

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2013 年 10 月 10 日 (10.10.2013)



(10) 国际公布号
WO 2013/149442 A1

- (51) 国际专利分类号:
C12M 1/14 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2012/078265
- (22) 国际申请日: 2012 年 7 月 6 日 (06.07.2012)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201210097707.X 2012 年 4 月 5 日 (05.04.2012) CN
- (71) 申请人 (对除美国外的所有指定国): **华东理工大学 (EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY)** [CN/CN]; 中国上海市梅陇路 130 号, Shanghai 200237 (CN)。 **上海泽元海洋生物技术有限公司 (SHANGHAI ZEYUAN MARINE BIOTECHNOLOGY CO., LTD.)** [CN/CN]; 中国上海市嘉川路 245 号, Shanghai 200237 (CN)。 **嘉兴泽元生物制品有限责任公司 (JIAXING ZEYUAN BIO-PRODUCTS CO., LTD.)** [CN/CN]; 中国浙江省嘉兴市南湖区亚太路 778 号中科院二期 8 号楼, Zhejiang 314006 (CN)。
- (72) 发明人: 及
- (75) 发明人/申请人 (仅对美国): **李元广 (LI, Yuan-guang)** [CN/CN]; 中国上海市梅陇路 130 号, Shanghai 200237 (CN)。 **黄建科 (HUANG, Jianke)** [CN/CN]; 中国上海市梅陇路 130 号, Shanghai 200237 (CN)。 **康少锋 (KANG, Shaofeng)** [CN/CN]; 中国上海市梅陇路 130 号, Shanghai 200237 (CN)。 **沈国敏 (SHEN, Guomin)** [CN/CN]; 中国上海市梅陇路 130 号, Shanghai 200237 (CN)。 **王军 (WANG, Jun)** [CN/CN]; 中国浙江省嘉兴市南湖区亚太路 778 号

中科院二期 8 号楼, Zhejiang 314006 (CN)。 **孙炳耀 (SUN, Bingyao)** [CN/CN]; 中国浙江省嘉兴市南湖区亚太路 778 号中科院二期 8 号楼, Zhejiang 314006 (CN)。 **严逸 (YAN, Yi)** [CN/CN]; 中国上海市梅陇路 130 号, Shanghai 200237 (CN)。

(74) 代理人: **上海专利商标事务所有限公司 (SHANGHAI PATENT & TRADEMARK LAW OFFICE, LLC)**; 中国上海市桂平路 435 号, Shanghai 200233 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第 21 条(3))。

(54) Title: NOVEL INTERNAL COMPONENT AND PHOTOBIOREACTOR BASED ON ENHANCED MIXING ALONG LIGHT DIRECTION

(54) 发明名称: 一种基于强化光照方向混合的新型内部构件及光生物反应器

(57) Abstract: The present invention provides a novel photobioreactor and an internal component thereof. The photobioreactor comprises a transparent housing and multiple regularly arranged transparent baffle plates. The baffle plates are axially placed in the housing and tilt horizontally. A trapezoidal partial space is formed between the baffle plates. The photobioreactor enables fluid in a central area (dark area) of the reactor and fluid in a surface area (light area) of the reactor to rapidly and periodically circulate, thereby enhancing mixing of fluid along a radial direction (light direction) of the reactor.

(57) 摘要: 本发明提供了一种新型光生物反应器及其内部构件, 所述光生物反应器包括透明的壳体以及多块规则排列的透明隔板, 所述隔板在壳体内部轴向安置, 并呈水平倾斜, 各隔板之间形成梯形的局部空间。所述光生物反应器可使反应器中心区域 (光暗区) 的流体和反应器表面区域 (光照区) 的流体之间产生快速的周期性循环流动, 强化了流体在反应器径向 (光照方向) 的混合。



WO 2013/149442 A1

一种基于强化光照方向混合的新型内部构件及光生物反应器

5 技术领域

本发明属于微藻生物技术领域，涉及一种新颖的光生物反应器及其内部混合构件，可实现微藻高密度及高产率培养。此外，本发明也可用于其它需要光照进行的培养或化学反应领域（如光合细菌培养、植物细胞培养、光催化反应等）。

10

背景技术

微藻富含蛋白质、多糖、多不饱和脂肪酸和类胡萝卜素等多种高附加值物质，同时微藻具有吸收 N/P 元素及在培养过程中积累油脂的能力，因此，微藻在生物能源、生物固碳、环保、食品、饲料和医药等诸多方面具有广泛应用。

15 特别是近年来在生物能源方面，微藻被认为是目前最具应用前景的生物柴油等生物燃料制备的原料。

光生物反应器是微藻光自养培养的核心装置。光生物反应器性能优劣直接影响微藻培养的细胞密度及产率。目前，用于微藻培养的光生物反应器有敞开式和封闭式两种。敞开式光生物反应器主要指敞开式跑道池和圆池，它们是当前微藻户外规模化培养中应用最广的反应器类型。敞开式光生物反应器虽然存在着建造容易、操作方便及运行成本低等优点，但也存在许多缺点，如藻细胞密度及产率低、培养条件不易控制、容易受原生动物等污染。另一种光生物反应器类型为封闭式光生反应器，与敞开式光生物反应器相比，它具有培养密度高、细胞产率高、培养条件易于控制及不易受原生动物污染等优点。因此，封闭式光生物反应器在微藻高密度培养、微藻生产高附加值物质及实验研究方面具有广泛应用。尤其是，近年来能源微藻的规模化培养需要大量藻种，而传统大池逐级扩培方式存在着周期长、易于受污染（可导致扩培失败）等问题，因而，采用封闭式光生物反应器作为能源微藻（不可异养培养或异养培养速率极慢的藻种）的种子扩培装置，可大幅度降低能源微藻种子扩培失败的风险，同

时缩短种子扩培周期，提高能源微藻培养效率。

目前，封闭式光生物反应器主要有柱式、管式及平板式三种类型。管式光生物反应器具有较大的比表面积，一般能获得较高的藻细胞密度和产率。但是，管道式反应器存在着混合能力差、溶氧积累严重、内壁清洗及维护困难。柱式光生物反应器相比管式光生物反应器，具有混合均匀，氧解析容易等优点，但放大是其主要问题，无论是在纵向还是径向方向放大都比较困难；平板光生物反应器具有光照比表面积大、光程短、氧解析容易、相对易于放大等优点。此外，平板光生物反应可以根据太阳光角度，调整平板反应器的放置角度，使得反应器充分接受光照。因此，平板式光生物反应器是目前国内外各科研单位及公司重点研发的一类光生物反应器。

近年来，国内外关于平板光生物反应器的文献及发明专利主要有：

1) Degen 等报道了一种内置错层水平放置隔板的气升式平板光生物反应器（体积 1.5L，宽度 1.5cm），其流体下降通道位于反应器宽度方向的一侧，上升通道被 5 块水平挡板分成相通的 6 个部分。这 5 块挡板交替地固定在反应器的前后面板上，流体上升时会在两个隔板区间形成漩涡，使得藻细胞在光区和暗区之间周期性循环。（Degen J, Uebele A, Retze A, et al. A novel airlift photobioreactor with baffles for improved light utilization through the flashing light effect. Journal of Biotechnology, 2001, 92(2):89-94）。

2) Tredici 等设计了一种具有外部支撑的由透明软性材质制成的类似塑料袋形式的平板式光生物反应器，其称之为 Green Wall Panel。这种设计使得光生物反应器的制造成本大幅度降低，适合应用于微藻低成本培养（WO2004/074423 A2）。

3) 美国的 Solix 公司开发了一种置于水中的板式光生物反应器，其主体为薄膜袋，置于水中，外部的水不仅可以支撑袋式反应器，还起到良好的控温和光强分布的作用（US2008/0160591 A1）。

4) 李元广等发明了一种新的多节平板式光生物反应器，其反应器内具有多个中空导流挡板腔体，腔体内部可置人工光源，各导流挡板腔体之间有间隔。该反应器由于强化藻细胞随流体在光照方向的混合，因而能显著提高光利用效率，同时避免了内光源灯管和培养液直接接触（CN1880442）。

5) Hu 等发明了一种在长度方向可扩展的平板光生物反应器。此反应器由

多个普通平板式反应器单元组成，各单元之间通过塑料或者金属链接构件衔接。反应器可以根据需要制作成不同宽度（光程），可以按线性或者弯曲形式排列，同时可以根据阳光角度进行不同倾斜角度放置，充分接受光照。

（US2010/0028976A1）。

- 5 6) 德国的 Subitec 公司设计了一种平板气升式光生物反应器，该反应器每个单元体积为 180L，其由两层 PVC 膜互相错开连接形成凹槽，底部鼓气后在每一个槽室中形成流体涡流，其使得藻细胞的在光区和暗区的交替频率增加，从而提高细胞生长速率（Morweiser M, Kruse O, Hankanmer B, et al. Developments and perspectives of photobioreactors for biofuel production. Applied microbiology and biotechnology, 2010,87:1291~1302）。

10 目前，封闭式光生物反应器在实际应用中遇到的主要问题有以下两点：1) 制作及运行成本高；2) 放大困难。从上述近年来平板式光生物反应器研发趋势可见，针对成本高的问题，一般从反应器的制作材料方面进行改进，将以往的有机玻璃和普通玻璃等硬质材料发展为塑料薄膜等软性材质，这样可使得反应器的制作成本明显下降。此外，较轻的软性材质还方便反应器移动。针对光生物反应器放大困难的问题，目前还是没有很好的技术手段，一般在规模放大时是以增加小型反应器单元数量来提高反应器的整体装液量。

15 内部混合构件在管道式光生物反应器中应用的较多，通常是不同形式的静态混合器，可以使得管道式反应器中的流体状态从常规的层流变成湍流，以提高反应器中藻液的混合程度。而内部构件在平板式及柱式反应器中内部构件一般应用的较少，在平板式反应器中一般安装一块或两块挡板，形成隔板式或气升式平板反应器；在柱式反应器中一般安装导流筒，形成气升式柱式光生物反应器。以上这些内部构件通常可使得反应器中流体流动变得有序，一定程度上可促进藻细胞生长。但这种内部构件缺乏使得流体在光衰减方向呈连续循环运动的效果，不能够增强流体在光照方向上的混合，提高藻细胞接受光照的能力有限。

25 因此，本领域仍然需要一种能使藻细胞充分利用反应器中有限区域内（光区）的光能、提高藻细胞的受光强度和促进藻细胞光自养生长的光生物反应器。

本发明以强化流体（微藻培养液）在光生物反应器中光照（光衰减）方向的混合为设计理念，着重从提高反应器中藻细胞对光能的充分利用、提高藻细胞的光暗循环频率角度，设计了一种内部结构新颖的光生物反应器及其内部构件，不仅可实现微藻的高密度及高效率光自养培养，而且可实现光生物反应器在光程方向的有效放大。

因此，本发明的目的是提供一种可使得流体（藻液）在光照方向（光衰减方向）产生周期性循环运动，从而使得藻细胞充分利用反应器中有限区域内（光区）的光能，提高藻细胞的受光强度。本发明不仅可使得反应器中流体流动更加有序，同时可极大地促进流体在光照方向的混合强度，使得藻细胞在反应器内的光区和暗区（由于光衰减所致）之间快速移动，提高藻细胞的光暗循环频率，可极大地促进藻细胞的光自养生长

具体而言，本发明提供了一种新型的光生物反应器内部构件及相应的光生物反应器，其特征在于，所述光生物反应器包括：

透明的外部壳体；

在所述壳体内部的轴向（即藻液的主体流方向，如壳体为与地面垂直放置的平板式，则为高度方向）安置有多块规则排列的呈水平倾斜的透明隔板，所述隔板与壳体壁面形成一定夹角，上下相邻的隔板与壳体之间形成梯形状的局部空间区域，此构型使反应器中心区域（光暗区）的流体和反应器表面区域（光照区）的流体之间产生快速的周期性循环运动，强化了流体在反应器径向方向（光照方向）的混合；和

供给气体装置或其它动力装置。

在一个具体的实施方案中，所述透明的外部壳体为平板式、圆柱式、管道式及其它形状。

在一个具体的实施方案中，所述的内部构件为多块规则排列的呈水平倾斜的透明隔板，各隔板之间形成梯形状的局部空间区域。所述隔板可挖空形成中空腔体。

在一个具体的实施方案中，所述的给气装置或其它动力装置为气泵、气体分布器或其它可造成藻液在光生物反应器内流动的相关动力设备。

在一个具体的实施方案中，所述的透明壳体可有有机玻璃、无机玻璃（普通玻璃或钢化玻璃等）等具有一定机械强度的透明材料；或由如透明塑料膜等

软性材料制成。

在一个具体的实施方案中，所述的光生物反应器内部构件可以是实心透明隔板也可以是空腔体隔板。若隔板为透明实心板，则可以与反应器外壳拆分，隔板可以自由插入至反应器内；若隔板为空腔体隔板，则其需要和反应器外壳
5 一体化。

在一个具体的实施方案中，所述的由隔板挖空后形成中空腔体内可放置人工光源。

在一个具体的实施方案中，所述的光生物反应器还可包括温度检测及控制系统、pH 检测及反馈控制系统、溶氧检测系统以及内部光强检测系统。

10 本发明另一方面还涉及上述光生物反应器及其内部构件在微藻光自养培养等领域（包括其它需光照进行的培养或化学反应，如光合细菌培养、植物细胞培养、光催化反应等）中的应用。

本发明设计的具有新颖内部构件的光生物反应器（以外部壳体为平板式为例）与常规平板式反应器（无内构件，鼓泡式）相比具有流体运动有序及光照
15 方向混合剧烈等优点，藻细胞生长速率及藻细胞密度明显高于常规平板反应器中的藻细胞生长速率及藻细胞密度（见实施例 1）。

上述 Degen 等设计的内置错层隔板的气升式平板光生物反应器虽然也可以促进流体在光照方向周期循环流动，但反应器的规模很小仅 1.5L；内部隔板为水平放置，流场不合理（本发明的反应器隔板具有一定倾斜角度，使得流场更
20 合理），会造成较多死区；且隔板无法与外部壳体拆分，使得反应器清洗困难。此外，Degen 等设计的反应器在宽度（光径或光程）方向为单层，较窄，无法在光径方向（即光照方向）上尽可能地宽，不利于此反应器在光径方向上的放大（本发明设计的反应器在宽度方向具有左右对称的两部分，可使得反应器在宽度方向可以尽可能的宽）。

25 Subitec 公司研发的气升式平板光生物反应器同样也存在着清洗困难问题，尤其对于易于附壁的微藻培养。本发明设计的内部构件可以与反应器壳体拆分，方便对反应器进行彻底清洗。

Tredici 设计的平板反应器主要从降低反应器制作成本考虑，采用薄膜式软性塑料材料制成反应器壳体，同时在外部用使用简单的纤细金属丝或塑料丝等
30 物质对软性壳体进行支撑，而反应器的内部并无内部构件，与常规平板反应器

一样，不具有促进藻液在光照方向混合的能力。

同样，Hu 发明的可在长度方向扩展的平板光生物反应器也是常规的平板反应器，内部流体混合较为混乱且无序，不利于藻细胞生长。Hu 的发明主要从反应器放大角度考虑，但是其放大主要以在反应器长度方向增加小型反应器单元数量着手，并非传统意义上单个反应器体积的放大。

Solix 公司设计的置于水中的薄膜平板式反应器，从混合角度而言其也是简单的鼓泡式类型，流场混合无序。且该反应器置于水体中，反应器表明光强较弱，不利于需要高光强的微藻的培养。

本发明设计的反应器主要从流体角度考虑，以强化藻细胞在光照方向的混合，提高藻细胞对光能的利用效率为目的，反应器的材质可以是有机玻璃或无机玻璃等透明材料，也可以是塑料薄膜等软性材质，且反应器的放大既可以从长度方向，也可以从宽度方向进行放大。以往设计的多节式平板光生物反应器（CN1880442），虽然其也具有促进流体在径向的流动，但由于流体形成的是周期性整体循环，使得流体在光照方向的循环周期很长，频率较低，不足以形成对藻细胞有利的“闪光效应”。本发明是多节式平板反应器的进一步发展，通过在反应器中增加水平倾斜放置的隔板，形成多个梯形式的局部空间，造成流体在各个局部空间内形成循环频率较快的周期循环流动，促进藻细胞对光照的充分接受。

综上所述，本发明与其它光生物反应器相比，着重从强化流体在反应器内光照方向的混合考虑，以便于反应器在光程方向的放大，这对于光生物反应器放大及微藻的光自养培养非常关键。从降低成本角度，本发明设计的反应器可以采用廉价的软性薄膜材质制成；从放大角度，本发明设计的反应器既可以从宽度（即光程方向）也可以从长度方向和高度方向进行放大。

总之，针对现有封闭式光生物反应器光照方向混合性能差、放大困难等缺点，本发明通过在反应器壳体内部的轴向（即藻液的主体流方向，如壳体为与地面垂直放置的平板式，则为高度方向）安置有多块规则排列的呈水平倾斜的透明隔板的方法，来强化流体在反应器径向方向（光照方向）的混合，使得安装这一新型内部构件的光生物反应器在光程方向具有可放大性、同时可使得流体在光照方具有强烈的周期循环，促进藻细胞快速生长等独特优势。

附图简述

图 1 显示内部构件应用于平板式光生物反应器所形成的系列新型光生物反应器（侧视图）。其中各符号含义如下： w 为反应器的宽度、 h 为反应器的高度、 h_0 为通气管离底部的距离、 h_1 为隔板下沿（类型 b）和挡板下沿（类型 a 和 c）离反应器底部的距离、 h_2 为隔板上沿（类型 b）及隔板下沿（类型 a 和 c）离底部的距离、 h_3 为两隔板之间的距离、 h_4 为隔板（类型 b）和挡板上沿（类型 a 和 c）离反应器顶部的距离、 w_1 为两隔板之间的水平方向的间距（类型 b）、 w_2 为隔板与反应器壁面的间距（类型 a 和 c）、 w_3 为两挡板之间的距离（类型 c）、 α_0 为隔板与壁面的相交角度。

10 图 2 显示新型内部结构平板式光生物反应器与对照反应器的实物图。

图 3 显示新型内部结构平板光反应器与对照反应器的内部流场（经计算流体力学软件计算获得）。

图 4 显示新型内部结构平板反应器与对照反应器的小球藻培养过程比较。图中的“对照”指鼓泡式反应器。

15 图 5 显示新型内部结构平板反应器与各自对照反应器中小球藻光自养培养过程比较。图中的“对照”指鼓泡式反应器。

具体实施方案

一般而言，光是影响藻细胞光自养生长最关键的因素。光生物反应器中的藻细胞会吸收光，同时藻细胞之间的相互遮挡，使得光随着光程（培养液深度）和细胞浓度的增加而呈指数衰减，因此，光生物反应器中存在着光区（光强满足于藻细胞生长的区域）和暗区（光强低于藻细胞生长所需的区域）。强化藻细胞在光区和暗区之间的移动频率，有利于藻细胞尽可能多的接受光照，提高藻细胞的生长速率。这种现象称为“闪光效应”（Flashing Light Effect）。因此，光暗循环频率成为光生物反应器设计的一个重要参数，提高反应器内光暗交替频率一般有两种方式：1）提高反应器内混合强度，使藻细胞能够在较短的时间内完成从暗区到光区的移动；2）在反应器中设置内部构件（如静态混合器、挡板等），将反应器分隔为多个小的循环单元，依靠流体流动产生的漩涡使得藻细胞在各小单元之间进行循环周期性的运动，从而提高藻细胞的光暗交替频率。

20

25

30

本发明设计了一种新颖的内部构件，主要是一系列按一定规则有序排列的隔板，可以造成藻液在光照方向呈周期性的快速运动，强化藻细胞在光照方向的混合，提高藻细胞的光暗循环频率，从而提高藻细胞的生长速率。

具体地说，本发明提供了一种新颖的内部构件及相应的光生物反应器，所述光生物反应器包括透明的壳体；在所述壳体内部安置有以规律排列的多组透明隔板，它们形成具有类似梯形的局部空间区域，可使反应器中心区域（光暗区）的流体和反应器表面区域（光照区）的流体之间产生快速的周期性循环运动，强化流体在反应器径向方向（即光照方向）的混合；以及供给气体装置或其它动力装置。所述多组透明隔板可造成流体在其内进行快速周期性循环运动，强化流体在反应器径向方向（即光照方向）的混合。

应理解，本文所述的“梯形”指从反应器的剖面看，由反应器的壁与相邻的上下隔板所形成的区域为梯形。

本发明具有强化流体（藻液）在光照方向的混合，提高藻细胞光暗循环频率及藻细胞对光能的充分利用的优点，同时可有效克服光生物反应器在光程方向放大时出现的问题（例如反应器内部的藻细胞不能充分接受光照、细胞产率下降等）。

以下从不同方面具体说明本发明的实施方法。

1) 内部构件的组成及结构

内部构件由系列隔板（在反应器中水平倾斜放置的板）或隔板加挡板（在反应器中垂直放置的板）组成。隔板包括直接与反应器壁面接触的隔板和与壁面隔开距离 w_2 的隔板，优选两种隔板交替出现。各隔板水平方向上的长度优选不超过反应器宽度 w 的一半。各隔板与反应器壁面成一定角度 α_0 ，每块隔板与壁面所形成的角度 α_0 可相同或不同，但相邻的上下隔板之间与反应器壁及反应器的中轴（参照附图 1 类型 b 的垂直虚线）会形成梯形状的区域，在此特殊的空间区域中液体（藻液）会形成周期性的循环，从而使得藻细胞在反应器的中央（反应器内部，一般为暗区）与近壁区域（反应器外侧，一般为光区）进行连续循环运动，从而使得藻细胞充分利用近壁区域的光能。

在一个具体实施例中，本发明的内部构件如图 1 类型 b 所示，包括与壁面接触的隔板和与两个壁面各隔开距离 w_2 的具有一定角度的隔片，使得相邻的

上下隔板之间与反应器壁，以及与反应器的中轴形成梯形状的区域。可在光生物反应器的两侧壁（宽度方向）设置有多组插槽，通过将隔板插入至插槽内以固定隔板；也可以制作独立的组合构件体（将所有的隔板和挡板组合在一起，制作一个可与外壳体拆分的整体构件，使用时可直接将组合的整体构件插入至壳体中）。这样可以方便的取出隔板或取出整个内部构件，以方便对反应器和隔板的彻底清。为了增强反应器中总体混合，内部构件可以进行适当调整，将其由全部隔板改成部分隔板和挡板组成，由挡板与壁面或挡板与挡板之间形成流道，使得流体具有整体循环，提高反应器中的整体混合效果。

示例性的含有挡板的内部构件的例子可如图 1 类型 a 和 c 所示。类型 a 中包括一挡板，部分隔板与反应器壁接触，部分隔板与挡板接触，这两类隔板各自与反应器壁和挡板形成一定角度 α_0 ， α_0 可相同或不同，但相邻的上下隔板与反应器壁面和挡板之间形成一个梯形区域；此外，与反应器壁面接触的隔板与挡板之间有一定距离 w_2' （水平方向上），与挡板接触的隔板与反应器壁面之间有一定距离 w_2 ， w_2' 和 w_2 可相同或不同。优选各隔板在水平方向上的长度不超过反应器宽度 w 的一半。更优选地，隔板水平方向上的长度加上 w_2 或 w_2' 等于或小于反应器宽度 w 的一半。

通常，当含有挡板的内部构件置于反应器内时，将其放置在反应器的中轴上。

在附图 1 类型 c 中，在反应器中放置两块挡板，部分隔板与反应器壁接触，部分隔板分别与第一挡板和第二挡板接触，这两类隔板各自与反应器壁和相应的挡板形成一定角度 α_0 ， α_0 可相同或不同，但相邻的上下隔板与反应器壁面和相应挡板之间形成一个梯形区域。两块挡板之间的距离可由技术人员根据实际生产情况优化。应理解，此时各隔板水平方向上的长度及隔板与反应器壁面和挡板之间的距离都应作适当调整。

隔板的形状可以根据反应器的类型而变化。例如，对于平板式反应器，隔板可以是方形的。对于柱式或管道式反应器，隔板可以是扇形，如此与反应器壳体接触的那一侧可以是与壳体相配的弧形。

对于含有挡板的柱式或管道式反应器，挡板本身可以是方形的，也可以是圆柱形的。当挡板是方形时，隔板与挡板接触的那一侧也应是方形的，而另外一侧则可以是弧形。当挡板是圆柱形时，隔板可以是扇形。

隔板下沿（类型 b）和挡板下沿（类型 a 和 c）离反应器底部的距离 h_1 、隔板上沿（类型 b）及隔板下沿（类型 a 和 c）离底部的距离 h_2 、隔板之间的距离 h_3 、隔板（类型 b）和挡板上沿（类型 a 和 c）离反应器顶部的距离 h_4 、两隔板之间的水平方向的间距（类型 b） w_1 、隔板与反应器壁面的间距（类型 a 和 c） w_2 、两挡板之间的距离（类型 c） w_3 、隔板与壁面的相交角度 α_0 等结构参数都可进行优化调整，以获得最佳结构的尺寸。

在一个具体的实施例中，以 15L 平板式光生物反应器为例，反应器的长度为 25cm，宽度 w 为 15cm，高度 h 为 40cm。 h_1 的范围为 1~20cm， h_2 的范围为 1~20cm， h_3 的范围为 1~20cm， h_4 的范围为 1~10cm， w_1 的范围为 0.5~10cm， w_2 的范围为 0.5~6cm， w_3 的范围为 1~12cm， α_0 的角度为 1~85°。在一个优选的实施例中， h_1 的范围为 1~10cm， h_2 的范围为 1~15cm， h_3 的范围为 1~8cm， h_4 的范围为 1~8cm， w_1 的范围为 0.5~5cm， w_2 的范围为 0.5~4cm， w_3 的范围为 1~6cm， α_0 的角度为 45~85°。

此外，为了防止隔板与反应器外壳之间的夹角区域形成死区，隔板与反应器外壳之间可以具有较小的缝隙或小孔，使得流体可在夹角区域形成流动。同时，隔板与挡板都是透明材质制成，且厚度较薄，以减少对光的吸收及遮挡。另外，隔板与挡板可以与外部的壳体分开，可以独立的拆开，从壳体中取出，以便对反应器及内部构件进行清洗。

20 2) 反应器主体结构及材质

光生物反应器的主体结构（壳体）可以是平板式、柱式或管道式。可以根据外部壳体形状对内部构件进行适当调整。由于平板式光生物反应器相对其它封闭式光生物反应器而言，具有放大相对容易的优势，因此，本发明的内部构件首先应用在平板式光生物反应器中。光生物反应器壳体外透明材料制成，可以是有机玻璃、无机玻璃（普通玻璃钢化玻璃等）等硬体材料，也可以是塑料薄膜等软性材料。若是采用软性材料，则需要在反应器外侧安装金属网等支撑结构。

3) 挡板及隔板空腔中内置人工光源

挡板和隔板可以制成中空腔体形式，这样，挡板和隔板不仅起到影响流体

在反应器中的流动，促进流体在光照方向的混合外，还可以作为人工光源放置的场所。中空腔体形式的挡板和隔板，一方面可以增加反应器的光照比表面积，另一个方面可以避免人工光源与藻液的直接接触，以规避光源直接和液体接触而带来的许多问题，如藻细胞附着在光源表面等；同时，人工光源置于腔体之内，使得人工光照充分被反应器中的藻细胞吸收利用。

4) 动力装置及检测系统

当光生物反应器的壳体形式为平板式或圆柱式时，通过通气方式使得反应器中藻液进行混合，而当反应器的壳体为管道式时，一般通过泵装置或气升式系统使得藻液在管道中流动。此外，可在光生物反应器中配置各种检测及控制系统，如温度检测及控制系统、pH 检测及反馈控制系统、溶氧检测系统以及光强检测系统。

下面结合附图进一步说明本发明新颖的内部混合构件及光生物反应器的结构及其内部混合情况（尤其是在光照方向独特的流体漩涡）

图 1 是内部混合构件应用于平板式光生物反应器，形成的系列新颖的平板式反应器（结构示意图，侧视图）。图 2 为新颖内部结构平板反应器与对照反应器的实物图。类型 a 反应器的内部构件由中央挡板和倾斜隔板组成，反应器左边为下降通道，通道中添加了上下错开放置的倾斜隔板，可促进藻液在光照方向的混合，同时右边为流体上升通道，整个反应器可实现整体流动。类型 b 反应器中的内部构件为上下错开放置的内置倾斜隔板，隔板与隔板之间在垂直方向形成梯形区域；同时，反应器左侧与右侧基本成对称分布。类型 c 反应器同样是由挡板和倾斜隔板组成，由两块挡板在反应器中央形成流体的上升通道，在靠近反应器内壁两侧为两个流体下降通道，其内安置有错开放置的倾斜隔板，以促进藻液在光照方向上的混合。

图 3 是各类型平板式光生物反应器中的流场分布（通过 CFD 计算软件 Ansys12.0 CFX 计算获得，在通气量均为 1.0vvm 条件下）。

类型 a 反应器具有 1 个整体流动循环，且在其上具有跟反应器 b 中一样的小型流体循环。流体的大循环与许多个小循环之间互相作用，互相混合。类型 a 反应器中的液体在左通道主要是垂直（轴向）流动，在反应器右通道由于产

生了流体循环，液体的径向流动和混合较明显。类型 **a** 是在单隔板气升式反应器基础上形成的（在单隔板气升式反应器的下降通道增加了水平倾斜的多组隔板）。由 3 图可见，单隔板气升式反应器只存在着一个整体流动循环，且流体流动主要以轴向方向为主，在径向（光照方向）的流动非常弱，不利于微藻的光自养生长。

类型 **b** 反应器被内部隔板分隔成很多个特殊的“小室”（两块隔板之间的空间区域），气体由于浮力作用基本沿着倾斜隔板往上流动（内部隔板类似气体流动的导流板），在气体的带动下，每个“小室”中的流体（指液体）可在反应器中心区域（光暗区）和反应器表面区域（光照区）之间产生快速的周期性循环运动。在同一层的两个“小室”之间没有隔板，因此，在同一层的两个流体循环之间互相作用与互相交融，使得两个循环并不是十分的规则。在类型 **b** 反应器内的液体主要在各自小室内周期性循环运动为主，且径向（光照）方向的流动十分明显，有利于暗区中的藻细胞充分接受和利用光区内的光，提高藻细胞的光能利用效率。类型 **b** 反应器可以看成在鼓泡式反应器的基础上形成的（在鼓泡式反应器中添加了多组错开放置且成水平倾斜的隔板），由图 3 可见，对照组平板反应器（即鼓泡式，无内部构件）内的流体形成两个大循环，流体以垂直上下流动为主，只有在反应器的顶端和底部形成径向方向（即光照方向）的流动。

类型 **c** 反应器具有两个整体的流动循环，且在其上具有许多小循环。该反应器在上升通道中，液体呈轴向流动，在两侧下降通道中轴向和径向运动都较强烈。类型 **c** 是在双隔板气升式反应器基础上形成的（在气升式反应器的下降通道两侧增加了水平倾斜的多组隔板）。同样有图 3 可见，双隔板气升式反应器存在着两个整体流动循环，且流体流动也主要以轴向方向为主，在径向（光照方向）的流动较弱，不利于微藻的光自养生长。

由此可见，对照组反应器（鼓泡式）、单隔板及双隔板气升式反应器中的液体均以轴向流动为主，类型 **b** 反应器中的液体以径向流动为主，类型 **a** 和 **c** 反应器内液体的轴向和径向流动都比较明显。

为了详细说明本发明的新型内部构件及其光生物反应器的优势所在，下面以一个实例进行具体说明：

实施例 1：新型平板反应器与对照反应器中小球藻光自养培养过程比较

在 3 个不同内部构件的平板式光生物反应器及 1 个对照反应器中分别装入 14L 自来水，加入 2ml 次氯酸钠溶液（有效氯含量 10%），通气混匀后，处理 12 小时，之后加入硫代硫酸钠中和剩余的次氯酸钠，经碘化钾淀粉试纸检验，确定无次氯酸钠后（一般硫代硫酸钠过量），继续通气一段时间氧化过量的硫代硫酸钠后，然后在反应器内放入微藻光自养培养基（f/2 培养基），经充分混匀后再接入蛋白核小球藻种子，光自养培养开始。初始藻细胞密度为 0.15g/L 左右，通气量 1.0vvm，平板反应器两侧均有光照，每侧光照强度为 10klx。

由图 4 可见，对照反应器（鼓泡式反应器，无内部构件）中藻细胞的生长情况最差，最高藻细胞密度仅为 0.916g/L。添加不同内部构件的 3 种反应器中藻细胞生长情况均比对照反应器好，其中类型 b 反应器中微藻的最高细胞密度为 1.311g/L，类型 a 反应器中的微藻的最高细胞密度为 1.189g/L，类型 c 反应器中微藻的最高细胞密度为 1.241g/L。同时，对 4 个不同平板反应器中藻细胞在指数生长阶段的比生长速率进行计算，结果是对照反应器中藻细胞的比生长速率为 0.051h^{-1} ，类型 b 反应器中藻细胞的比生长速率为 0.0619h^{-1} ，类型 a 反应器中藻细胞的比生长速率为 0.0574h^{-1} ，类型 c 反应器中藻细胞的比生长速率为 0.0604h^{-1} 。由以上数据可见，添加新型内部构件的平板反应器中藻细胞的最高密度及生长速率明显高于普通的平板式光生物反应器（鼓泡式，未添加任何内部构件）。由此可见，本发明设计的新型内部构件及添加内部构件后的新型平板反应器具有很好的培养效果。

实施例 2：新型平板反应器与各自对照反应器中小球藻光自养培养过程比较

在 3 个具有梯形内部构件的新型平板式光生物反应器及 3 个各自对照反应器（类型 b 反应器的对照为鼓泡式反应器，类型 a 反应器的对照为单隔板气升式反应器，类型 c 的对照为双隔板气升式反应器）中分别装入 14L 自来水，加入 2ml 次氯酸钠溶液（有效氯含量 10%），通气混匀后，处理 12 小时，之后加入硫代硫酸钠中和剩余的次氯酸钠，经碘化钾淀粉试纸检验，确定无次氯酸钠后（一般硫代硫酸钠过量），继续通气一段时间氧化过量的硫代硫酸钠后，

然后在反应器内放入微藻光自养培养基（f/2 培养基），经充分混匀后再接入蛋白核小球藻种子，光自养培养开始。初始藻细胞密度为 0.077g/L 左右，通气量 0.6vvm，平板反应器两侧均有光照，每侧光照强度为 20klx。

由图 5 可见，具有梯形内部构件的 3 种新型平板式生物反应器中藻细胞生长情况均优于各自的对照反应器。类型 b 反应器中藻细胞的平均生长速率高于鼓泡式反应器中的藻细胞平均生长速率，类型 a 反应器中藻细胞的平均生长速率高于单隔板气升式反应器中的藻细胞平均生长速率，类型 c 反应器中藻细胞的平均生长速率高于双隔板气升式反应器中的藻细胞平均生长速率。各反应器中藻细胞的最高密度均是新型反应器内的最高藻细胞密度高于各自对照反应器的最高藻细胞密度。由此可见，添加新型内部构件的平板反应器中藻细胞的最高密度及生长速率均高于其各自对照的平板式光生物反应器。

综上所述，本发明设计的新型内部构件及添加内部构件后的新型平板反应器具有很好的培养效果。

权 利 要 求 书

1. 一种光生物反应器，其特征在于，所述光生物反应器包括：

透明的外部壳体；和

内部构件，所述内部构件包括在所述壳体内部的轴向安置有多块规则排列的呈水平倾斜的透明隔板，所述隔板与壳体壁面形成的夹角使得上下相邻的隔板与壳体之间形成梯形状的局部空间区域，所述透明隔板的安排使反应器中心区域的流体和反应器表面区域的流体之间产生快速的周期性循环运动。

2. 如权利要求 1 所述的光生物反应器，其特征在于，所述透明的外部壳体为平板式、圆柱式、管道式及其它形状。

3. 如权利要求 1 所述的光生物反应器，其特征在于，所述隔板被挖空形成中空腔体。

4. 如权利要求 1 所述的光生物反应器，其特征在于，所述的给气装置或其它动力装置为气泵及气体分布器或其它可造成藻液在光生物反应器内流动的相关动力设备。

5. 如权利要求 2 所述的光生物反应器，其特征在于，所述的透明壳体是由具有一定机械强度的透明材料；或由软性材料制成。

6. 如权利要求 3 所述的光生物反应器，其特征在于，若隔板为透明实心板，则所述隔板可以与反应器外壳拆分，隔板可以自由插入至反应器内；若隔板为空腔体隔板，则所述隔板和反应器外壳一体化。

7. 如权利要求 3 所述的光生物反应器，其特征在于，所述的由隔板挖空形成的中空腔体内可放置人工光源。

8. 如权利要求 1 所述的光生物反应器，其特征在于，所述的光生物反应器还包括供给气体装置或其它动力装置、温度检测及控制系统、pH 检测及反馈控制系统、溶氧检测系统以及内部光强检测系统。

9. 一种用于权利要求 1 所述光生物反应器的构件，其特征在于，所述构件为多块规则排列的呈水平倾斜的透明隔板，各隔板之间形成梯形状的局部空间区域。

10. 权利要求 1-8 任一项所述的光生物反应器或权利要求 9 所述的构件在

需光照进行的培养或化学反应中的应用。

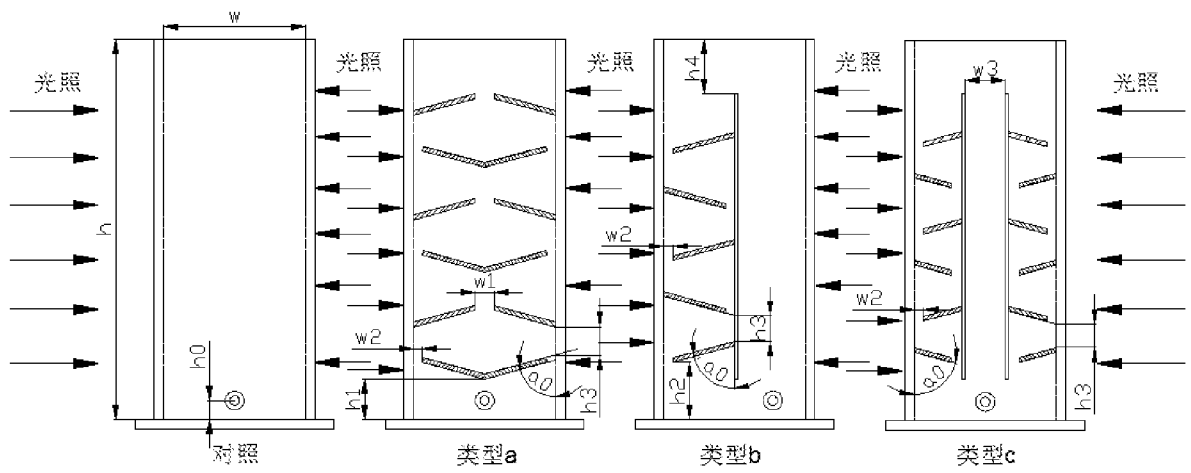


图 1

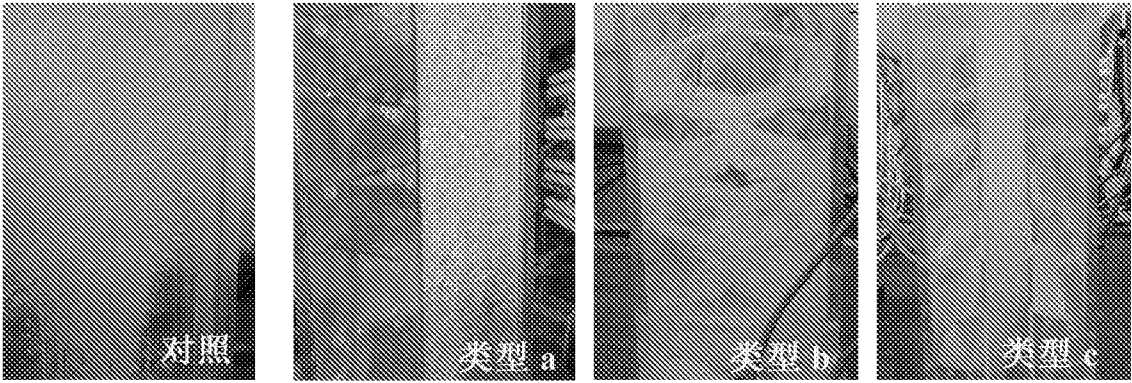


图 2

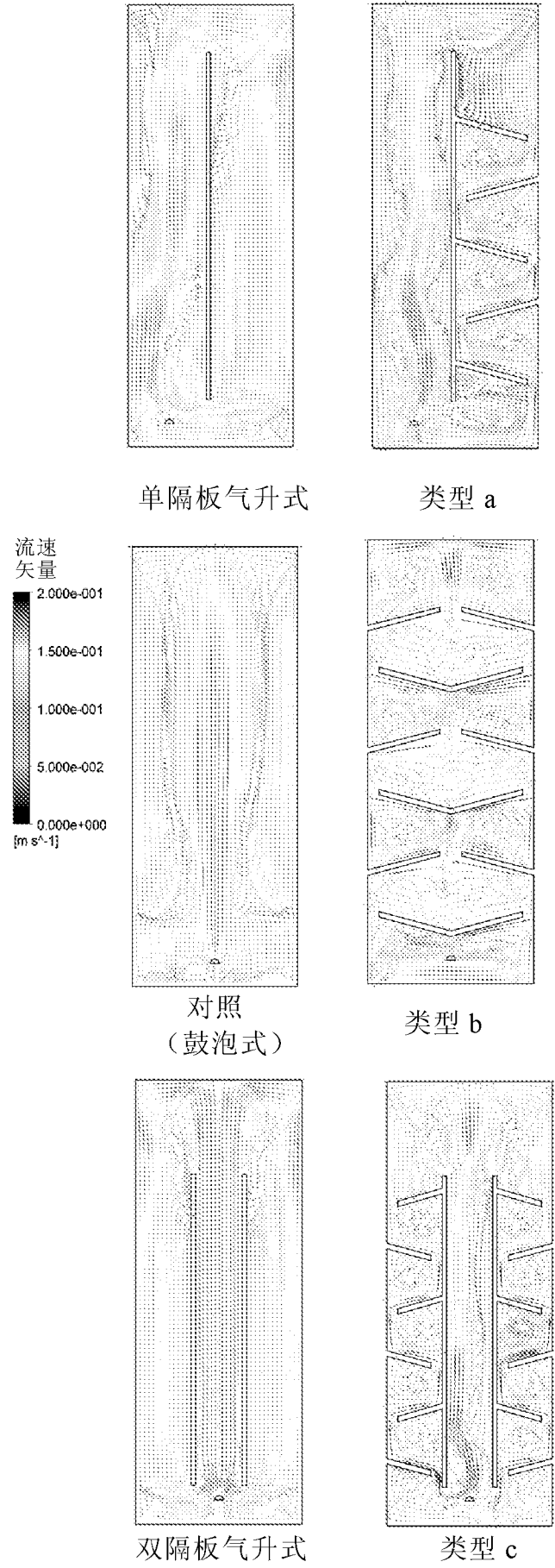


图 3

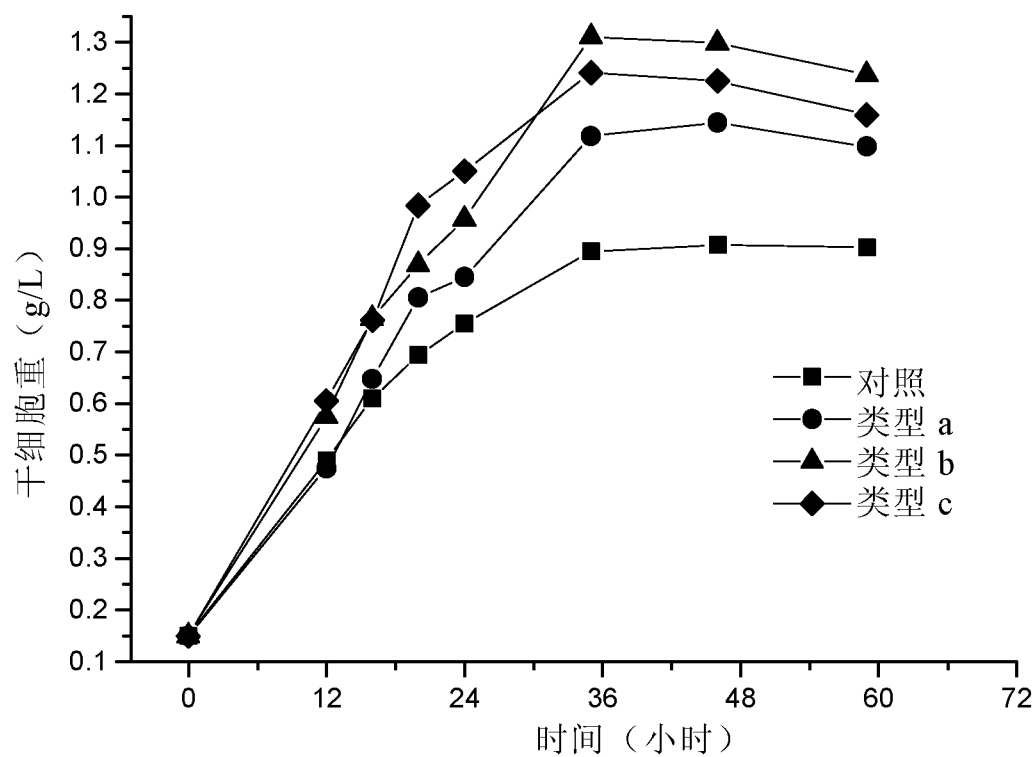


图 4

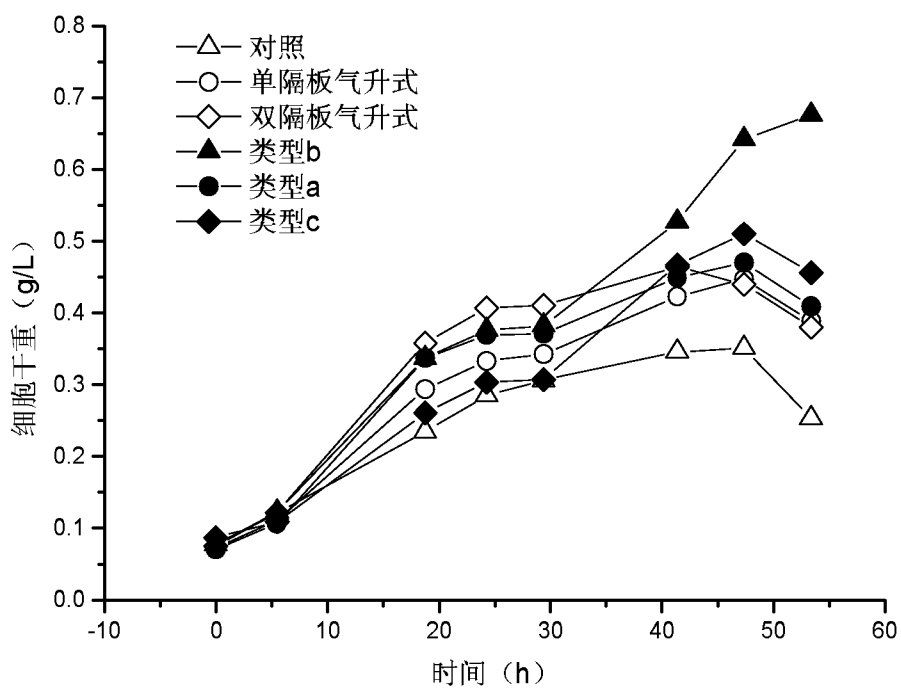


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2012/078265

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C12M 1/14 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: C12M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNKI; CPRS and key words: photobioreactor, baffle, reactor, included angle etc.

WPI; EPODOC; ISI Web of knowledge; ELSEVIER and key words: PHOTOBIOREACTOR; BAFFLES; ANGLE etc.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 102260629 A (INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 30 November 2011 (30.11.2011), see description, paragraphs [0009]-[0024] and [0043]-[0101], figure 1, and claims, and particularly figure 1, and claims	1-10
Y	CN 1880442 A (EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY), 20 December 2006 (20.12.2006), see description, page 6, paragraph 5 to page 17, paragraph 1, figure 1, and claims, and particularly description, page 9, paragraph 3 to page 13, paragraph 5, figure 1 and claims	1-10
A	CN 2319413 Y (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 19 May 1999 (19.05.1999), see the whole document	1-10
A	CN 2197366 Y (LI, Weiren), 17 May 1995 (17.05.1995), see the whole document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 27 December 2012 (27.12.2012)	Date of mailing of the international search report 10 January 2013 (10.01.2013)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer MA, Lan Telephone No.: (86-10) 62412181

International application No.
PCT/CN2012/078265

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2012/078265

A. 主题的分类

C12M1/14 (2006.01) i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC:C12M

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNKI; CPRS 和关键词: 光生物反应器、隔板、反应器、夹角等

WPI; EPODOC; ISI Web of knowledge; ELSEVIER 和关键词: PHOTOBIOREACTOR; BAFFLES; ANGLE 等

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
Y	CN102260629 A (中国科学院过程工程研究所) 30.11 月 2011 (30.11.2011) 参见说明书第[0009]-[0024]段以及第[0043]-[0101]段, 附图 1 和权利要求书, 尤其是附图 1 和权利要求书	1-10
Y	CN1880442 A (华东理工大学) 20.12 月 2006 (20.12.2006) 参见说明书第 6 页第 5 段-第 17 页第 1 段, 附图 1 和权利要求书, 尤其是说明书第 9 页第 3 段-第 13 页第 5 段, 附图 1 和权利要求书	1-10
A	CN2319413 Y (华南理工大学) 19.5 月 1999 (19.05.1999) 参见全文	1-10
A	CN2197366 Y (李维仁) 17.5 月 1995 (17.05.1995) 参见全文	1-10



其余文件在 C 栏的续页中列出。



见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

27. 12 月 2012(27.12.2012)

国际检索报告邮寄日期

10.1 月 2013 (10.01.2013)

ISA/CN 的名称和邮寄地址:

中华人民共和国国家知识产权局

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088

传真号: (86-10)62019451

受权官员

马岚

电话号码: (86-10) **62412181**

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2012/078265

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN102260629 A	30.11.2011	无	
CN1880442 A	20.12.2006	CN100587054 C	03.02.2010
CN2197366 Y	17.05.1995	无	
CN2319413 Y	19.05.1999	无	