

# (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  
2019年9月12日 (12.09.2019)



(10) 国际公布号  
**WO 2019/169642 A1**

- (51) 国际专利分类号:  
**H04B 10/294** (2013.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2018/078639
- (22) 国际申请日: 2018年3月9日 (09.03.2018)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (71) 申请人: 华为技术有限公司 (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) [CN/CN]; 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。
- (72) 发明人: 王元武(WANG, Yuanwu); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。 常志文(CHANG, Zhiwen); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。 尤国东(YOU, Guodong); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。 赵臻青

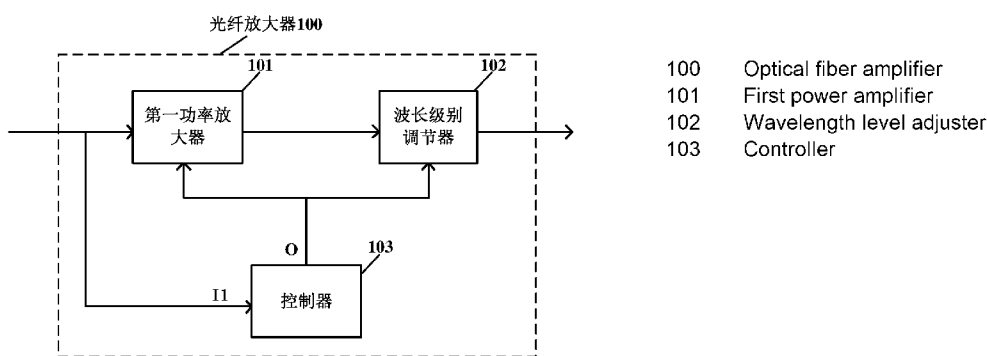
(ZHAO, Zhenqing); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。 陈飞(CHEN, Fei); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。

(74) 代理人: 广州三环专利商标代理有限公司 (SCIHEAD IP LAW FIRM); 中国广东省广州市越秀区先烈中路80号汇华商贸大厦1508室, Guangdong 510070 (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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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。

(54) Title: OPTICAL FIBER AMPLIFIER AND OPTICAL FIBER AMPLIFIER GAIN ADJUSTMENT METHOD

(54) 发明名称: 光纤放大器及光纤放大器的增益调节方法



(57) Abstract: Provided are an optical fiber amplifier (100) and an optical fiber amplifier (100) gain adjustment method, said optical fiber amplifier (100) comprising: a first power amplifier (101), a wavelength level adjuster (102), and a controller (103); the first power amplifier (101) and the wavelength level adjuster (102) are connected in sequence; the controller (103) comprises a first input terminal and a control output terminal; the first input terminal is used for receiving an input optical signal of the optical fiber amplifier (100); the control output terminal is configured to output a first amplification control signal to the first power amplifier (101), and to output an adjustment control signal to the described wavelength level adjuster (102); the described wavelength level adjuster (102) is used for adjusting the power of each wavelength according to the adjustment control signal. The described optical fiber amplifier (100) can separately adjust the power of each wavelength in the fiber amplifier (100), improving the accuracy of adjustment of the gain curve of the optical fiber amplifier (100).

(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, ST, 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, KM, 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))。

---

(57) 摘要: 光纤放大器 (100) 及光纤放大器 (100) 的增益调节方法, 该光纤放大器 (100) 包括: 第一功率放大器 (101), 波长级别调节器 (102) 和控制器 (103); 该第一功率放大器 (101) 和该波长级别调节器 (102) 依次连接; 上述控制器 (103) 包括第一输入端和控制输出端, 第一输入端用于接收光纤放大器 (100) 的输入光信号, 控制输出端用于输出第一放大控制信号至上述第一功率放大器 (101), 输出调节控制信号至上述波长级别调节器 (102); 上述波长级别调节器 (102), 用于根据调节控制信号分别对每个波长进行功率调节。上述光纤放大器 (100) 可以分别对光纤放大器 (100) 中的每个波长进行功率调节, 提高了光纤放大器 (100) 的增益曲线的调节精度。

## 光纤放大器及光纤放大器的增益调节方法

### 技术领域

本申请涉及光通信技术领域，尤其特别涉及光纤放大器及光纤放大器的增益调节方法。

5

### 背景技术

光纤放大器在光通信和光传感技术领域都被广泛地使用。光纤放大器包括半导体光放大器、稀土掺杂光纤放大器等类型。稀土掺杂光纤放大器，例如：掺铒光纤放大器（erbium doped fiber amplifier, EDFA），是波分复用（wavelength division multiplexing, WDM）系统中的重要器件，用于对系统中传输的光信号进行放大。但是，该类型光纤放大器的增益曲线不平坦。也就是说，当不同波长的光信号通过该类型的光纤放大器时，它们的增益不同，增益较低的波长对应的光信号功率也较低，从而导致相应的误码率较高，甚至影响整个系统的传输性能。因此，如何对光纤放大器的增益曲线进行调节成为一个重要的技术问题。

10

目前将增益平坦滤波器（gain flattening filter, GFF）内置于光纤放大器中，通过 GFF 的插损曲线与光纤放大器的增益曲线相互作用，以实现光纤放大器的增益曲线的调节。该方案只能实现对光纤放大器的增益曲线进行整体调节，其调节精度不理想。

15

### 发明内容

本申请实施例公开了光纤放大器及光纤放大器的增益调节方法，可以分别对光纤放大器中的每个波长进行功率调节，将对光纤放大器的增益曲线的调节精确到波长级别，从而提高了光纤放大器的增益曲线的调节精度。

20

第一方面，本申请实施例公开了一种光纤放大器，包括：第一功率放大器，波长级别调节器和控制器；所述第一功率放大器和所述波长级别调节器依次连接，或者，所述波长级别调节器和所述第一功率放大器依次连接；所述控制器包括第一输入端和控制输出端，所述第一输入端用于接收所述光纤放大器的输入光信号，所述控制输出端用于输出第一放大控制信号至所述第一功率放大器，输出调节控制信号至所述波长级别调节器；所述波长级别调节器，用于根据所述调节控制信号分别对每个波长进行功率调节。

25

在本申请实施例中，控制器可以根据第一输入端所接收到的输入光信号，计算得到第一放大控制信号和调节控制信号，该调节控制信号可以控制波长级别调节器分别对每个波长进行功率调节，从而实现了光纤放大器的增益曲线进行单波增益调节的效果，提高了对光纤放大器的增益曲线的调节精度。

30

结合第一方面，在第一个可选的实现方式中，所述控制器包括：第一存储模块和第一计算模块；所述第一存储模块，用于存储所述第一功率放大器的增益特性参数，所述波长级别调节器的调控特性参数，所述光纤放大器的目标输出光功率信息；所述第一计算模块，用于根据所述第一存储模块的存储内容和所述光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率，计算得到所述第一放大控制信号和所述调节控制信号。

35

结合第一方面的第一个可选的实现方式，在第一方面的第二个可选的实现方式中，所

述控制器还可以包括第二输入端，所述第二输入端用于接收所述光纤放大器的输出光信号；所述第一计算模块，还用于在所述输出光信号的功率与所述目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的情况下，根据所述第一存储模块的存储内容和所述输出光信号中各波长的光功率，计算得到第二放大控制信号和二次调节控制信号；所述控制输出端，还用于输出所述第二次放大控制信号至所述第一功率放大器，输出所述二次调节控制信号至所述波长级别调节器。所述波长级别调节器，还用于根据所述二次调节控制信号分别对每个波长进行功率调节。

45 在本实现方式中，相较于第一方面的第一个可选的实现方式，增加了第二输入端，第一计算模块可以在上述输出光信号的功率与目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的情况下，根据输出光信号中各波长的光功率，计算得到第二放大控制信号和二次调节控制信号，该二次调节控制信号可以控制波长级别调节器对每个波长再次进行功率调节，直到上述输出光信号的功率和目标输出光功率的差值的绝对值小于二次计算阈值为止，使  
50 输出光信号的功率与目标输出光功率更接近，提高了光纤放大器的增益曲线的调节准确度。

结合第一方面，在第三个可选的实现方式中，上述光纤放大器还包括第二功率放大器；所述第一功率放大器，所述波长级别调节器和所述第二功率放大器依次连接；所述控制输出端，还用于输出第二放大控制信号至所述第二功率放大器。

在本实现方式中，第一功率放大器和第二功率放大器可以分别作为前置放大器和功率  
55 放大器，配合波长级别调节器，对光纤放大器的增益曲线进行调节。

结合第一方面的第三个可选的实现方式，在第一方面的第四个可选的实现方式中，所述控制器包括：第二存储模块和第二计算模块；所述第二存储模块，用于存储所述第一功率放大器和所述第二功率放大器的增益特性参数，所述波长级别调节器的调控特性参数，所述光纤放大器的目标输出光功率；所述第二计算模块，用于根据所述第二存储模块的  
60 存储内容和所述光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率，计算得到所述第一放大控制信号，第二放大控制信号和所述调节控制信号。

在本实现方式中，第一功率放大器和第二功率放大器根据上述第一放大控制信号，第二放大控制信号对不同波长的光功率进行放大，波长级别调节器根据调节控制信号对不同波长进行功率插损。因此，第一功率放大器，第二功率放大器，以及波长级别调节器相互  
65 作用实现对光纤放大器增益曲线的调节。

结合第一方面的第四个可选的实现方式，在第一方面的第五个可选的实现方式中，所述控制器还可以包括第二输入端，所述第二输入端用于接收所述光纤放大器的输出光信号；所述第二计算模块，还用于在所述输出光信号的功率与所述目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的情况下，根据所述第二存储模块的存储内容和所述输出光信号中各波长的光功率，计算得到第三次放大控制信号，第四次放大控制信号和二次调节控制信号；所述控制输出端，还用于输出所述第三放大控制信号至所述第一功率放大器，输出所述第四放大控制信号至所述第二功率放大器，输出所述二次调节控制信号至所述波长级别调节器；所述波长级别调节器，还用于根据所述二次调节控制信号分别对每个波长进行功率调节。

75 在本实现方式中，相较于第一方面的第五个可选的实现方式，增加了第二输入端，第二计算模块可以在上述输出光信号的功率与目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的条件下，根据输出光信号中各波长的光功率，计算得到第三次放大控制信号，第四次放大控制信号和二次调节控制信号，该二次调节控制信号可以控制波长级别调节器对每个波长再次进行功率调节，直到上述输出光信号的功率和目标输出光功率的差值的绝对值  
80 小于二次计算阈值为止，使输出光信号的功率与目标输出光功率更接近，提高了光纤放大器的增益曲线的调节准确度。

结合第一方面，或者第一方面的第一至第五个可选的实现方式中任一实现方式，在第一方面的第六个可选的实现方式中，上述波长级别调节器包括：色散模块，波长级别插损调节模块和聚合模块；所述色散模块，所述波长级别插损调节模块和所述聚合模块依次连接；所述色散模块，用于对多波长的光信号进行空间分离；所述聚合模块，用于对多波长的  
85 光信号进行空间聚合；所述波长级别插损调节模块，用于根据所述调节控制信号分别对每个波长进行功率调节。

在本实现方式中，色散模块对多波长的光信号进行空间分离，有利于波长级别调节器进行对每个波长进行功率调节，聚合模块可以将分离的光信号重新聚合，便于后续传输。

90 结合第一方面的第六个可选的实现方式，在第一方面的第七个可选的实现方式中，所述波长级别插损调节模块为硅基液晶 LCOS 芯片，微机电 MEMS 元件或液晶 LC 元件。

结合第一方面的第六个可选的实现方式，在第一方面的第八个可选的实现方式中，所述波长级别调节器还包括第一光束整形模块和第二光束整形模块；所述第一光束整形模块，所述色散模块，所述波长级别插损调节模块，所述聚合模块和所述第二光束整形模块依次  
95 连接；所述第一光束整形模块和所述第二光束整形模块，用于光束聚焦和准直。

第二方面，本申请实施例公开了一种光纤放大器的增益调节方法，所述方法应用于第一方面，或第一方面的第二个可选的实现方式，或第一方面的第三个可选的实现方式，或第一方面的第四个可选的实现方式公开的任一所述光纤放大器，所述方法包括：接收所述  
100 光纤放大器的输入光信号；根据所述光纤放大器的输入光信号进行计算，得到第一放大控制信号和调节控制信号，所述调节控制信号用于控制所述波长级别调节器分别对每个波长进行功率调节；输出所述第一放大控制信号至所述第一功率放大器，输出调节控制信号至所述波长级别调节器。

在本实施例中，根据所述光纤放大器的输入光信号进行计算，得到的调节控制信号，可以控制所述波长级别调节器分别对每个波长进行功率调节，从而实现了对光纤放大器的  
105 增益曲线进行单波增益调节的效果，提高了光纤放大器的增益曲线的调节精度。

结合第二方面，在第一个可选的实现方式中，所述根据所述光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率进行计算，得到第一放大控制信号和调节控制信号，包括：根据所述第一功率放大器的增益特性参数，所述波长级别调节器的调控特性参数，所述光纤放大器的目标输出光功率，和所述光纤放大器的输入光信号，计算得到所述第一放大控制信号和所述  
110 调节控制信号。

结合第二方面的第一个可选的实现方式，在第二方面的第二个可选的实现方式中，在

所述输出所述第一放大控制信号至所述第一功率放大器，输出调节控制信号至所述波长级别调节器之后，所述方法还包括：接收所述光纤放大器的输出光信号；在所述输出光信号的功率与所述目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的情况下，根据所述第一功率放大器的增益特性参数，所述波长级别调节器的调控特性参数，所述光纤放大器的目标输出光功率，和所述输出光信号中各波长的光功率进行计算，得到第二放大控制信号和二次调节控制信号；输出所述第二放大控制信号至所述第一功率放大器，输出所述二次调节控制信号至所述波长级别调节器。

115 在本实现方式中，在上述输出光信号的功率与目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的情况下，根据输出光信号中各波长的光功率，计算得到第二放大控制信号和二次调节控制信号，该二次调节控制信号可以控制波长级别调节器对每个波长再次进行功率调节，直到上述输出光信号的功率和目标输出光功率的差值的绝对值小于二次计算阈值为止，使输出光信号的功率与目标输出光功率更接近，提高了光纤放大器的增益曲线的调节准确度。

120 结合第二方面，在第三个可选的实现方式中，所述方法应用于第一方面的第一个可选的实现方式公开的任一所述光纤放大器，所述方法还包括：根据所述光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率进行计算，得到第二放大控制信号；输出所述第二放大控制信号至所述第二功率放大器。

125 在本实现方式中，第一功率放大器和第二功率放大器分别根据第一放大控制信号和第二放大控制信号对不同波长进行光功率放大。

130 结合第二方面的第三个可选的实现方式，在第二方面的第四个可选的实现方式中，所述根据所述光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率进行计算，得到第一放大控制信号和调节控制信号；所述根据所述光纤放大器的输入光信号进行计算，得到第二放大控制信号，包括：根据所述第一功率放大器和所述第二功率放大器的增益特性参数，所述波长级别调节器的调控特性参数，所述光纤放大器的目标输出光功率，和所述光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率，计算得到所述第一放大控制信号，所述第二放大控制信号和所述调节控制信号。

135 在本实现方式中，上述第一放大控制信号，第二放大控制信号分别控制第一功率放大器和第二功率放大器对不同波长的光功率进行放大，上述调节控制信号控制波长级别调节器根据调节控制信号对不同波长进行功率插损。因此，第一功率放大器，第二功率放大器，以及波长级别调节器相互作用实现对光纤放大器增益曲线的调节。

140 结合第二方面的第四个可选的实现方式，在第二方面的第五个可选的实现方式中，在所述输出所述第一放大控制信号至所述第一功率放大器，输出调节控制信号至所述波长级别调节器，输出所述第二放大控制信号至所述第二功率放大器之后，所述方法还包括：接收所述光纤放大器的输出光信号；在所述输出光信号的功率与所述目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的情况下，根据所述第一功率放大器和所述第二功率放大器的增益特性参数，所述波长级别调节器的调控特性参数，所述光纤放大器的目标输出光功率，和所述输出光信号中各波长的光功率，计算得到第三放大控制信号，第四放大控制信号和

145

二次调节控制信号；输出所述第三放大控制信号至所述第一功率放大器，输出所述第四放大控制信号至所述第二功率放大器，输出所述二次调节控制信号至所述波长级别调节器。

在本实现方式中，在上述输出光信号的功率与目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的情况下，根据输出光信号中各波长的光功率，计算得到第三次放大控制信号，第四次放大控制信号和二次调节控制信号，该二次调节控制信号可以控制波长级别调节器对每个波长再次进行功率调节，直到上述输出光信号的功率和目标输出光功率的差值的绝对值小于二次计算阈值为止，使输出光信号的功率与目标输出光功率更接近，提高了光纤放大器的增益曲线的调节准确度。

### 附图说明

- 图 1 为本申请实施例公开的一种光纤放大器的结构示意图；  
图 2 为本申请实施例公开的一种控制器的结构示意图；  
图 3A 为本申请实施例公开的一种波长级别调节器的结构示意图；  
图 3B 为本申请实施例公开的另一种波长级别调节器的结构示意图；  
图 4A 为本申请另一实施例公开的一种光纤放大器的结构示意图；  
图 4B 为本申请另一实施例公开的另一种光纤放大器的结构示意图；  
图 5 为本申请实施例公开的一种光纤放大器的增益调节方法的流程示意图；  
图 6 为本申请实施例公开的一种光纤放大器的增益调节过程的流程示意图；  
图 7 为本申请实施例公开的另一种光纤放大器的增益调节方法的流程示意图。

### 具体实施方式

本申请主要针对稀土掺杂光纤放大器，例如，EDFA。本领域技术人员可知，随着技术发展，本申请的技术也可适用于其他正在开发或者待开发的稀土掺杂光纤放大器。下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行描述。

目前将增益平坦滤波器（gain flattening filter, GFF）内置于光纤放大器中，通过 GFF 的插损曲线作用于光纤放大器的每个波长的光功率，使光纤放大器中不同波长对应的增益产生一定程度的衰减，从而可以实现对光纤放大器的增益曲线的调节。但是，这样的调节方式只能对光纤放大器的增益曲线进行整体调节，对增益曲线的调节精度不理想。

为了实现对光纤放大器的增益曲线进行波长级别调节的精确达到波长级别，本申请实施例公开了一种光纤放大器及光纤放大器的增益调节方法，以下分别进行详细说明。

图 1 为本申请实施例公开的一种光纤放大器的结构示意图。由图可知，该光纤放大器包括：第一功率放大器 101，波长级别调节器 102 和控制器 103；该第一功率放大器 101 和该波长级别调节器 102 依次连接，其中，第一功率放大器的输入端即为光纤放大器的输入端，波长级别调节器的输出端即为光纤放大器的输出端，上述控制器包括第一输入端 I1 和控制输出端 O，第一输入端 I1 用于接收光纤放大器的输入光信号，控制输出端 O 用于输出第一放大控制信号至上述第一功率放大器 101，以及输出调节控制信号至上述波长级别调节器 102；上述波长级别调节器 102，用于根据调节控制信号分别对每个波长进行功率调节。

在本实施例中,上述第一功率放大器 101 和波长级别调节器 102 的连接顺序可以互换,即波长级别调节器 102 和第一功率放大器 101 依次连接。本申请对此不做限制。

在本实施例中,上述第一功率放大器 101 可以包括泵浦源和掺杂光纤,该泵浦源沿光信号传输方向设置于掺杂光纤的上游或下游,该泵浦源可以是一个或者多个。

190 在本实施例中,上述波长级别调节器 102 根据调节控制信号分别对每个波长进行功率调节,是指波长级别调节器通过对每个波长产生不同的插入损耗来实现对每个波长进行功率调节。即携带不同波长的光信号按照上述第一功率放大器的增益特性参数实现对应倍数的功率放大,波长级别调节器对不同波长的光信号产生不同的插损值,该插损值作用于第一功率放大器输出的每个波长光功率上,从而实现对每个波长进行功率调节的效果。

195 在本实施例中,上述控制器可以根据第一功率放大器的增益特性参数,波长级别调节器的调控特性参数,光纤放大器的目标输出光功率信息,以及光纤放大器的输入光信号,计算得到上述第一放大控制信号和调节控制信号。其中,第一功率放大器的增益特性参数可以为第一功率放大器对各波长的功率放大倍数;波长级别调节器的调控特性参数可以为各波长的插损与调节控制信号的关系参数。

200 可以理解,本实施例所公开的光纤放大器可以根据第一输入端所接收到的输入光信号,计算得到第一放大控制信号和调节控制信号,该第一放大控制信号可以控制上述第一功率放大器对每个波长进行功率放大,该调节控制信号可以控制波长级别调节器分别对每个波长进行插损调节,该插损调节的效果作用于光纤放大器的每个波长的光功率,从而实现了光纤放大器的增益曲线进行单波增益调节的效果,提高了对光纤放大器的增益曲线的调节精度。

205 因此,本实施例所公开的光纤放大器的增益曲线可以被调节为较为平坦,进而提高系统的平坦度,释放系统规格中设计的平坦余量,同时减少功率均衡器(dynamic gain equalizer, DGE) 站点。

210 目前将 GFF 内置于光纤放大器中来实现对光纤放大器的增益曲线进行调节的方案,其中 GFF 的插损调节范围较小,常常需要配合可调光衰减器(variable optical attenuator, VOA) 进行插损调节,才能达到目标输出光功率的要求。但是本申请实施例所公开的光纤放大器的波长级别调节器,其插损调节范围较大,可以取消原来配合使用的 VOA,独立对各个波长的光功率进行插损调节。

215 另外,由于本实施例所公开的光纤放大器可以实现单波增益调节的效果,因此当现网实现掉加波时,可以相应地控制某些波的插损值,有效地抑制了功率抖动。

220 作为一种可选的实施方式,上述控制器 103 包括:第一存储模块 1031 和第一计算模块 1032;该第一存储模块 1031,用于存储上述第一功率放大器的增益特性参数,上述波长级别调节器的调控特性参数和上述光纤放大器的目标输出光功率信息;上述第一计算模块 1032,用于根据上述存储模块的存储内容和上述光纤放大器的输入光信号,计算得到上述第一放大控制信号和上述调节控制信号。

图 2 为本申请实施例公开的一种控制器的结构示意图。其中,第一功率放大器的增益特性参数,可以为第一功率放大器对各波长的功率放大倍数;波长级别调节器的调控特性

参数，可以为各波长的插损与调节控制信号的关系参数，以含有 LCOS 芯片的波长级别调节器为例，其调控特性参数，可以是各波长信号的输出偏转角度和驱动电压之间的关系参数。

225 作为一种可选的实施方式，如图 3A 所示，图 3A 为本申请实施例公开的一种波长级别调节器的结构示意图。上述波长级别调节器 102 包括：色散模块 1021，波长级别插损调节模块 1022 和聚合模块 1023。该色散模块 1021，波长级别插损调节模块 1022 和聚合模块 1023 依次连接；上述色散模块 1021，用于对多波长的光信号进行空间分离；上述聚合模块 230 1023，用于对多波长的光信号进行空间聚合；上述波长级别插损调节模块 1022，用于根据上述调节控制信号分别对每个波长进行功率调节。

235 上述色散模块 1021 可以包括光栅、棱镜等具有色散特性的光学元件，对多波长的光信号进行空间分离，即将不同波长的光信号在空间上分离开，这样更有利于波长级别插损调节模块进行单波功率调节，上述聚合模块 1023 可以包括逆向设置的色散元件，对多波长的光信号进行空间聚合，即将不同波长的光信号在空间上聚合起。波长级别插损调节模块 1022，可以包括 LCOS 芯片，MEMS 元件或 LC 元件等可以通过控制信号控制其对各波长光功率损耗的元件。以 LCOS 芯片为例，在 LCOS 芯片上加载不同驱动电压，可以控制不同波长进行相应的角度旋转，从而使光信号的输出方向与接收端口形成一定角度偏离，从而实现不同波长不同插损的调节。

240 作为一种可选的实施方式，如图 3B 所示，图 3B 为本申请实施例公开的另一种波长级别调节器的结构示意图。相比于图 3A 所示的波长级别调节器 102，图中波长级别调节器 102' 还包括第一光束整形模块 1024' 和第二光束整形模块 1025'；该第一光束整形模块 1024'，色散模块 1021'，波长级别插损调节模块 1022'，聚合模块 1023' 和第二光束整形模块 1025' 依次连接；上述第一光束整形模块 1024' 和第二光束整形模块 1025'，用于光束聚焦和准直，245 可以包括透镜、棱镜等具有光束聚焦、准直功能的元件。

本申请的另一实施例公开了另一种光纤放大器。相较于图 1 所示的光纤放大器，上述控制器 103 不仅包括第一输入端 I1 控制输出端 O，还包括第二输入端 I2；第一输入端 I1 用于接收光纤放大器的输入光信号，第二输入端 I2 用于接收光纤放大器的输出光信号；

上述控制器 103 根据输入光信号，计算得到第一放大控制信号和调节控制信号；

250 上述控制器 103 在上述输出光信号的功率与目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的情况下，根据输出光信号，计算得到第二放大控制信号和二次调节控制信号；

控制输出端 O 用于输出第一放大控制信号或第二放大控制信号至上述第一功率放大器 101，输出调节控制信号或二次调节控制信号至上述波长级别调节器 102；

255 上述波长级别调节器 102，用于根据调节控制信号或二次调节控制信号分别对每个波长进行功率调节。

在本实施例中，上述第一功率放大器和波长级别调节器的连接顺序可以互换。

在本实施例中，上述控制器读取输入光信号，分析出输入光信号中各个波长的光功率，并结合存储在控制器中的第一功率放大器的增益特性参数，波长级别调节器的调控特性参数和光纤放大器的目标输出光功率信息，计算得到第一放大控制信号和调节控制信号。上

260 述第一功率放大器，根据第一放大控制信号对每个波长进行功率放大；上述波长级别调节器，根据调节控制信号分别对每个波长进行功率调节。

为了实现精准地调节光纤放大器的增益曲线，可以通过多次调节第一放大器和波长级别调解器的方式来实现。具体地，上述控制器 103 在上述输出光信号的功率与目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的情况下，读取光纤放大器的输出光信号，分析出  
265 输出光信号中各个波长的光功率，并结合第一功率放大器的增益特性参数，波长级别调节器的调控特性参数和光纤放大器的目标输出光功率信息，计算得到第二放大控制信号和二次调节控制信号。上述第一功率放大器 101，根据第二放大控制信号对每个波长再次进行功率放大；上述波长级别调节器 102，根据二次调节控制信号分别对每个再次波长进行功率调节。

270 与图 1 所示的光纤放大器相比，在本实施例所公开的光纤放大器的控制器上增加了第二输入端 I2，控制器可以在上述输出光信号的功率与目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的情况下，根据输出光信号中各个波长的光功率，计算得到第二放大控制信号和二次调节控制信号，该二次调节控制信号可以控制波长级别调节器对每个波长再次进行功率调节，直到上述输出光信号的功率和目标输出光功率的差值的绝对值小于二次计算  
275 阈值为止，使输出光信号的功率与目标输出光功率更接近，提高了光纤放大器的增益曲线的调节准确度。

作为一种可选的实施方式，上述控制器还可以包括，第一存储模块和第一计算模块。该第一存储模块与图 2 所示的第一存储模块 1031 的作用和存储内容相同；上述第一计算  
280 模块，除了完成图 2 所示的第一计算模块 1032 所要完成的工作之外，还用于在输出光信号的功率与目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的情况下，根据存储模块的存储内容和输出光信号，计算得到第二放大控制信号和二次调节控制信号。

本实施例中的波长级别调节器与上一实施例中的波长级别调节器 102 或 102' 相同，这里不做赘述。

图 4A 为本申请另一实施例公开的一种光纤放大器的结构示意图。由图可知，该光纤放  
285 大器 400 包括：第一功率放大器 401，第二功率放大器 403 和波长级别调节器 402 和控制器 404；该第一功率放大器 401，波长级别调节器 402 和第二功率放大器 403 依次连接；上述控制器 404 包括第一输入端 I1 和控制输出端 O，第一输入端 I1 用于接收光纤放大器的输入光信号，控制输出端 O 用于输出第一放大控制信号至上述第一功率放大器 401，输出第二放大控制信号至第二功率放大器 403，输出调节控制信号至上述波长级别调节器 402；  
290 上述波长级别调节器 402，用于根据调节控制信号分别对每个波长进行功率调节。

在本实施例中，上述第一功率放大器 401 和第二功率放大器 403 分别作为光纤放大器的前置放大器和功率放大器，可以包括泵浦源和掺杂光纤，该泵浦源沿光信号传输方向设置于掺杂光纤的上游或下游，该泵浦源可以是一个或者多个。

与图 1 所示的光纤放大器相比，在本实施例所公开的光纤放大器增加了第二功率放  
295 大器 403，上述控制器 404 可以根据第一功率放大器 401 和第二功率放大器 403 的增益特性参数，波长级别调节器 402 的调控特性参数，光纤放大器的目标输出光功率信息，以及光

纤放大器的输入光信号，计算得到上述第一放大控制信号，第二放大控制信号和调节控制信号，上述第一功率放大器 401 和第二功率放大器 403，分别根据第一放大控制信号和第二放大控制信号对每个波长进行功率放大，上述波长级别调节器 402，根据调节控制信号分别对每个波长进行功率调节。因此，第一功率放大器 401，波长级别调节器 402 和第二功率放大器 403 相互配合来实现对光纤放大器增益曲线的波长级别的调节。

作为一种可选的实施方式，上述控制器 404 包括第二存储模块 4041 和第二计算模块 4042；该第二存储模块 4041，除了存储有如图 2 所示的第一存储模块 1031 所存储的内容之外，还要存储第二功率放大器的增益特性参数；上述第二计算模块 4042，用于根据上述第二存储模块 4041 的存储内容和上述光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率，计算得到上述第一放大控制信号和上述调节控制信号。

作为一种可选的实施方式，如图 4B 所示，上述控制器 404' 还包括第二输入端 I2，该第二输入端 I2 用于接收光纤放大器的输出光信号；上述第二计算模块 4042'，还用于在输出光信号的功率与目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的情况下，根据存储模块的存储内容和输出光信号中各波长的光功率，计算得到第三次放大控制信号，第四次放大控制信号和二次调节控制信号；上述控制输出端 O，还用于输出第三放大控制信号至第一功率放大器 401'，输出第四放大控制信号至第二功率放大器 403'，输出二次调节控制信号至波长级别调节器 402'，上述波长级别调节器 402'，还用于根据二次调节控制信号分别对每个波长进行功率调节。

与图 4A 所示的光纤放大器相比，在本实施方式所公开的光纤放大器的控制器上增加了第二输入端 I2，控制器可以在上述输出光信号的功率与目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的情况下，根据输出光信号，计算得到第三次放大控制信号，第四次放大控制信号和二次调节控制信号，该二次调节控制信号可以控制波长级别调节器对每个波长再次进行功率调节，直到上述输出光信号的功率和目标输出光功率的差值的绝对值小于二次计算阈值为止，使输出光信号的功率与目标输出光功率更接近，提高了光纤放大器的增益曲线的调节准确度。

本实施例中的波长级别调节器与上一实施例中的波长级别调节器 102 或 102' 相同，这里不做赘述。

图 5 为本申请实施例公开的一种光纤放大器的增益调节方法。该方法应用于图 1 所示的光纤放大器，该方法包括：

501、接收光纤放大器的输入光信号。

502、根据上述光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率进行计算，得到第一放大控制信号和调节控制信号，该调节控制信号用于控制波长级别调节器分别对每个波长进行功率调节。

503、输出第一放大控制信号至第一功率放大器，输出调节控制信号至波长级别调节器。

在本实施例中，上述根据光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率进行计算，得到第一放大控制信号和调节控制信号，可以是根据第一功率放大器的增益特性参数，波长级别调节器的调控特性参数，光纤放大器的目标输出光功率信息，以及光纤放大器的输入光

335 信号，计算得到上述第一放大控制信号和调节控制信号。其中，第一功率放大器的增益特性参数，可以为第一功率放大器对各波长的功率放大倍数；波长级别调节器的调控特性参数，可以为各波长的插损与调节控制信号的关系参数。

在本实施例中，上述第一放大控制信号用于控制上述第一功率放大器对不同波长的光信号进行功率放大；调节控制信号用于控制上述波长级别调节器对不同波长的光功率实现不同的插损。

340 可以理解，本实施例所公开的增益调节方法可以根据第一输入端所接收到的输入光信号中各波长的光功率，计算得到第一放大控制信号和调节控制信号，该第一放大控制信号可以控制上述第一功率放大器对每个波长进行功率放大，该调节控制信号可以控制波长级别调节器分别对每个波长进行插损调节，该插损调节的效果作用于光纤放大器的每个波长的光功率，从而实现了光纤放大器的增益曲线进行单波增益调节的效果，提高了对光纤放大器的增益曲线的调节精度。

345 作为一种可选的实施方式，上述根据光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率进行计算，得到第一放大控制信号和调节控制信号，包括：根据第一功率放大器的增益特性参数，波长级别调节器的调控特性参数，光纤放大器的目标输出光功率，和光纤放大器的输入光信号，计算得到上述第一放大控制信号和调节控制信号。

350 上述第一功率放大器的增益特性参数和波长级别调节器的调控特性参数的具体解释，与图 1 所示的光纤放大器中的第一功率放大器的增益特性参数和波长级别调节器的调控特性参数的解释相同，这里不作赘述。

355 作为一种可选的实施方式，在上述输出第一放大控制信号至第一功率放大器，输出调节控制信号至波长级别调节器之后，上述方法还包括：接收光纤放大器的输出光信号；在输出光信号的功率与目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的情况下，根据第一功率放大器的增益特性参数，波长级别调节器的调控特性参数，光纤放大器的目标输出光功率，和输出光信号中各波长的光功率进行计算，得到第三放大控制信号和二次调节控制信号；输出第三放大控制信号至第一功率放大器，输出二次调节控制信号至波长级别调节器。

360 本实施方式的具体流程图如图 6 所示，

首先读取光纤放大器的输入光信号 601，分析该输入光信号中各波长的光功率；

再读取出的第一功率放大器的增益特性参数，波长级别调节器的调节参数以及目标输出光功率信息 602；

365 根据读取的内容计算出第一放大控制信号 603 和调节控制信号 604，输出第一放大控制信号至第一功率放大器 603，输出调节控制信号至波长级别调节器 604；

获取光纤放大器的输出光信号 605，分析该输出光信号中各波长的光功率；

为了实现精准地调节光纤放大器的增益曲线，可以通过多次调节第一放大器和波长级别调节器的方式来实现，因此，上述控制器在上述输出光信号的功率与目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的情况下 606，读取光纤放大器的输出光信号 607；

370 并结合第一功率放大器的增益特性参数，波长级别调节器的调控特性参数，光纤放大

器的目标输出光功率信息，计算得到第二放大控制信号 603 和二次调节控制信号 604。

上述第二放大控制信号控制第一功率放大器对每个波长再次进行功率放大；上述二次调节控制信号控制波长级别调节器分别对每个再次波长进行功率调节。

375 可以理解，在上述输出光信号的功率与目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的情况下，根据输出光信号中各波长的光功率，计算得到第二放大控制信号和二次调节控制信号，该二次调节控制信号可以控制波长级别调节器对每个波长再次进行功率调节，直到上述输出光信号的功率和目标输出光功率的差值的绝对值小于二次计算阈值为止，使输出光信号的功率与目标输出光功率更接近，提高了光纤放大器的增益曲线的调节准确度。

380 图 7 为本申请实施例公开的另一种光纤放大器的增益调节方法。该方法应用于图 4A 所示的光纤放大器，该方法包括：

701、接收光纤放大器的输入光信号。

702、根据上述光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率进行计算，得到第一放大控制信号，第二放大控制信号和调节控制信号，该调节控制信号用于控制波长级别调节器分别对每个波长进行功率调节。

385 703、输出第一放大控制信号至第一功率放大器，输出第二放大控制信号至第二功率放大器，输出调节控制信号至波长级别调节器。

本实施方式的具体实现方法与图 4A 所示的光纤放大器的调节实现方法相同。根据第一功率放大器和第二功率放大器的增益特性参数，波长级别调节器的调控特性参数，光纤放大器的目标输出光功率信息，以及光纤放大器的输入光信号，计算得到上述第一放大控制信号，第二放大控制信号和调节控制信号。

390 其中，第一放大控制信号，第二放大控制信号和调节控制信号相互配合，分别控制上述第一功率放大器和第二功率放大器对每个波长进行功率放大；上述调节控制信号控制上述波长级别调节器对每个波长进行功率调节。

395 作为一种可选的实施方式，上述根据光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率进行计算，得到第一放大控制信号和调节控制信号；上述根据光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率进行计算，得到第二放大控制信号，包括：根据第一功率放大器和第二功率放大器的增益特性参数，波长级别调节器的调控特性参数，光纤放大器的目标输出光功率，和光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率，计算得到第一放大控制信号，第二放大控制信号和调节控制信号。

400 上述第一功率放大器和第二功率放大器的增益特性参数和波长级别调节器的调控特性参数的具体解释，与图 4A 所示的光纤放大器中的第一功率放大器和第二功率放大器的增益特性参数和波长级别调节器的调控特性参数的解释相同，这里不作赘述。

405 作为一种可选的实施方式，在上述输出第一放大控制信号至第一功率放大器，输出调节控制信号至波长级别调节器，输出第二放大控制信号至第二功率放大器之后，上述方法还包括：接收光纤放大器的输出光信号；在输出光信号的功率与目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的情况下，根据第一功率放大器和第二功率放大器的增益特性参数，波长级别调节器的调控特性参数，光纤放大器的目标输出光功率，和输出光信号中各

波长的光功率，计算得到第三放大控制信号，第四放大控制信号和二次调节控制信号；输出上述第三放大控制信号至第一功率放大器，输出上述第四放大控制信号至第二功率放大器，输出上述二次调节控制信号至波长级别调节器。

本实施方式的具体实现方法与图 4B 所示的光纤放大器相同，这里不作赘述。

本领域普通技术人员可以意识到，结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤，能够以电子硬件、或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行，取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能，但是这种实现不应认为超出本申请的范围。

所属领域的技术人员可以清楚地了解到，为描述的方便和简洁，上述描述的系统、装置和单元的具体工作过程，可以参考前述方法实施例中的对应过程，在此不再赘述。

在本申请所提供的几个实施例中，应该理解到，所揭露的系统、装置和方法，可以通过其它的方式实现。例如，以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的，例如，所述单元的划分，仅仅为一种逻辑功能划分，实际实现时可以有另外的划分方式，例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统，或一些特征可以忽略，或不执行。另一点，所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口，装置或单元的间接耦合或通信连接，可以是电性，机械或其它的形式。

所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的，作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元，即可以位于一个地方，或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。另外，在本申请各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中，也可以是各个单元单独物理存在，也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。

在上述实施例中，可以通过软件、硬件、固件等组合来实现。当其中的控制器使用软件实现时，可以全部或部分地以计算机程序产品的形式实现。所述计算机程序产品包括一个或多个计算机指令。在计算机上加载和执行所述计算机程序指令时，全部或部分地产生按照本申请实施例所述的流程或功能。所述计算机可以是通用计算机、专用计算机、计算机网络、或者其他可编程装置。所述计算机指令可以存储在计算机可读存储介质中，或者通过所述计算机可读存储介质进行传输。所述计算机指令可以从一个网站站点、计算机、服务器或数据中心通过有线（例如同轴电缆、光纤、数字用户线（digital subscriber line, DSL））或无线（例如红外、无线、微波等）方式向另一个网站站点、计算机、服务器或数据中心进行传输。所述计算机可读存储介质可以是计算机能够存取的任何可用介质或者是包含一个或多个可用介质集成的服务器、数据中心等数据存储设备。所述可用介质可以是磁性介质，（例如，软盘、硬盘、磁带）、光介质（例如，数字通用光盘（digital versatile disc, DVD））、或者半导体介质（例如固态硬盘（solid state disk, SSD））等。

本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的涉及到控制器的全部或部分流程，该流程可以由计算机程序来指令相关的硬件完成，该程序可存储于计算机可读存储介质中，该程序在执行时，可包括如上述各方法实施例的流程。而前述的存储介质包括：

445 只读存储器 (read-only memory, ROM) 或随机存取存储器 (random access memory, RAM)、磁碟或者光盘等各种可存储程序代码的介质。

## 权 利 要 求

- 1、一种光纤放大器，其特征在于，包括：第一功率放大器，波长级别调节器和控制器；  
450 所述第一功率放大器和所述波长级别调节器连接；  
所述控制器包括第一输入端和控制输出端，所述第一输入端用于接收所述光纤放大器的输入光信号，所述控制输出端用于输出第一放大控制信号至所述第一功率放大器，输出调节控制信号至所述波长级别调节器；  
所述波长级别调节器，用于根据所述调节控制信号分别对每个波长进行功率调节。
- 455 2、根据权利要求 1 所述的光纤放大器，其特征在于，所述控制器包括：第一存储模块和第一计算模块；  
所述第一存储模块，用于存储所述第一功率放大器的增益特性参数，所述波长级别调节器的调控特性参数和所述光纤放大器的目标输出光功率信息；  
所述第一计算模块，用于根据所述存储模块的存储内容和所述光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率，计算得到所述第一放大控制信号和所述调节控制信号。
- 460 3、根据权利要求 2 所述的光纤放大器，其特征在于，所述控制器还包括第二输入端，所述第二输入端用于接收所述光纤放大器的输出光信号；  
所述第一计算模块，还用于在所述输出光信号的功率与所述目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的情况下，根据所述存储模块的存储内容和所述输出光信号中各波长的光功率，计算得到第二放大控制信号和二次调节控制信号；  
465 所述控制输出端，还用于输出所述第二放大控制信号至所述第一功率放大器，输出所述二次调节控制信号至所述波长级别调节器；  
所述波长级别调节器，还用于根据所述二次调节控制信号分别对每个波长进行功率调节。
- 470 4、根据权利要求 1 所述的光纤放大器，其特征在于，所述光纤放大器还包括第二功率放大器；所述第一功率放大器，所述波长级别调节器和所述第二功率放大器依次连接；  
所述控制输出端，还用于输出第二放大控制信号至所述第二功率放大器。
- 5、根据权利要求 4 所述的光纤放大器，其特征在于，  
所述控制器包括：第二存储模块和第二计算模块；  
475 所述第二存储模块，用于存储所述第一功率放大器和所述第二功率放大器的增益特性参数，所述波长级别调节器的调控特性参数和所述光纤放大器的目标输出光功率；  
所述第二计算模块，用于根据所述存储模块的存储内容和所述光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率，计算得到所述第一放大控制信号，第二放大控制信号和所述调节控制信号。
- 480 6、根据权利要求 5 所述的光纤放大器，其特征在于，所述控制器还包括第二输入端，所述第二输入端用于接收所述光纤放大器的输出光信号；  
所述第二计算模块，还用于在所述输出光信号的功率与所述目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的情况下，根据所述存储模块的存储内容和所述输出光信号中各波长的光功率，计算得到第三次放大控制信号，第四次放大控制信号和二次调节控制信号；

485 所述控制输出端，还用于输出所述第三放大控制信号至所述第一功率放大器，输出所述第四放大控制信号至所述第二功率放大器，输出所述二次调节控制信号至所述波长级别调节器；

所述波长级别调节器，还用于根据所述二次调节控制信号分别对每个波长进行功率调节。

490 7、根据权利要求 1 至 6 任一项所述的光纤放大器，其特征在于，所述波长级别调节器包括：色散模块，波长级别插损调节模块和聚合模块；所述色散模块，所述波长级别插损调节模块和所述聚合模块依次连接；

所述色散模块，用于对多波长的光信号进行空间分离；

所述聚合模块，用于对多波长的光信号进行空间聚合；

495 所述波长级别插损调节模块，用于根据所述调节控制信号分别对每个波长进行功率调节。

8、根据权利要求 7 所述的光纤放大器，其特征在于，所述波长级别插损调节模块为硅基液晶 LCOS 芯片，微机电 MEMS 元件或液晶 LC 元件。

500 9、根据权利要求 7 所述的光纤放大器，其特征在于，所述波长级别调节器还包括第一光束整形模块和第二光束整形模块；所述第一光束整形模块，所述色散模块，所述波长级别插损调节模块，所述聚合模块和所述第二光束整形模块依次连接；

所述第一光束整形模块和所述第二光束整形模块，用于光束聚焦和准直。

10、一种光纤放大器的增益调节方法，所述方法应用于权利要求 1 至 9 任一项所述的光纤放大器，其特征在于，所述方法包括：

505 接收所述光纤放大器的输入光信号；

根据所述光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率进行计算，得到第一放大控制信号和调节控制信号，所述调节控制信号用于控制所述波长级别调节器分别对每个波长进行功率调节；

510 输出所述第一放大控制信号至所述第一功率放大器，输出调节控制信号至所述波长级别调节器。

11、根据权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述根据所述光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率进行计算，得到第一放大控制信号和调节控制信号，包括：

515 根据所述第一功率放大器的增益特性参数，所述波长级别调节器的调控特性参数，所述光纤放大器的目标输出光功率，和所述光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率，计算得到所述第一放大控制信号和所述调节控制信号。

12、根据权利要求 11 所述的方法，其特征在于，在所述输出所述第一放大控制信号至所述第一功率放大器，输出调节控制信号至所述波长级别调节器之后，所述方法还包括：

接收所述光纤放大器的输出光信号；

520 在所述输出光信号的功率与所述目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的情况下，根据所述第一功率放大器的增益特性参数，所述波长级别调节器的调控特性参数，所述光纤放大器的目标输出光功率和所述输出光信号中各波长的光功率进行计算，得到第

二放大控制信号和二次调节控制信号；

输出所述第二放大控制信号至所述第一功率放大器，输出所述二次调节控制信号至所述波长级别调节器。

525 13、根据权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：

根据所述光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率进行计算，得到第二放大控制信号；

输出所述第二放大控制信号至所述第二功率放大器。

530 14、根据权利要求 13 所述的方法，其特征在于，所述根据所述光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率进行计算，得到第一放大控制信号和调节控制信号；所述根据所述光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率进行计算，得到第二放大控制信号，包括：

根据所述第一功率放大器和所述第二功率放大器的增益特性参数，所述波长级别调节器的调控特性参数，所述光纤放大器的目标输出光功率和所述光纤放大器的输入光信号中各波长的光功率，计算得到所述第一放大控制信号，所述第二放大控制信号和所述调节控制信号。

535 15、根据权利要求 14 所述的方法，其特征在于，在所述输出所述第一放大控制信号至所述第一功率放大器，输出调节控制信号至所述波长级别调节器，输出所述第二放大控制信号至所述第二功率放大器之后，所述方法还包括：

接收所述光纤放大器的输出光信号；

540 在所述输出光信号的功率与所述目标输出光功率的差值的绝对值大于二次计算阈值的情况下，根据所述第一功率放大器和所述第二功率放大器的增益特性参数，所述波长级别调节器的调控特性参数，所述光纤放大器的目标输出光功率，和所述输出光信号中各波长的光功率，计算得到第三放大控制信号，第四放大控制信号和二次调节控制信号；

545 输出所述第三放大控制信号至所述第一功率放大器，输出所述第四放大控制信号至所述第二功率放大器，输出所述二次调节控制信号至所述波长级别调节器。

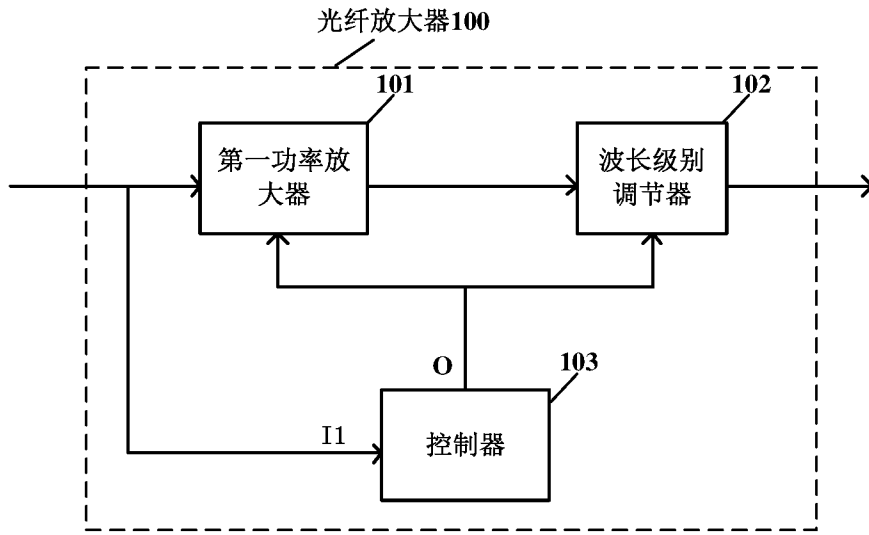


图 1

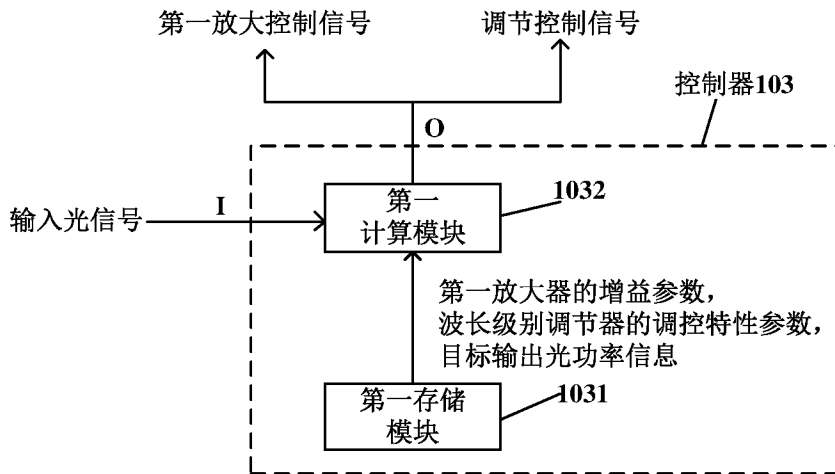


图 2

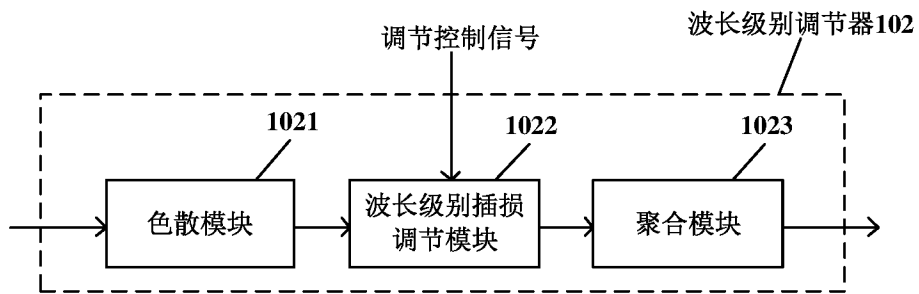


图 3A

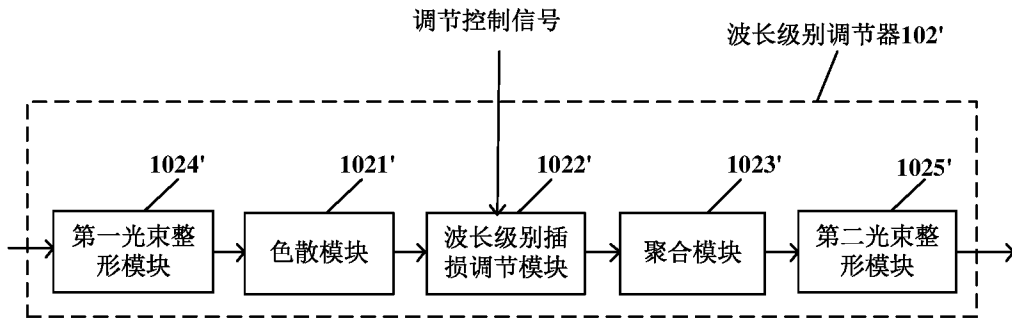


图 3B

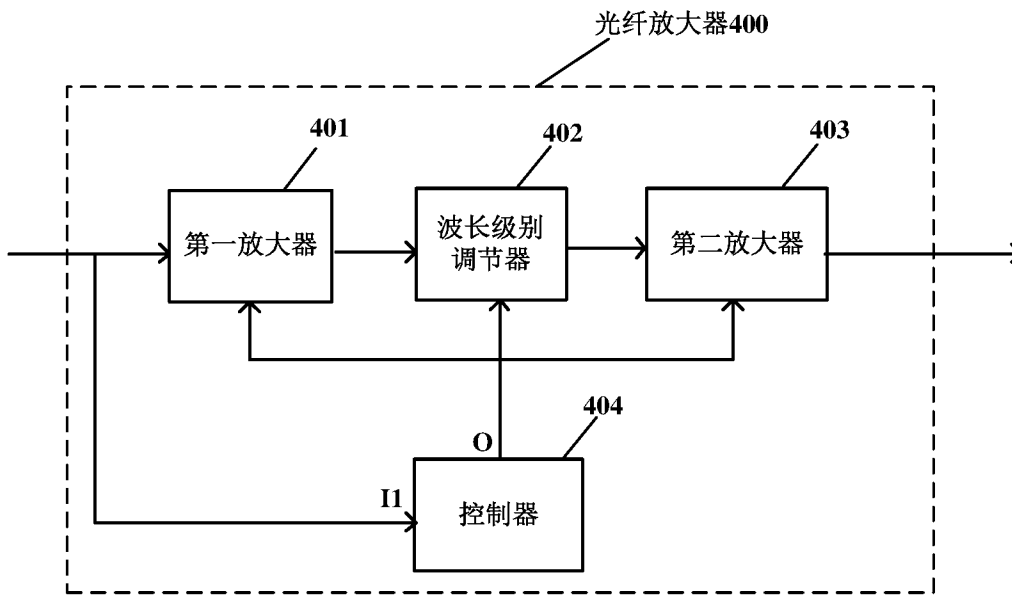


图 4A

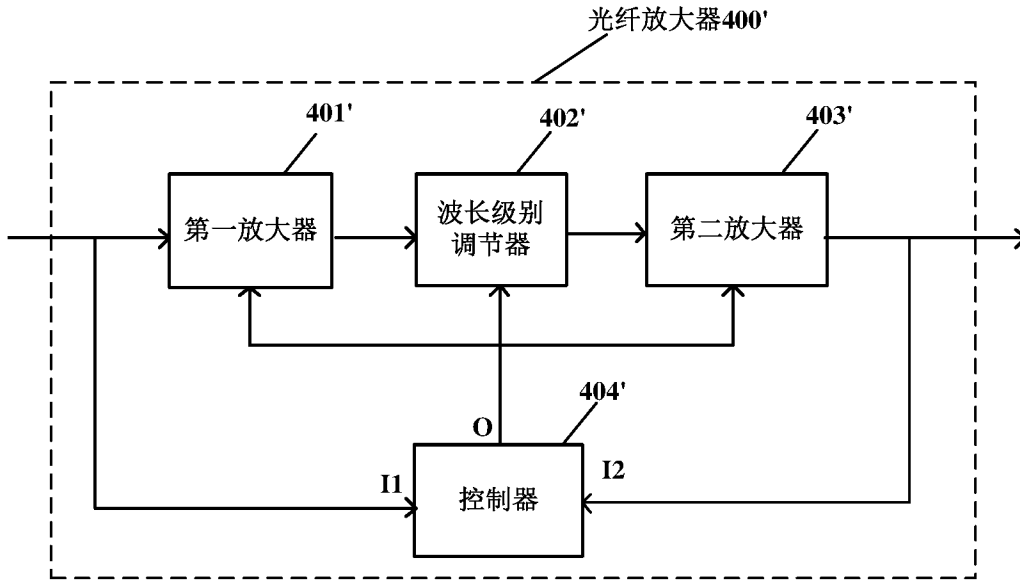


图 4B

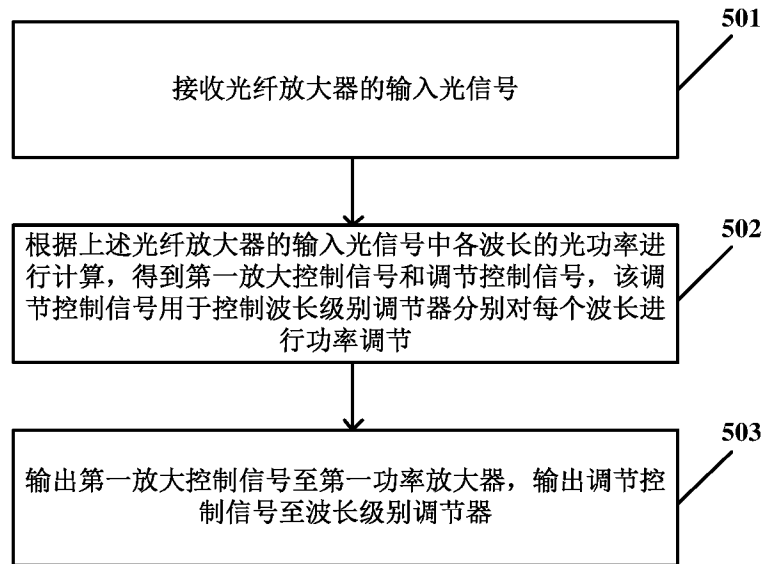


图 5

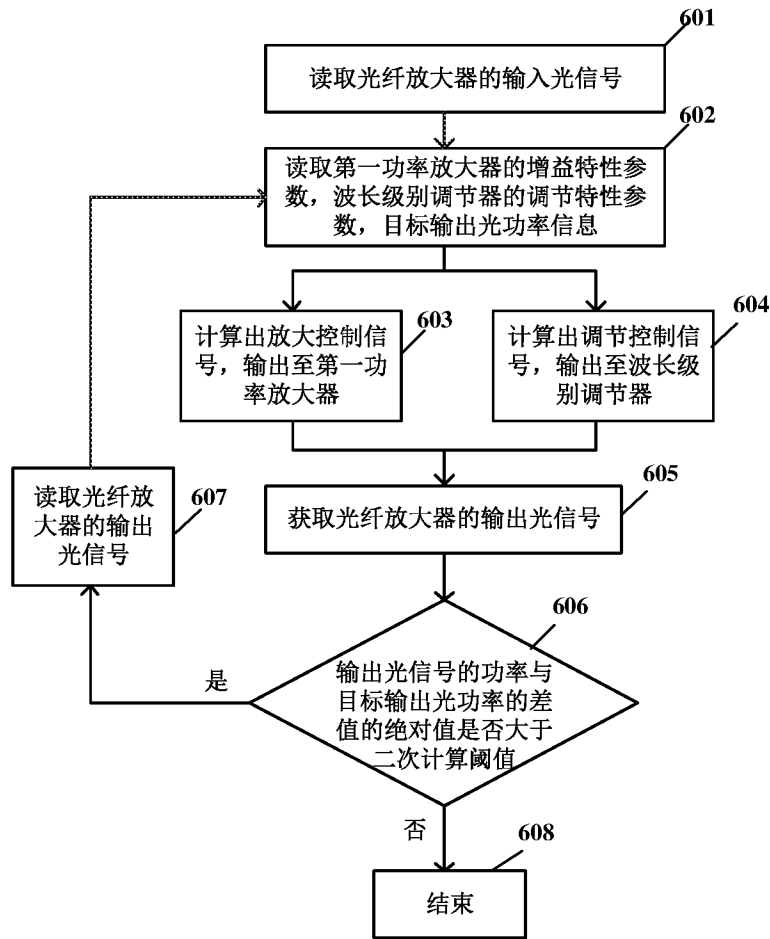


图 6

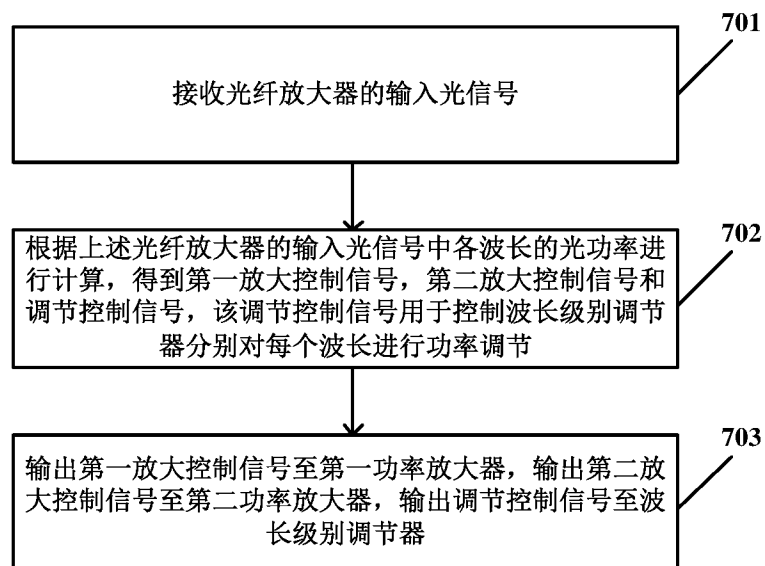


图 7

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/078639

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
H04B 10/294(2013.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
H04B; G02F		
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)		
CNPAT; WPI; EPODOC; CNKI: 波长, 增益, 功率, 放大, 光纤, 阈值, 平坦, 插损, wave, length, power, gain, amplifier, threshold, flatten		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 1276924 A (KOREA ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY ET AL.) 13 December 2000 (2000-12-13) description, pages 5 and 6, and figures 8 and 9	1, 2, 4, 5, 10, 11, 13, 14
A	CN 101414731 A (JDS UNIPHASE CORPORATION) 22 April 2009 (2009-04-22) entire document	1-15
A	CN 102857301 A (O-NET TECHNOLOGIES (SHENZHEN) CO., LTD.) 02 January 2013 (2013-01-02) entire document	1-15
A	US 2002027704 A1 (KOBAYASHI, TAIKI ET AL.) 07 March 2002 (2002-03-07) entire document	1-15
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "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) "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 "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 "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 "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 "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
13 September 2018		08 October 2018
Name and mailing address of the ISA/CN		Authorized officer
State Intellectual Property Office of the P. R. China (ISA/ CN) No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088 China		
Facsimile No. (86-10)62019451		Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/CN2018/078639**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	1276924	A	13 December 2000	WO	0004613	A1	27 January 2000
				EP	1018195	B1	08 October 2008
				CN	100392927	C	04 June 2008
				CA	2303092	C	08 February 2005
				KR	20000008448	A	07 February 2000
				EP	2037548	A3	15 April 2009
				JP	2002520888	A	09 July 2002
				EP	2037548	A2	18 March 2009
				DE	69840103	D1	20 November 2008
				EP	1018195	A1	12 July 2000
				CA	2303092	A1	27 January 2000
				KR	328291	B	08 August 2002
				US	2002071173	A1	13 June 2002
				US	6728026	B2	27 April 2004
				CN	101414731	A	22 April 2009
US	7969647	B2	28 June 2011				
CN	101414731	B	30 May 2012				
US	2011292497	A1	01 December 2011				
US	8995048	B2	31 March 2015				
CN	102857301	A	02 January 2013	CN	102857301	B	20 May 2015
US	2002027704	A1	07 March 2002	JP	2000269578	A	29 September 2000
				US	6373625	B1	16 April 2002

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/078639

<p><b>A. 主题的分类</b></p> <p>H04B 10/294(2013.01) i</p> <p>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</p>																	
<p><b>B. 检索领域</b></p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>H04B; G02F</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>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))</p> <p>CNPAT; WPI; EPODOC; CNKI: 波长, 增益, 功率, 放大, 光纤, 阈值, 平坦, 插损, wave, length, power, gain, amplifier, threshold, flatten</p>																	
<p><b>C. 相关文件</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 1276924 A (韩国科学技术院 等) 2000年 12月 13日 (2000 - 12 - 13) 说明书第5-6页、图8-9</td> <td>1-2, 4-5, 10-11, 13-14</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101414731 A (JDS尤尼弗思公司) 2009年 4月 22日 (2009 - 04 - 22) 全文</td> <td>1-15</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102857301 A (昂纳信息技术深圳有限公司) 2013年 1月 2日 (2013 - 01 - 02) 全文</td> <td>1-15</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2002027704 A1 (KOBAYASHI, TAIKI 等) 2002年 3月 7日 (2002 - 03 - 07) 全文</td> <td>1-15</td> </tr> </tbody> </table>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	CN 1276924 A (韩国科学技术院 等) 2000年 12月 13日 (2000 - 12 - 13) 说明书第5-6页、图8-9	1-2, 4-5, 10-11, 13-14	A	CN 101414731 A (JDS尤尼弗思公司) 2009年 4月 22日 (2009 - 04 - 22) 全文	1-15	A	CN 102857301 A (昂纳信息技术深圳有限公司) 2013年 1月 2日 (2013 - 01 - 02) 全文	1-15	A	US 2002027704 A1 (KOBAYASHI, TAIKI 等) 2002年 3月 7日 (2002 - 03 - 07) 全文	1-15
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求															
X	CN 1276924 A (韩国科学技术院 等) 2000年 12月 13日 (2000 - 12 - 13) 说明书第5-6页、图8-9	1-2, 4-5, 10-11, 13-14															
A	CN 101414731 A (JDS尤尼弗思公司) 2009年 4月 22日 (2009 - 04 - 22) 全文	1-15															
A	CN 102857301 A (昂纳信息技术深圳有限公司) 2013年 1月 2日 (2013 - 01 - 02) 全文	1-15															
A	US 2002027704 A1 (KOBAYASHI, TAIKI 等) 2002年 3月 7日 (2002 - 03 - 07) 全文	1-15															
<p><input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p>																	
<p>* 引用文件的具体类型:</p> <p>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件</p> <p>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利</p> <p>“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)</p> <p>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&amp;” 同族专利的文件</p>																	
<p>国际检索实际完成的日期</p> <p>2018年 9月 13日</p>		<p>国际检索报告邮寄日期</p> <p>2018年 10月 8日</p>															
<p>ISA/CN的名称和邮寄地址</p> <p>中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088</p> <p>传真号 (86-10)62019451</p>		<p>受权官员</p> <p>段文婷</p> <p>电话号码 86-(10)-53961499</p>															

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/078639

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	1276924	A	2000年 12月 13日	WO	0004613	A1	2000年 1月 27日
				EP	1018195	B1	2008年 10月 8日
				CN	100392927	C	2008年 6月 4日
				CA	2303092	C	2005年 2月 8日
				KR	20000008448	A	2000年 2月 7日
				EP	2037548	A3	2009年 4月 15日
				JP	2002520888	A	2002年 7月 9日
				EP	2037548	A2	2009年 3月 18日
				DE	69840103	D1	2008年 11月 20日
				EP	1018195	A1	2000年 7月 12日
				CA	2303092	A1	2000年 1月 27日
				KR	328291	B	2002年 8月 8日
				US	2002071173	A1	2002年 6月 13日
				US	6728026	B2	2004年 4月 27日
CN	101414731	A	2009年 4月 22日	US	2009091819	A1	2009年 4月 9日
				US	7969647	B2	2011年 6月 28日
				CN	101414731	B	2012年 5月 30日
				US	2011292497	A1	2011年 12月 1日
				US	8995048	B2	2015年 3月 31日
CN	102857301	A	2013年 1月 2日	CN	102857301	B	2015年 5月 20日
US	2002027704	A1	2002年 3月 7日	JP	2000269578	A	2000年 9月 29日
				US	6373625	B1	2002年 4月 16日