou les catalyseurs sont agencés de manière étroite entre les deux plaques de blindage de catalyseur.

[Revendication 4] Système de production d'hydrogène qui comporte N réacteurs à décharge électrocatalytique selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, au moins un réservoir de remplissage d'eau (210, 220) et un dispositif de séparation de gaz (310, 320) pour la collecte séparée d'hydrogène et d'oxygène, dans lequel N est un nombre entier de 1 à 200, dans lequel les parois latérales des réacteurs à décharge électrocatalytique sont pourvues d'un tube de sortie d'eau (410, 420), dans lequel le réservoir de remplissage d'eau est relié par des tubes de remplissage d'eau (211, 221) aux orifices de remplissage d'eau (71, 72) des réacteurs à décharge électrocatalytique, et dans lequel le dispositif de séparation de gaz est relié par des conduites de gaz à des connecteurs pneumatiques (81, 82) des réacteurs à décharge électrocatalytique.

[Revendication 5] Système de production d'hydrogène selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'un capteur de température (430) et une vanne sphérique (440) électrique pour l'écoulement d'eau sont agencés au niveau du tube de sortie d'eau, dans lequel le capteur de température est électriquement relié à la vanne sphérique électrique pour l'écoulement d'eau ;
et/ou le réservoir de remplissage d'eau présente une soupape d'entrée d'eau qui est de préférence une soupape à flotteur (201) ;
et/ou le réservoir de remplissage d'eau contient un réservoir de remplissage d'eau de cathode (210) et un réservoir de remplissage d'eau d'anode (220) qui sont agencés indépendamment l'un de l'autre, dans lequel l'orifice de remplissage d'eau sur le côté de la plaque d'électrode de cathode est l'orifice de remplissage d'eau de cathode (72) et le

réservoir de remplissage d'eau de cathode est relié par un tube de remplissage d'eau de cathode (211) à l'orifice de remplissage d'eau de cathode, dans lequel l'orifice de remplissage d'eau sur le côté de la plaque d'électrode d'anode est l'orifice de remplissage d'eau d'anode (71) et le réservoir de remplissage d'eau d'anode est relié par un tube de remplissage d'eau d'anode (221) à l'orifice de remplissage d'eau d'anode ;
et/ou le tube de sortie d'eau contient un tube de sortie d'eau de cathode (410) et un tube de sortie d'eau d'anode (420), dans lequel le tube de sortie d'eau de cathode est relié au réservoir de remplissage d'eau de cathode et le tube de sortie d'eau d'anode est relié au réservoir de remplissage d'eau d'anode ;
et/ou le dispositif de séparation de gaz contient un dispositif de séparation d'hydrogène (310) et un dispositif de séparation d'oxygène (320), dans lequel les connecteurs pneumatiques sur le côté des plaques d'électrode de cathode sont les connecteurs de cathode pneumatiques (82), dans lequel le dispositif de séparation d'hydrogène est relié par une conduite de gaz aux connecteurs de cathode pneumatiques, et dans lequel les connecteurs pneumatiques sur le côté des plaques d'électrode d'anode sont les connecteurs d'anode pneumatiques (81) et le dispositif de séparation d'oxygène est relié par une conduite de gaz aux connecteurs d'anode pneumatiques ;
et/ou le dispositif de séparation de gaz est un tamis moléculaire, des fibres creuses ou une membrane à ultrafiltration.

[Revendication 6] Système de production d'hydrogène selon la revendication 4, caractérisé en ce que si N est un nombre entier supérieur ou égal à 2, les deux parois latérales des réacteurs à décharge électrocatalytique sont pourvues respectivement d'au moins deux orifices de remplissage d'eau, dans lequel les réacteurs à décharge électrocatalytique sont agencés parallèlement et proches les uns des autres, dans lequel les plaques d'électrode d'anode des réacteurs à décharge sont toutes agencées sur le même côté, ce qui permet de former un agencement de réacteurs, dans lequel la liaison de l'agencement de réacteurs et du réservoir de remplissage d'eau est une liaison en série ou une liaison parallèle ;
et/ou un cadre de fixation est de plus prévu sur le côté extérieur de l'agencement de réacteurs.

[Revendication 7] Système de production d'hydrogène selon la revendication 6, caractérisé en ce que si la liaison de l'agencement de réacteurs et du réservoir de remplissage d'eau est une liaison en série, le réservoir de remplissage

d'eau d'anode est relié par le tube de remplissage d'eau d'anode à un orifice de remplissage d'eau d'anode inférieur (71) du premier réacteur à décharge électrocatalytique à une extrémité de l'agencement de réacteurs et le réservoir de remplissage d'eau de cathode est relié par le tube de remplissage d'eau de cathode à un orifice de remplissage d'eau de cathode inférieur (72) du premier réacteur à décharge électrocatalytique à l'autre extrémité de l'agencement de réacteurs, dans lequel dans l'agencement de réacteurs, les orifices de remplissage d'eau de deux réacteurs à décharge électrocatalytique contigus sont reliés par un tube de remplissage d'eau individuel, dans lequel les parois latérales des réacteurs à décharge électrocatalytique sont pourvues aux deux extrémités de l'agencement de réacteurs respectivement d'un tube de sortie d'eau, dans lequel le tube de sortie d'eau d'anode est relié à l'orifice de remplissage d'eau d'anode sur la paroi latérale opposée au tube de remplissage d'eau de cathode et le tube de sortie d'eau de cathode est relié à l'orifice de remplissage d'eau de cathode sur la paroi latérale opposée au tube de remplissage d'eau d'anode.

[Revendication 8] Système de production d'hydrogène selon la revendication 6, caractérisé en ce que si la liaison de l'agencement de réacteurs et du réservoir de remplissage d'eau est une liaison parallèle, le tube de remplissage d'eau d'anode et le tube de remplissage d'eau de cathode présentent tous les deux N tubes de dérivation, dans lequel le réservoir de remplissage d'eau d'anode est relié par le tube de remplissage d'eau d'anode à l'orifice de remplissage d'eau d'anode inférieur de chaque réacteur à décharge électrocatalytique dans l'agencement de réacteurs et le réservoir de remplissage d'eau de cathode est relié par le tube de remplissage d'eau de cathode à l'orifice de remplissage d'eau de cathode inférieur de chaque réacteur à décharge électrocatalytique dans l'agencement de réacteurs, et en ce que le tube de sortie d'eau d'anode et le tube de sortie d'eau de cathode présentent tous les deux N tubes de dérivation, dans lequel le tube de sortie d'eau d'anode est relié à un orifice de remplissage d'eau d'anode supérieur (91) de chaque réacteur à décharge électrocatalytique dans l'agencement de réacteurs et le tube de sortie d'eau de cathode est relié à un orifice de remplissage d'eau de cathode supérieur (92) de chaque réacteur à décharge électrocatalytique dans l'agencement de réacteurs.

[Revendication 9] Méthode de production d'hydrogène du système de production d'hydrogène selon l'une quelconque des revendications 4 à 8,

comportant les étapes suivantes :
(1) de l'eau est introduite par le réservoir de remplissage d'eau dans les réacteurs à décharge électrocatalytiques pour électrolyse ; et (2) le H_2 et l'O_2 sont collectés séparément par le dispositif de séparation de gaz.

[Revendication 10] Méthode selon la revendication 9, caractérisée en ce que la température de l'eau est comprise entre 5 et 100 °C ;
et/ou la source de courant de l'électrolyse est une source de courant continu à haute tension et la tension est comprise entre 50 et 10 000 V.

[Fig. 1]

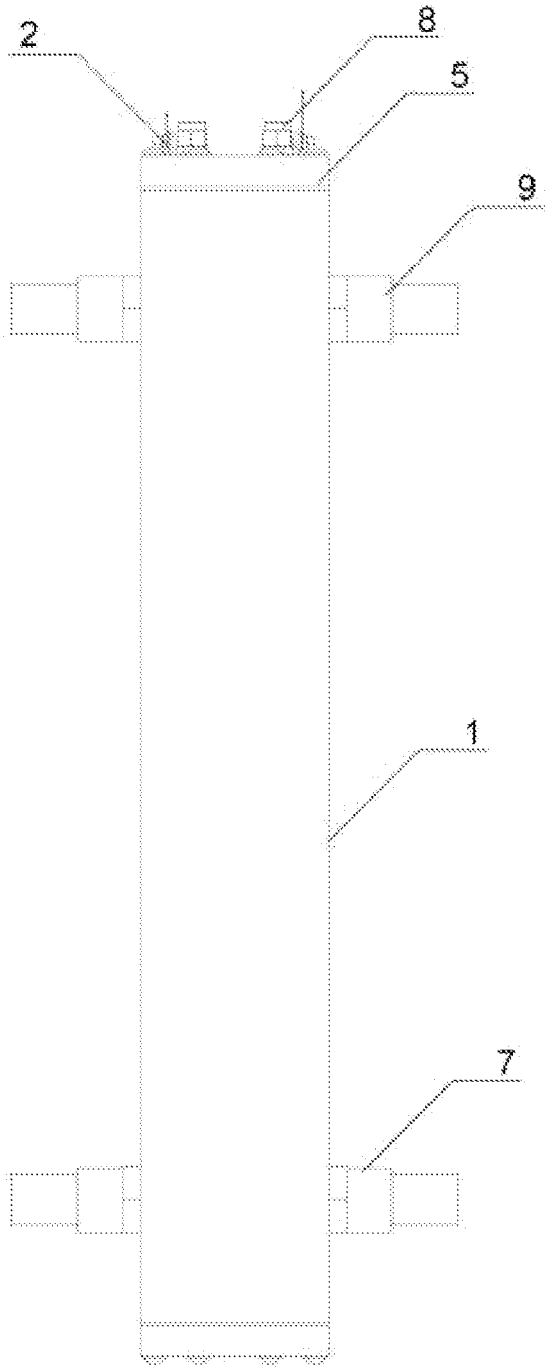


Fig. 1

[Fig. 2]

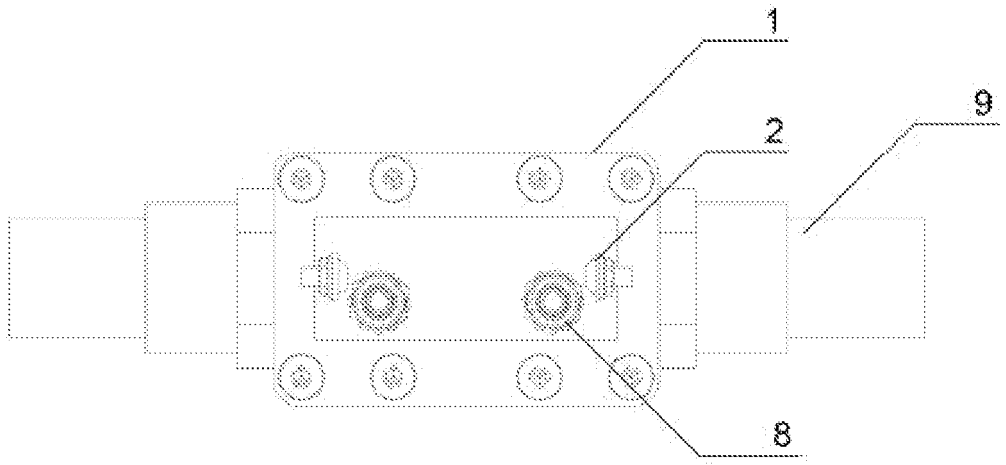


Fig. 2

[Fig. 3]

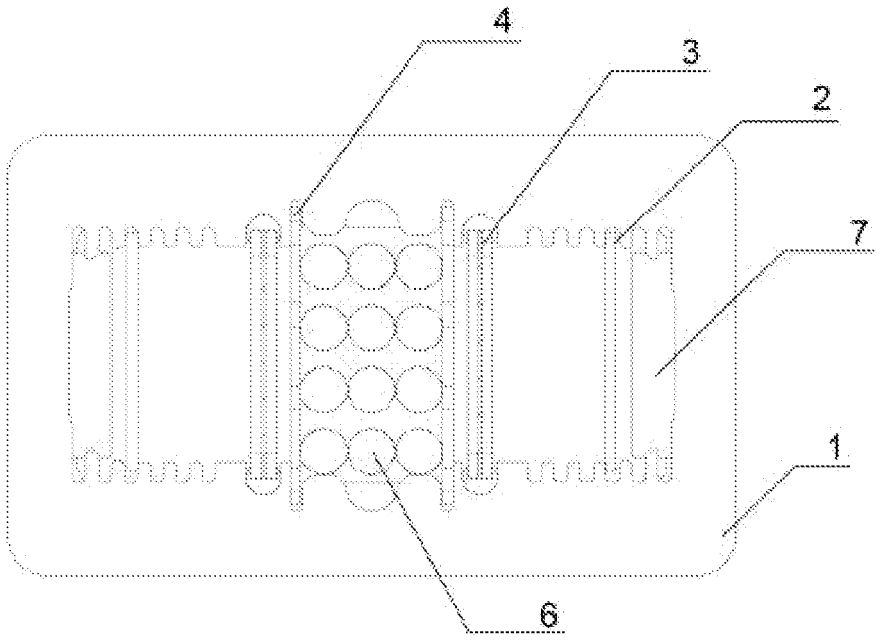


Fig. 3

[Fig. 4]

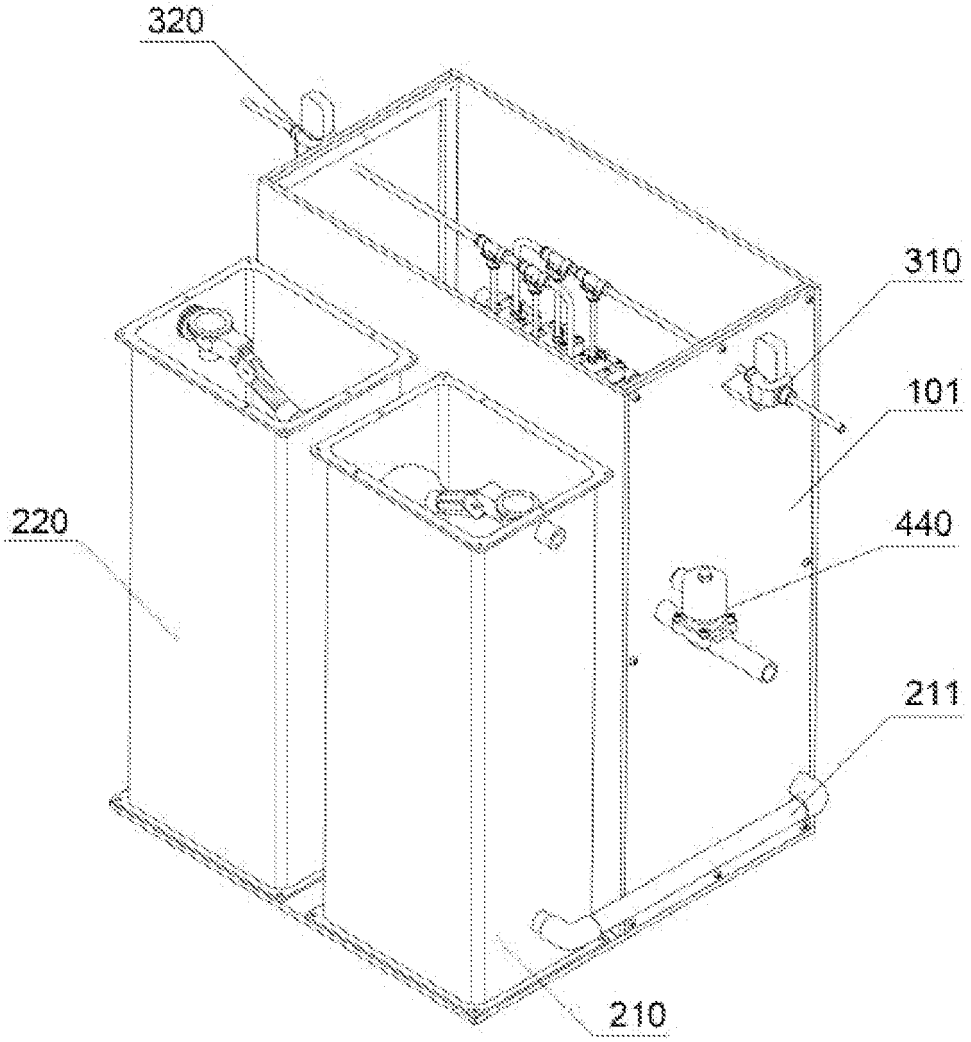


Fig. 4

[Fig. 5]

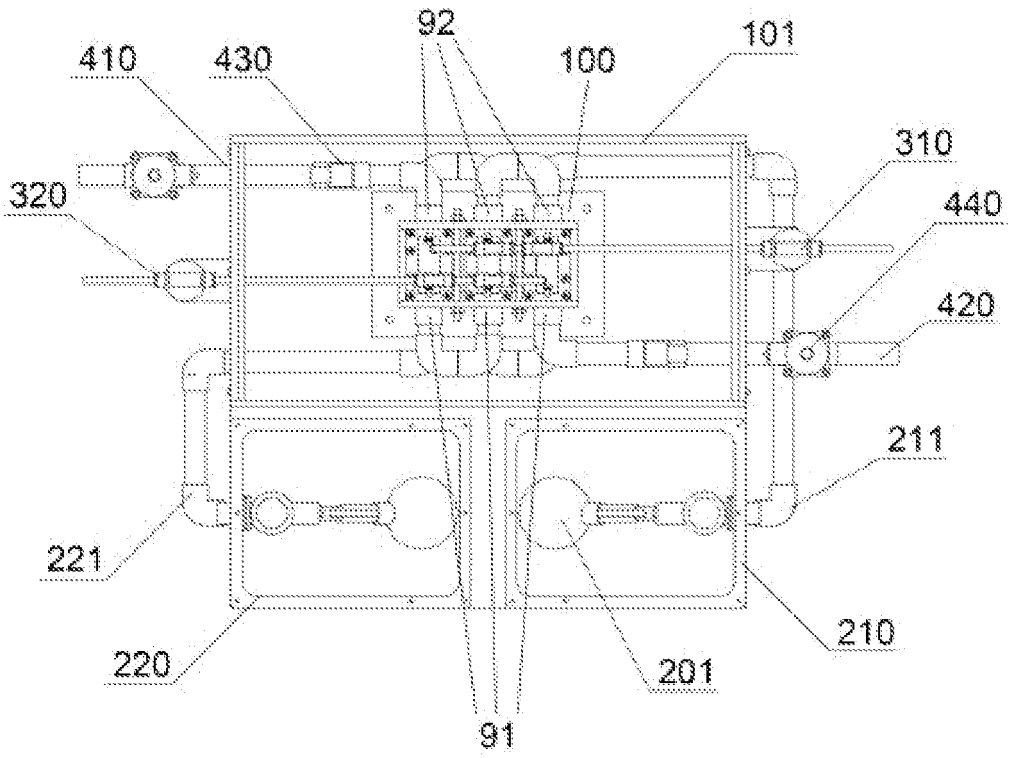


Fig. 5

[Fig. 6]

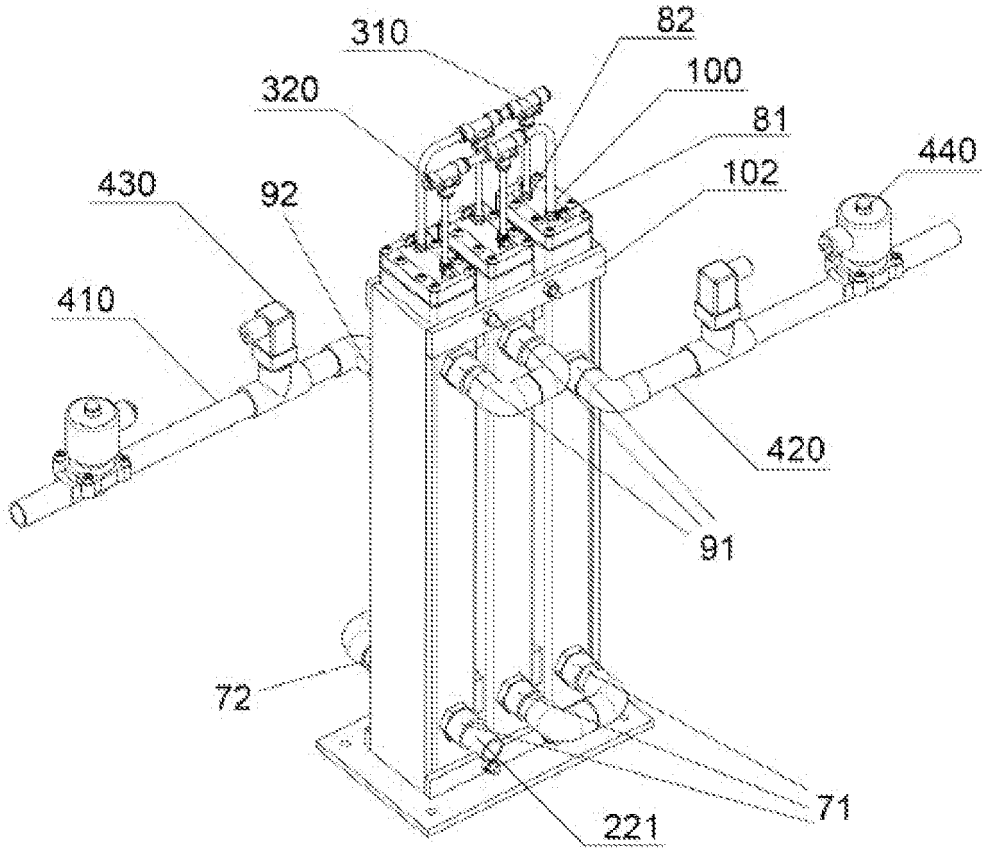


Fig. 6

[Fig. 7]

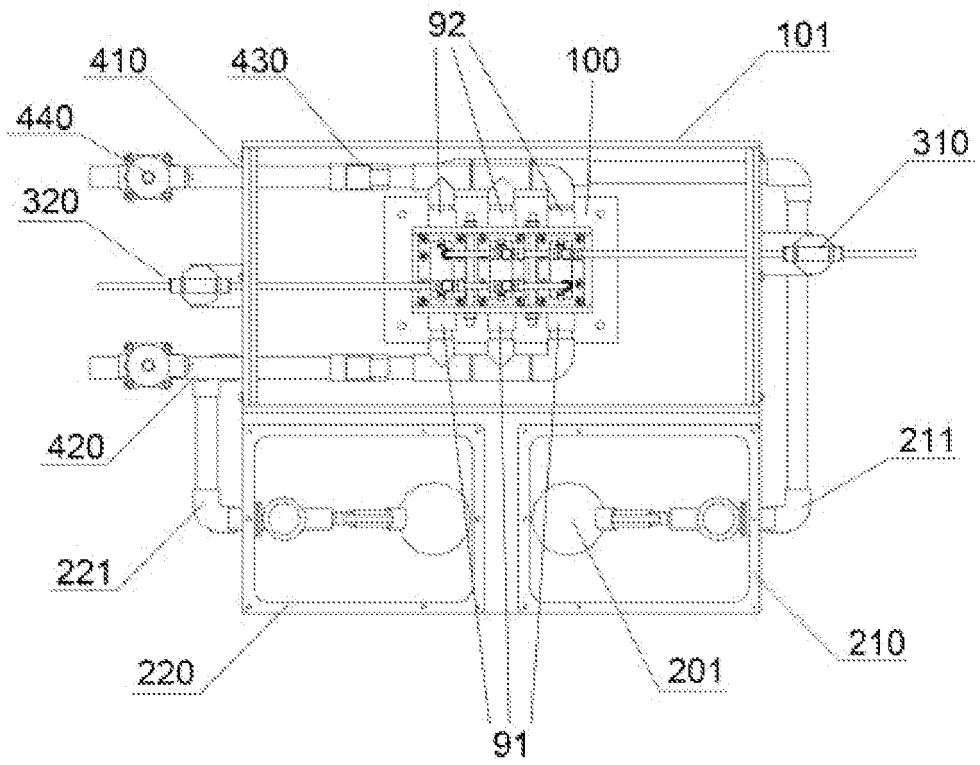


Fig. 7

[Fig. 8]

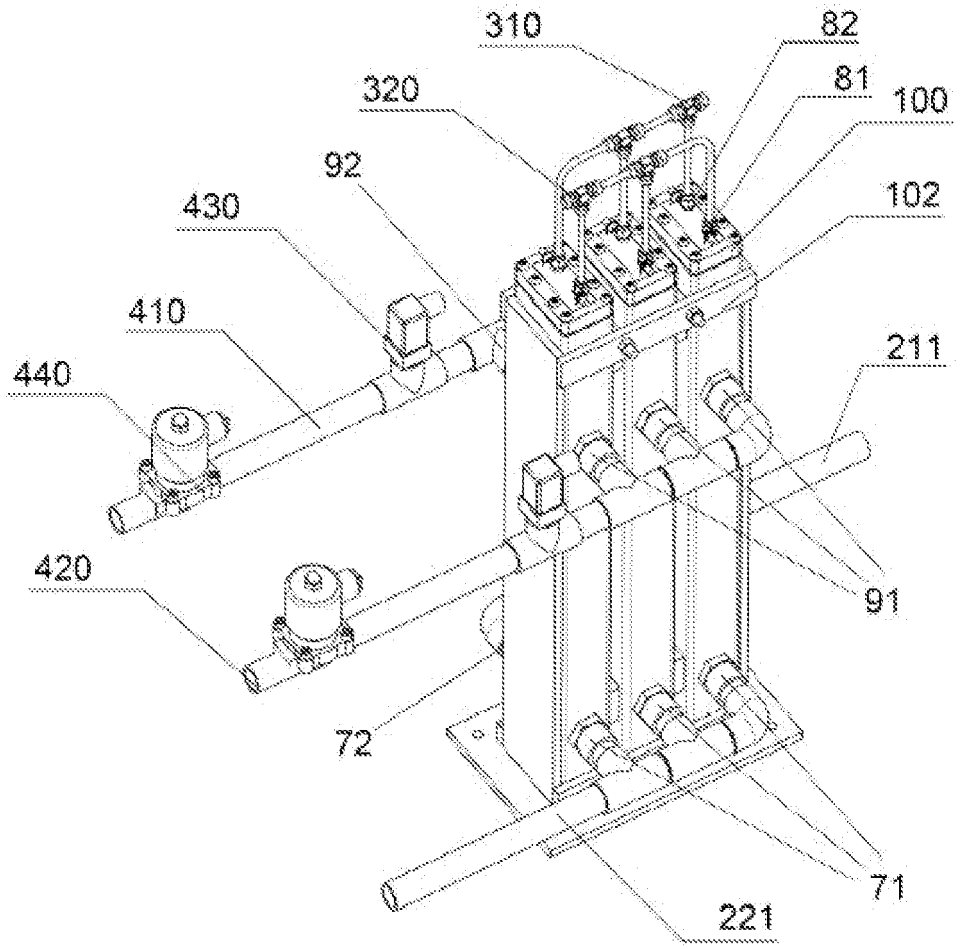


Fig. 8