

(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  
2015年11月19日 (19.11.2015)



(10) 国际公布号  
WO 2015/172328 A1

- (51) 国际专利分类号:  
H04B 10/29 (2013.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2014/077443
- (22) 国际申请日: 2014年5月14日 (14.05.2014)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (71) 申请人: 华为海洋网络有限公司 (HUAWEI MARINE NETWORKS CO., LTD.) [CN/CN]; 中国天津市经济技术开发区第三大街金融街 W3 栋 5-6 层, Tianjin 300457 (CN)。
- (72) 发明人: 张文斗 (ZHANG, Wendou); 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: 深圳市深佳知识产权代理事务所 (普通合伙) (SHENPAT INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY); 中国广东省深圳市国贸大厦 15 楼西座 1521 室, Guangdong 518014 (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, 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, 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。
- (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, 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))。

(54) Title: OPTICAL REPEATER AND OPTICAL FIBER COMMUNICATION SYSTEM

(54) 发明名称: 一种光中继器, 及光纤通信系统

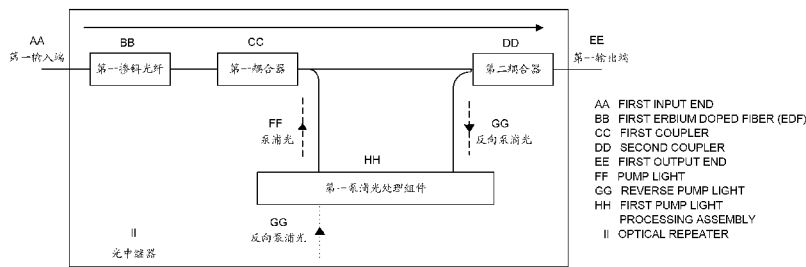
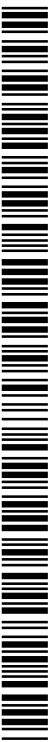


图 2 / FIG. 2

(57) Abstract: Disclosed in an embodiment of the present invention are an optical repeater and optical fiber communication system, the implementation solution of the optical repeater comprising: a first input end of the optical repeater, a first output end of the optical repeater, a first erbium doped fiber (EDF), a first coupler, a second coupler and a first pump light processing assembly; the first input end of the optical repeater is connected to the input end of the first EDF; the output end of the first EDF is connected to the input end of the first coupler; the first output end of the first coupler is connected to the first input end of the second coupler; the output end of the second coupler is connected to the first output end of the optical repeater; the input end of the first pump light processing assembly is connected to the second input end of the second coupler; and the output end of the first pump light processing assembly is connected to the second output end of the first coupler. The above solution enables reverse pump light to enter when all pump light of a local terminal becomes invalid, thus improving the reliability of the optical fiber communication system.

(57) 摘要: 本发明实施例公开了一种光中继器, 及光纤通信系统, 其中光中继器的实现方案包括: 光中继器的第一输入端、光中继器的第一输出端、第一掺铒光纤、第一耦合器, 第二耦合器以及第一泵浦光处理组件; 所述光中继器的第一输入端连接所述第一掺铒光纤的输入端、所述第一掺铒光纤的输出端连接所述第一耦合器的输入端, 所述第一耦合器的第一输出端连接所述第二耦合器的第一输入端, 所述第二耦合器的输出端连接所述光中继器的第一输出端; 第一泵浦光处理组件的输入端连接所述第二耦合器的第二输入端; 所述第一泵浦光处理组件的输出端连接所述第一耦合器的第二输出端; 以上方案在本端泵浦光全部失效时, 仍有反向泵浦光进入, 可以提高光纤通信系统的可靠性。



WO 2015/172328 A1

## 一种光中继器，及光纤通信系统

### 技术领域

本发明涉及通信技术领域，特别涉及一种光中继器，及光纤通信系统。

5

### 背景技术

自 1996 年的海缆项目第一次采用掺铒光纤放大器 (Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA) 用于海缆光中继器，开创了海缆光中继技术的新时代。相对传统再生型光中继器大大简化了设计并提高了系统可靠性。然而掺铒光纤放大器的引入也带来了新的问题，即自发辐射噪声的积累导致光信噪比 (Optical Signal Noise Ratio, OSNR) 的下降。有中继海缆系统中通常采用等跨段的中继距离，光中继器增益刚好补偿跨段光纤损耗，收端信号的光信噪比可采用如下公式计算得到。

$$OSNR(dB) = 58 - 10 \log \left( \sum_{i=1}^N \frac{NF_i}{P_i^{in}} \right)$$

15 其中  $NF_i$  表示第  $i$  个光中继器的噪声系数 (线性值)， $P_i^{in}$  表示第  $i$  个光中继器的单波输入功率 (线性值)， $N$  为光中继器个数。从如上公式可以看出信号光 OSNR 由每一级光中继器的噪声系数以及每一级光中继器信号光输入功率决定的。

20 依据上述公式可以得到：当光中继器都正常时，每个光中继器的噪声系数和单波输入功率都是相同的，每个光中继器对系统 OSNR 积累的贡献也是相同的；如果当系统中的一个光中继器故障而使得其输出功率下降，则导致其下游相邻的光中继器输入功率降低而引入更多的自发辐射噪声积累；如果当系统中一个光中继器彻底失去泵浦功率时，光中继器中的掺铒光纤 (Erbium Doped Fiber, EDF) 对信号还会产生显著的吸收损耗，使得其下游相邻的光中继器输入功率降低很多，导致系统 OSNR 急剧劣化。为了使光中继器维持足够高的信号输入功率，抑制自发辐射噪声的过度积累，避免光信噪比的严重劣化，通常中继器采用两个泵浦冗余备份，其中一个泵浦失效也能维持足够高的输出功率，使得下游光中继器输入功率下降不是非常显著，光信噪比不会显著劣化。

25

业界也有中继器设计采用 4 个泵浦冗余备份, 此时其中 3 个泵浦失效也能维持系统业务不会中断。然而当一个纤对所有的泵浦失效, 或者光中继器供电单元失效, 以上方案会导致系统 OSNR 急剧劣化, 甚至业务中断。

另一方面, 随着海缆承载信号传输信号速率向 100Gb/s 以上发展, 高阶调制格式, 如 8 正交振幅调制 (8 Quadrature Amplitude Modulation, 8QAM)、16 正交振幅调制 (Quadrature Amplitude Modulation, 16QAM) 要求更高的光信噪比, 限制了系统的传输距离。分布式喇曼放大技术可以提供更低的噪声系数来改善系统 OSNR, 但是由于功耗大、工作点接近线性区不利于故障容忍等因素限制使得水下光中继器产品化困难。反向分布式喇曼放大器和掺铒光纤放大器 (Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA) 混合放大作为一种折中方案有利于降低噪声系数, 同时也不至于功耗增加太多, 是水下光中继器的发展技术趋势。然而分布式喇曼放大器与 EDFA 混合放大的光中继器仍然存在上述基于 EDFA 技术的光中继器所存在的技术不足问题, 当 EDFA 泵浦失效时 EDF 会对信号产生吸收损耗, 使得业务信号光信噪比劣化。

海缆通信系统水下的故障维修通常需要调用专用的海缆维修施工船只, 维修周期平均需要 2 周左右, 而且绝大部分时间耗费在备件运输和出海航行。系统故障期间导致业务中断的经济损失非常巨大, 因此需要海缆光中继器有极高的可靠性。但是, 当光中继器中 EDFA 泵浦失效时 EDF 会对信号产生吸收损耗, 使得业务信号 OSNR 急剧劣化, 甚至业务中断, 因此可靠性较低。

20

## 发明内容

本发明实施例提供了一种光中继器, 及光纤通信系统, 用于提高光纤通信系统的可靠性。

本发明实施例一方面提供了一种光中继器, 包括:

光中继器的第一输入端、光中继器的第一输出端、第一掺铒光纤、第一耦合器, 第二耦合器以及第一泵浦光处理组件;

所述光中继器的第一输入端连接所述第一掺铒光纤的输入端、所述第一掺铒光纤的输出端连接所述第一耦合器的输入端, 所述第一耦合器的第一输出端连接所述第二耦合器的第一输入端, 所述第二耦合器的输出端连接所述光中继

器的第一输出端; 第一泵浦光处理组件的输入端连接所述第二耦合器的第二输入端; 所述第一泵浦光处理组件的输出端连接所述第一耦合器的第二输出端;

反向泵浦光从第一输出端进入所述光中继器, 经第二耦合器的输出端进入所述第二耦合器, 第二耦合器耦合出进入所述第二耦合器的反向泵浦光, 并经  
5 所述第二耦合器的第二输入端发送至所述第一泵浦光处理组件的输入端;

信号光从所述光中继器的第一输入端进入所述光中继器, 依次经过所述第一掺铒光纤、第一耦合器以及第二耦合器, 最后经所述光中继器的第一输出端  
10 传出所述光中继器;

第一泵浦光处理组件的输出端向所述第一耦合器的第二输出端发送泵浦光; 所述泵浦光包含所述第一泵浦光处理组件自身产生的本端泵浦光和/或所述  
15 反向泵浦光; 第一耦合器将所述第一耦合器的第二输出端接收到的泵浦光, 经所述第一耦合器的输入端发往所述第一掺铒光纤的输出端, 从所述第一掺铒  
光纤的输出端进入所述第一掺铒光纤。

结合一方面的实现方式, 在第一种可能的实现方式中, 所述光中继器, 还  
15 包括: 第三耦合器; 所述第一泵浦光处理组件的输出端包括: 所述第一泵浦光  
处理组件的第一输出端和所述第一泵浦光处理组件的第二输出端;

所述第三耦合器的输入端连接所述光中继器的第一输入端, 所述第三耦合  
20 器的第一输出端连接所述第一掺铒光纤的输入端; 所述第三耦合器的第二输  
出端连接所述第一泵浦光处理组件的第二输出端; 所述第一耦合器的第二输  
出端连接所述第一泵浦光处理组件的第一输出端;

所述第一泵浦光处理组件的第二输出端向所述第三耦合器的第二输出端  
发送泵浦光; 所述第三耦合器将所述第三耦合器的第二输出端接收到的泵浦光  
25 从所述第三耦合器的输入端发往所述光中继器的第一输入端;

所述第一泵浦光处理组件的第一输出端向所述第一耦合器的第二输出端  
30 发送泵浦光; 第一耦合器将所述第一耦合器的第二输出端接收到的泵浦光, 经  
所述第一耦合器的输入端发往所述第一掺铒光纤的输出端。

结合一方面的第一种可能的实现方式, 在第二种可能的实现方式中, 所述  
光中继器, 还包括: 第六耦合器; 所述第一泵浦光处理组件的输出端还包括:  
35 所述第一泵浦光处理组件的第三输出端;

所述第六耦合器位于所述第三耦合器与所述第一掺铒光纤之间的信号光的光路中；所述第三耦合器的第一输出端连接所述第六耦合器的第一输入端，所述第一泵浦光处理组件的第三输出端连接所述第六耦合器的第二输入端，所述第六耦合器的输出端连接所述第一掺铒光纤的输入端；

- 5 所述第一泵浦光处理组件的第三输出端向所述第六耦合器的第二输入端发送泵浦光；第六耦合器将所述第六耦合器的第二输入端接收到的泵浦光，经所述第六耦合器的输出端发往所述第一掺铒光纤的输入端。

结合一方面的实现方式，在第三种可能的实现方式中，所述光中继器，还包括：第四耦合器、光隔离器以及第五耦合器；

- 10 所述第四耦合器、光隔离器以及第五耦合器依次连接于所述光中继器与所述第一掺铒光纤之间的信号光的光路中；所述第五耦合器的输入端与所述光中继器的第一输入端连接，所述第五耦合器的第一输出端与所述光隔离器的输入端连接，所述光隔离器的输出端与所述第四耦合器的第一输入端连接，所述第五耦合器的第二输出端与所述第四耦合器的第二输入端连接；

- 15 进入所述第一掺铒光纤的泵浦光对经所述第一掺铒光纤的信号光进行放大之后，进入所述第一掺铒光纤的泵浦的残余泵浦光经所述第一掺铒光纤的输出端发往所述第四耦合器的输出端，第四耦合器将所述第四耦合器的输出端接收到的残余泵浦光经所述第四耦合器的第二输入端发往所述第五耦合器的第二输出端，所述第五耦合器将所述第五耦合器的输出端接收到的残余泵浦光经  
20 所述第五耦合器的输入端发往所述光中继器的第一输入端。

结合一方面的实现方式，一方面的第一种、第二种或者第三种可能的实现方式，在第四种可能的实现方式中，所述第一泵浦光处理组件的输入端包括：所述第一泵浦光处理组件的第一输入端和所述第一泵浦光处理组件的第二输入端；

- 25 所述第一泵浦光处理组件的第一输入端为所述第一泵浦光处理组件与所述第二耦合器的第二输入端连接的端口；所述第一泵浦光处理组件的第二输入端接收来自与所述信号光相对一侧信号光的光路的反向泵浦光。

结合一方面的实现方式，一方面的第一种、第二种或者第三种可能的实现方式，在第五种可能的实现方式中，若所述第一泵浦光处理组件的输入端包括：

所述第一泵浦光处理组件的第一输入端和所述第一泵浦光处理组件的第二输入端;所述第一泵浦光处理组件的第一输入端为所述第一泵浦光处理组件与所述第二耦合器的第二输入端连接的端口;所述第一泵浦光处理组件的第二输入端接收来自与所述信号光相对一侧信号光的光路的反向泵浦光;

5 所述第一泵浦光处理组件包括:第一泵浦源,第一偏振合束器、第十耦合器、第十一耦合器;

第一泵浦源的输出端连接所述第一偏振合束器的输入端,第一偏振合束器的输出端连接所述第十耦合器的第一输入端,所述第十耦合器的第一输出端作为所述第一泵浦光处理组件的输出端;

10 第十一耦合器的第一输入端作为所述第一泵浦光处理组件的第一输入端,所述第十一耦合器的第二输入端作为所述第一泵浦光处理组件的第二输入端,所述第十一耦合器的第一输出端与所述第十耦合器的第二输入端连接;

15 所述第一泵浦源产生本端泵浦光并将所述本端泵浦光发送到所述第一偏振合束器的输入端,所述第一偏振合束器将所述第一偏振合束器的输入端进入的本端泵浦光经所述第一偏振合束器的输出端,发往所述第十耦合器的第一输入端;所述第十一耦合器将从所述第十一耦合器的第一输入端进入的反向泵浦光以及从所述第十一耦合器的第二输入端进入的反向泵浦光耦合,并将耦合得到的部分反向泵浦光在所述第十一耦合器的第一输出端发往所述第十耦合器的第二输入端;所述第十耦合器将从所述第十耦合器的第一输入端进入的本端  
20 泵浦光以及从所述第十耦合器的第二输入端进入的反向泵浦光进行耦合,并将耦合得到的部分泵浦光从所述第十耦合器的第一输出端输出。

结合一方面的第二种可能的实现方式,在第六种可能的实现方式中,所述第一泵浦光处理组件包括:

第二泵浦源、第三泵浦源、第十二耦合器、第十三耦合器;

25 所述第二泵浦源的输出端与所述第十二耦合器的输入端连接,所述第十二耦合器的第一输出端作为所述第一泵浦光处理组件的第二输出端;所述第三泵浦源的输出端与所述第十三耦合器的输入端连接,所述第十三耦合器的第一输出端作为所述第一泵浦光处理组件的第三输出端;

第二泵浦源产生第一本端泵浦光,并经所述第二泵浦源的输出端将所述第

一本端泵浦光发送至所述第十二耦合器的输入端,所述第十二耦合器将所述第十二耦合器的输入端进入的第一本端泵浦光进行耦合,并将耦合得到的部分第一本端泵浦光在所述第十二耦合器的第一输出端输出;

5 第三泵浦源产生第二本端泵浦光,并经所述第三泵浦源的输出端将所述第二本端泵浦光发送至所述第十三耦合器的输入端,所述第十三耦合器将所述第十三耦合器的输入端进入的第二本端泵浦光进行耦合,并将耦合得到的部分第二本端泵浦光在所述第十三耦合器的第一输出端输出;

10 来自第二耦合器的第二输出端的反向泵浦光从所述第一泵浦光处理组件的输入端进入,并直接从所述第一泵浦光处理组件的第一输出端输出至所述第一耦合器的第二输出端;

15 若所述第一泵浦光处理组件的输入端包括:所述第一泵浦光处理组件的第一输入端和所述第一泵浦光处理组件的第二输入端;所述第一泵浦光处理组件的第一输入端为所述第一泵浦光处理组件与所述第二耦合器的第二输入端连接的端口;所述第一泵浦光处理组件的第二输入端接收来自与所述信号光相对一侧信号光的光路的反向泵浦光,所述来自与所述信号光相对一侧信号光的光路的反向泵浦光直接从所述第一泵浦光处理组件的第一输出端输出至所述第一耦合器的第二输出端。

20 结合一方面的第六种可能的实现方式,在第七种可能的实现方式中,若所述第一泵浦光处理组件的输入端包括:所述第一泵浦光处理组件的第一输入端和所述第一泵浦光处理组件的第二输入端;所述第一泵浦光处理组件还包括:第十四耦合器;

25 所述第十四耦合器的第一输入端与作为所述第一泵浦光处理组件的第一输入端,所述第十四耦合器的第二输入端与作为所述第一泵浦光处理组件的第二输入端,所述第十四耦合器的第一输出端作为所述第一泵浦光处理组件的第一输出端;

所述第十四耦合器将进入所述第十四耦合器的第一输入端的来自所述第二耦合器的反向泵浦光,以及进入所述第十四耦合器的第二输入端的来自与所述信号光相对一侧信号光的光路的反向泵浦光进行耦合,并将耦合得到的部分反向泵浦光从所述第十四耦合器的第一输出端发往所述第一耦合器的第二输

出端。

结合一方面的实现方式，一方面的第一种、第二种或者第三种可能的实现方式，在第八种可能的实现方式中，所述第二耦合器为第一环形器；所述第一环形器为：按照第一端口、第二端口以及第三端口顺序连接的环形器；

5 所述第一环形器的第一端口为所述第二耦合器的第一输入端，所述第一环形器的第二端口为所述第二耦合器的输出端，所述第一环形器的第三端口为所述第二耦合器的第二输入端。

结合一方面的第一种、第二种或者第三种可能的实现方式，在第九种可能的实现方式中，所述第三耦合器为第二环形器；所述第二环形器为：按照第一端口、第二端口以及第三端口顺序连接的环形器；

10 所述第二环形器的第一端口为所述第三耦合器的第二输出端，所述第二环形器的第二端口为所述第三耦合器的输入端，所述第二环形器的第三端口为所述第三耦合器的第一输出端。

结合一方面的实现方式，一方面的第一种、第二种或者第三种可能的实现方式，在第十种可能的实现方式中，所述信号光的光路中还串接有增益平坦滤波器。

本发明实施例二方面提供了一种光中继器，包括：

光中继器的第一输入端、光中继器的第一输出端、第二掺铒光纤、第七耦合器、第八耦合器，第九耦合器以及第二泵浦光处理组件；

20 所述光中继器的第一输入端连接所述第九耦合器的输入端，第九耦合器的第一输出端连接所述第七耦合器的第一输入端，第七耦合器的输出端连接所述第二掺铒光纤，所述第二掺铒光纤的输出端连接所述第八耦合器的第一输入端，第八耦合器的输出端连接所述光中继器的输出端；所述第二泵浦光处理组件的输入端连接所述第八耦合器的第二输入端；所述第二泵浦光处理组件的第一输出端连接所述第九耦合器的第二输出端，所述第二泵浦光处理组件的第二输出端连接所述第七耦合器的第二输入端；

25 反向泵浦光从第一输出端进入所述光中继器，经第八耦合器的输出端进入所述第八耦合器，第八耦合器耦合出进入所述第八耦合器的反向泵浦光，并经所述第八耦合器的第二输入端发送至所述第二泵浦光处理组件的输入端；

信号光从所述光中继器的第一输入端进入所述光中继器,依次经过所述第九耦合器、第七耦合器、第二掺铒光纤以及第八耦合器,最后经所述光中继器的第一输出端传出所述光中继器;

第二泵浦光处理组件的第一输出端向所述第九耦合器的第二输出端发送泵浦光;第二泵浦光处理组件的第二输出端向所述第七耦合器的第二输入端发送泵浦光;所述泵浦光包含所述第一泵浦光处理组件自身产生的本端泵浦光和/或所述反向泵浦光;进入所述第九耦合器的第二输出端的泵浦光经所述第九耦合器的输入端,从所述光中继器的第一输入端传出所述光中继器;进入所述第七耦合器的第二输入端的泵浦光被所述第七耦合器耦合,并在所述第七耦合器的输出端发往所述第二掺铒光纤的输入端。

结合二方面的实现方式,在第一种可能的实现方式中,所述第二泵浦光处理组件的输入端包括:所述第二泵浦光处理组件的第一输入端和所述第二泵浦光处理组件的第二输入端;

所述第二泵浦光处理组件的第一输入端为所述第二泵浦光处理组件与所述第八耦合器的第二输入端连接的端口;所述第二泵浦光处理组件的第二输入端是接收来自与所述信号光相对一侧信号光的光路的反向泵浦光。

结合二方面的第一种可能的实现方式,在第二种可能的实现方式中,所述第二泵浦光处理组件包括:

第四泵浦源、第二偏振合束器、第十五耦合器、第十六耦合器、以及第十七耦合器;

所述第四泵浦源的输出端与所述第二偏振合束器的输入端连接,所述第二偏振合束器的输出端与所述第十五耦合器的输入端连接,所述第十五耦合器的第一输出端与所述第十六耦合器的第一输入端连接,所述第十六耦合器的第一输出端作为所述第二泵浦光处理组件的第一输出端,所述第十六耦合器的第二输出端作为所述第二泵浦光处理组件的第二输出端;所述第十七耦合器的第一输入端作为所述第二泵浦光处理组件的第一输入端,所述第十七耦合器的第二输入端作为所述第二泵浦光处理组件的第二输入端;所述第十七耦合器的第一输出端与所述第十六耦合器的第二输入端连接;

第四泵浦源产生本端泵浦光,并经所述第二泵浦源的输出端将所述本端泵

浦光发送至所述第二偏振合束器的输入端,经所述第二偏振合束器的输出端发往所述第十五耦合器的输入端,所述第十五耦合器对进入所述第十五耦合器的本端泵浦光进行耦合,并将耦合得到的部分本段泵浦光发送所述第十六耦合器的第一输入端;所述第十七耦合器将进入所述第十七耦合器的第一输入端的来自所述第八耦合器的反向泵浦光,以及进入所述第十七耦合器的第二输入端的来自与所述信号光相对一侧信号光的光路的反向泵浦光进行耦合,并将耦合得到的部分反向泵浦光经所述第十七耦合器的第一输出端发往所述第十六耦合器的第二输入端;所述第十六耦合器将进入所述第十六耦合器的第二输入端的反向泵浦光,以及进入所述第十六耦合器的第一输入端的本端泵浦光进行耦合,并将耦合得到的一部分泵浦光经所述第十六耦合器的第一输出端发往所述第九耦合器,将耦合得到的另一部分泵浦光经所述第十六耦合器的第二输出端发往所述第七耦合器。

结合二方面的实现方式,二方面的第一种或者第二种可能的实现方式,在第三种可能的实现方式中,所述第八耦合器为第三环形器;所述第三环形器为:按照第一端口、第二端口以及第三端口顺序连接的环形器;

所述第三环形器的第一端口为所述第八耦合器的第一输入端,所述第三环形器的第二端口为所述第二耦合器的输出端,所述第三环形器的第三端口为所述第二耦合器的第二输入端。

结合二方面的实现方式,二方面的第一种或者第二种可能的实现方式,在第四种可能的实现方式中,所述第九耦合器为第四环形器;所述第四环形器为:按照第一端口、第二端口以及第三端口顺序连接的环形器;

所述第四环形器的第一端口为所述第九耦合器的第二输出端,所述第四环形器的第二端口为所述第九耦合器的输入端,所述第四环形器的第三端口为所述第九耦合器的第一输出端。

结合二方面的实现方式,二方面的第一种或者第二种可能的实现方式,在第五种可能的实现方式中,所述信号光的光路中还串接有增益平坦滤波器。

本发明实施例三方面还提供了一种光纤通信系统,包括:光缆,光缆内置光中继器,所述光中继器为本发明实施例提供的任意一项的光中继器。

从以上技术方案可以看出,本发明实施例具有以下优点:如果光中继器本

端产生的本端泵浦光全部失效或者其它故障导致无泵浦光输出情况下,光中继器仍然有来自光中继器外部的反向泵浦光进入,仍然能够对掺铒光纤起到激励作用,使得信号光不至于被严重吸收,甚至有小幅增益,从而使光通信系统的业务仍然能够维持不会中断。另外,如果端站提供有反向喇曼泵浦光,那么首尾跨段的光中继器也能耦合来自端站的残余喇曼泵浦光,并对掺铒光纤起到激励作用。因此可以提高光纤通信系统的可靠性。

### 附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简要介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域的普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

- 图 1A 为本发明实施例光纤通信系统结构示意图;
- 图 1B 为本发明实施例光纤通信系统结构示意图;
- 15 图 2 为本发明实施例光中继器结构示意图;
- 图 3 为本发明实施例光中继器结构示意图;
- 图 4 为本发明实施例光中继器结构示意图;
- 图 5 为本发明实施例光中继器结构示意图;
- 图 6A 为本发明实施例第一泵浦光处理组件结构示意图;
- 20 图 6B 为本发明实施例第一泵浦光处理组件结构示意图;
- 图 6C 为本发明实施例第一泵浦光处理组件结构示意图;
- 图 6D 为本发明实施例第一泵浦光处理组件结构示意图;
- 图 7 为本发明实施例光中继器结构示意图;
- 图 8 为本发明实施例第二泵浦光处理组件结构示意图;
- 25 图 9 为本发明实施例光中继器结构示意图;
- 图 10 为本发明实施例光中继器结构示意图;
- 图 11A 为本发明实施例光中继器结构示意图;
- 图 11B 为本发明实施例增益、噪声系数谱线对比示意图;
- 图 11C 为本发明实施例增益、噪声系数谱线对比示意图;

图 11D 为本发明实施例光中继器全部泵浦失效对 OSNR 的影响示意图;

图 12 为本发明实施例光中继器结构示意图;

图 13 为本发明实施例光中继器结构示意图。

## 5 具体实施方式

为了使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明作进一步地详细描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部份实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其它实施例,都属于本发明保护的范围。

10 本发明实施例中的海缆光纤通信系统,如图 1A 和图 1B 所示,其中图 1A 为光中继器全部正常时的示意图,图 1B 为出现光中继器故障的示意图(斜线填充的为故障的中继器);在两个海缆端站(端站 A 和端站 B)之间通过若干个光中继器和海缆连接起来,并且至少提供一对传输方向相反的光纤传输链路。其中光中继器提供反向喇曼放大泵浦光,并耦合到传输光纤,利用喇曼效应对传输光纤中的光信号进行放大;同时在中继器内部提供一个集中式放大器,集中式放大器采用掺铒光纤放大器技术;此外集中式光放大器还提供一个喇曼泵浦光耦合通道,用于把来自下游或上游中继器的残余喇曼泵浦光耦合到掺铒光纤中去。当系统中其中一个光中继器(图 1B 中斜线填充的为故障的中继器)故障导致某个纤对所有泵浦都无光输出时,由于上游或下游残余的喇曼泵浦光仍然能够对掺铒光纤起到激励作用,使得信号光不至于被严重吸收,甚至有小幅度增益,系统业务仍然能够维持不会中断。端站也可以提供反向喇曼泵浦光,使得首尾跨段的光中继器也能耦合来自端站的残余喇曼泵浦光。

25 以下实施例将就光中继器的内部结构进行详细说明,本发明实施例的海缆光纤通信系统中的每一个光中继器可以采用以下实施例中的任意一种具体结构。

光缆中的光中继器通常包含有至少两根光纤对应两条信号光路,这两条信号光路中,光信号传播方向是相反的,以图 1 为例,端站 A 发送端站 B 的信号光经过一条光路,端站 B 发送端站 A 的信号光经过另外一条光路,这两条光路是对称的,因此在后续实施例中对其中一条光路进行说明,另一光路结构

参考实施，本发明实施例不予一一赘述。

本发明实施例提供了一种光中继器，如图2所示，包括：

光中继器的第一输入端、光中继器的第一输出端、第一掺铒光纤、第一耦合器，第二耦合器以及第一泵浦光处理组件；

5 所述光中继器的第一输入端连接所述第一掺铒光纤的输入端、所述第一掺铒光纤的输出端连接所述第一耦合器的输入端，所述第一耦合器的第一输出端连接所述第二耦合器的第一输入端，所述第二耦合器的输出端连接所述光中继器的第一输出端；第一泵浦光处理组件的输入端连接所述第二耦合器的第二输入端；所述第一泵浦光处理组件的输出端连接所述第一耦合器的第二输出端；

10 反向泵浦光从第一输出端进入所述光中继器，经第二耦合器的输出端进入所述第二耦合器，第二耦合器耦合出进入所述第二耦合器的反向泵浦光，并经所述第二耦合器的第二输入端发送至所述第一泵浦光处理组件的输入端；

信号光从所述光中继器的第一输入端进入所述光中继器，依次经过所述第一掺铒光纤、第一耦合器以及第二耦合器，最后经所述光中继器的第一输出端  
15 传出所述光中继器；

第一泵浦光处理组件的输出端向所述第一耦合器的第二输出端发送泵浦光；所述泵浦光包含所述第一泵浦光处理组件自身产生的本端泵浦光和/或所述反向泵浦光；第一耦合器将所述第一耦合器的第二输出端接收到的泵浦光，经所述第一耦合器的输入端发往所述第一掺铒光纤的输出端，从所述第一掺铒  
20 光纤的输出端并进入所述第一掺铒光纤。

在本实施例中，所述第一耦合器的第二输出端接收到的泵浦光从所述第一掺铒光纤的输出端进入所述第一掺铒光纤，并被所述第一掺铒光纤部分吸收，从而对经过所述第一掺铒光纤的信号光进行放大，剩余部分泵浦光从所述掺铒  
25 光纤输入端输出，并至所述光中继器第一输入端输出，用于对传输光纤激励并对信号光产生喇曼放大。

在本发明实施例中，如果光中继器本端产生的本端泵浦光全部失效或者其它故障导致无泵浦光输出情况下，光中继器仍然有来自光中继器外部的反向泵浦光进入，仍然能够对掺铒光纤起到激励作用，使得信号光不至于被严重吸收，甚至  
有小幅度增益，从而使光通信系统的业务仍然能够维持不会中断。另外，如

果端站提供有反向喇曼泵浦光,那么首尾跨段的光中继器也能耦合来自端站的残余喇曼泵浦光,并对掺铒光纤起到激励作用。

如图3所示,在图2所示的光中继器的基础上,所述光中继器还包括:第三耦合器;所述第一泵浦光处理组件的输出端包括:所述第一泵浦光处理组件的第一输出端和所述

5 所述第一泵浦光处理组件的第二输出端;

所述第三耦合器的输入端连接所述光中继器的第一输入端,所述第三耦合器的第一输出端连接所述第一掺铒光纤的输入端;所述第三耦合器的第二输出端连接所述第一泵浦光处理组件的第二输出端;所述第一耦合器的第二输出端连接所述第一泵浦光处理组件的第一输出端;

10 所述第一泵浦光处理组件的第二输出端向所述第三耦合器的第二输出端发送泵浦光;所述第三耦合器将所述第三耦合器的第二输出端接收到的泵浦光从所述第三耦合器的输入端发往所述光中继器的第一输入端;

所述第一泵浦光处理组件的第一输出端向所述第一耦合器的第二输出端发送泵浦光;第一耦合器将所述第一耦合器的第二输出端接收到的泵浦光,经

15 所述第一耦合器的输入端发往所述第一掺铒光纤的输出端。

如图4所示,在图3所示的光中继器的基础上,所述光中继器还包括:第六耦合器;所述第一泵浦光处理组件的输出端还包括:所述第一泵浦光处理组件的第三输出端;

所述第六耦合器位于所述第三耦合器与所述第一掺铒光纤之间的信号光的光路中;所述第三耦合器的第一输出端连接所述第六耦合器的第一输入端,所述第一泵浦光处理组件的第三输出端连接所述第六耦合器的第二输入端,所述第六耦合器的输出端连接所述第一掺铒光纤的输入端;

20

所述第一泵浦光处理组件的第三输出端向所述第六耦合器的第二输入端发送泵浦光;第六耦合器将所述第六耦合器的第二输入端接收到的泵浦光,经

25 所述第六耦合器的输出端发往所述第一掺铒光纤的输入端。

如图5所示,在图2所示的光中继器的基础上,所述光中继器还包括:第四耦合器、光隔离器以及第五耦合器;

所述第四耦合器、光隔离器以及第五耦合器依次连接于所述光中继器与所述第一掺铒光纤之间的信号光的光路中;所述第五耦合器的输入端与

继器的第一输入端连接,所述第五耦合器的第一输出端与所述光隔离器的输入端连接,所述光隔离器的输出端与所述第四耦合器的第一输入端连接,所述第五耦合器的第二输出端与所述第四耦合器的第二输入端连接;

5 进入所述第一掺铒光纤的泵浦光对经所述第一掺铒光纤的信号光进行放大之后,进入所述第一掺铒光纤的泵浦的残余泵浦光经所述第一掺铒光纤的输出端发往所述第四耦合器的输出端,第四耦合器将所述第四耦合器的输出端接收到的残余泵浦光经所述第四耦合器的第二输入端发往所述第五耦合器的第二输出端,所述第五耦合器将所述第五耦合器的输出端接收到的残余泵浦光经所述第五耦合器的输入端发往所述光中继器的第一输入端。

10 在前述实施例中,第一泵浦光处理组件的输入端显示为一个,作为另一个可选的方案,第一泵浦光处理组件可以有其他的输入端,如图 2~4 所示的点线箭头方向输入的反向泵浦光;该反向泵浦光是与信号光的传播方向相反的泵浦光,其来源可以是图 2~4 所示的信号光路一侧,也可以是与该光路相对的另一侧,或者两者的结合;因此图 2~4 所示的点线箭头方向输入的反向泵浦光并不是必须的,不应理解为本发明实施例的光中继器的必要组成部分。可选地,所述第一泵浦光处理组件的输入端包括:所述第一泵浦光处理组件的第一输入端和所述第一泵浦光处理组件的第二输入端;

15 所述第一泵浦光处理组件的第一输入端为所述第一泵浦光处理组件与所述第二耦合器的第二输入端连接的端口;所述第一泵浦光处理组件的第二输入端接收来自与所述信号光相对一侧信号光的光路的反向泵浦光。

20 在以上实施例中,对第一泵浦光处理组件的功能以及泵浦光在第一泵浦光处理组件的传播进行了限定,只要能够实现上述功能的第一泵浦光处理组件的结构都是可以的,本发明实施例不作唯一性限定。另需说明的是,在本发明实施例中,泵浦光处理组件(包括第一泵浦光处理组件和第二泵浦光处理组件)的

25 的输出端输出的泵浦光可以包含反向泵浦光和/或者本端产生的泵浦光。以下实施例将就其中的几种优选结构举例进行举例说明:

(一),如图 6A 所示,该第一泵浦光处理组件的结构可以应用于图 2 或者图 5 所示的光中继器,具体如下:

若所述第一泵浦光处理组件的输入端包括:所述第一泵浦光处理组件的第

一输入端和所述第一泵浦光处理组件的第二输入端；所述第一泵浦光处理组件的第一输入端为所述第一泵浦光处理组件与所述第二耦合器的第二输入端连接的端口；所述第一泵浦光处理组件的第二输入端接收来自与所述信号光相对一侧信号光的光路的反向泵浦光；

5 所述第一泵浦光处理组件包括：第一泵浦源，第一偏振合束器、第十耦合器、第十一耦合器；所述第一泵浦源可以包含  $2N$  个泵浦激光器， $N \geq 1$ ；一个偏振合束器通常包含两个输入端；

10 第一泵浦源的输出端连接所述第一偏振合束器的输入端、第一偏振合束器的输出端连接所述第十耦合器的第一输入端，所述第十耦合器的第一输出端作为所述第一泵浦光处理组件的输出端；

第十一耦合器的第一输入端作为所述第一泵浦光处理组件的第一输入端，所述第十一耦合器的第二输入端作为所述第一泵浦光处理组件的第二输入端，所述第十一耦合器的第一输出端与所述第十耦合器的第二输入端连接；

15 所述第一泵浦源产生本端泵浦光并将所述本端泵浦光发送到所述第一偏振合束器的输入端，所述第一偏振合束器将所述第一偏振合束器的输入端进入的本端泵浦光经所述第一偏振合束器的输出端，发往所述第十耦合器的第一输入端；所述第十一耦合器将从所述第十一耦合器的第一输入端进入的反向泵浦光以及从所述第十一耦合器的第二输入端进入的反向泵浦光耦合，并将耦合得到的部分反向泵浦光在所述第十一耦合器的第一输出端发往所述第十耦合器的第二输入端；所述第十耦合器将从所述第十耦合器的第一输入端进入的本端泵浦光以及从所述第十耦合器的第二输入端进入的反向泵浦光进行耦合，并将耦合得到的部分泵浦光从所述第十耦合器的第一输出端输出。

另外，在图 6A 中，第十耦合器的第二输出端输出的泵浦光发送至与图 2 或者图 5 所示的信号光路的对称的光路中。

25 在本发明实施例中，偏振合束器用于将两束相互垂直的线偏振光耦合到同一端口输出。在喇曼放大器中，喇曼增益具有泵浦光偏振方向的依赖性，使用偏振合束器（Polarization Beam Combiner, PBC）将两束偏振方向互相垂直的线偏振泵浦光合波，然后作为喇曼泵浦光降低了偏振度，使得喇曼放大器的偏振相关增益得到有效降低。在本发明实施例中，使用 PBC 将两束偏振方向互

相垂直的线偏振泵浦光合波，然后作为喇曼泵浦光降低了偏振度，使得喇曼放大器的偏振相关增益得到有效降低。

(二)、如图 6B 和图 6C 所示，该第一泵浦光处理组件的结构可以应用于图 3 或图 4 所示的光中继器，具体如下：

5 图 6B 和图 6C 所示结构的共同部分如下：所述第一泵浦光处理组件包括：第二泵浦源、第三泵浦源、第十二耦合器、第十三耦合器；

所述第二泵浦源的输出端与所述第十二耦合器的输入端连接，所述第十二耦合器的第一输出端作为所述第一泵浦光处理组件的第二输出端；所述第三泵浦源的输出端与所述第十三耦合器的输入端连接，所述第十三耦合器的第一输出端作为所述第一泵浦光处理组件的第三输出端；

第二泵浦源产生第一本端泵浦光，并经所述第二泵浦源的输出端将所述第一本端泵浦光发送至所述第十二耦合器的输入端，所述第十二耦合器将所述第十二耦合器的输入端进入的第一本端泵浦光进行耦合，并将耦合得到的部分第一本端泵浦光在所述第十二耦合器的第一输出端输出；

15 第三泵浦源产生第二本端泵浦光，并经所述第三泵浦源的输出端将所述第二本端泵浦光发送至所述第十三耦合器的输入端，所述第十三耦合器将所述第十三耦合器的输入端进入的第二本端泵浦光进行耦合，并将耦合得到的部分第二本端泵浦光在所述第十三耦合器的第一输出端输出；

其中图 6B 所示与图 6C 不同的结构如下：来自第二耦合器的第二输出端的反向泵浦光从所述第一泵浦光处理组件的输入端进入，并直接从所述第一泵浦光处理组件的第一输出端输出至所述第一耦合器的第二输出端；

其中图 6C 所示与图 6B 不同的结构如下：若所述第一泵浦光处理组件的输入端包括：所述第一泵浦光处理组件的第一输入端和所述第一泵浦光处理组件的第二输入端；所述第一泵浦光处理组件的第一输入端为所述第一泵浦光处理组件与所述第二耦合器的第二输入端连接的端口；所述第一泵浦光处理组件的第二输入端接收来自与所述信号光相对一侧信号光的光路的反向泵浦光，所述来自与所述信号光相对一侧信号光的光路的反向泵浦光直接从所述第一泵浦光处理组件的第一输出端输出至所述第一耦合器的第二输出端。

另外，在图 6B 和图 6C 中第十二耦合器的第二输出端输出的本端泵浦光

发送至与图 2 或者图 5 所示的信号光路的对称的光路中;第十三耦合器的第二输出端输出的本端泵浦光发送至与图 2 或者图 5 所示的信号光路的对称的光路中。以上第十二耦合器的第二输出端以及第十三耦合器的第二输出端,与本实施例中第十二耦合器的第一输出端以及第十三耦合器的第一输出端是对称的。

5 在图 6C 中,从第一泵浦光处理组件的第一输入端进入的反向泵浦光,与第一泵浦光处理组件的第二输入端进入的反向泵浦光输出方式也可以是对称的。

(三)、如图 6D 所示,该第一泵浦光处理组件的结构可以应用于图 3 或图 4 所示的光中继器,具体如下:

10 若所述第一泵浦光处理组件的输入端包括:所述第一泵浦光处理组件的第一输入端和所述第一泵浦光处理组件的第二输入端;所述第一泵浦光处理组件还包括:第十四耦合器;

所述第十四耦合器的第一输入端与作为所述第一泵浦光处理组件的第一输入端,所述第十四耦合器的第二输入端与作为所述第一泵浦光处理组件的第二输入端,所述第十四耦合器的第一输出端作为所述第一泵浦光处理组件的第一输出端;

所述第十四耦合器将进入所述第十四耦合器的第一输入端的来自所述第二耦合器的反向泵浦光,以及进入所述第十四耦合器的第二输入端的来自与所述信号光相对一侧信号光的光路的反向泵浦光进行耦合,并将耦合得到的部分反向泵浦光从所述第十四耦合器的第一输出端发往所述第一耦合器的第二输出端。

另外,在图 6D 中,第十二耦合器的第二输出端输出的本端泵浦光发送至与图 4 所示的信号光路的对称的光路中;第十三耦合器的第二输出端输出的本端泵浦光发送至与图 2 或者图 5 所示的信号光路的对称的光路中。以上第十二耦合器的第二输出端以及第十三耦合器的第二输出端,与本实施例中第十二耦合器的第一输出端以及第十三耦合器的第一输出端是对称的。

25 理论上图 2~图 5 中所有的耦合器(除第六耦合器外)都可以使用环形器代替,另外,图 2~6D 的光路中还可以包含光隔离器来保证光路的单向性,对此本发明实施例不作严格限制;其中,有两处可以优选使用环形器替代光隔离

器的部分，具体如下：

可选地，所述第二耦合器为第一环形器；所述第一环形器为：按照第一端口、第二端口以及第三端口顺序连接的环形器；

5 所述第一环形器的第一端口为所述第二耦合器的第一输入端，所述第一环形器的第二端口为所述第二耦合器的输出端，所述第一环形器的第三端口为所述第二耦合器的第二输入端。

可选地，所述第三耦合器为第二环形器；所述第二环形器为：按照第一端口、第二端口以及第三端口顺序连接的环形器；

10 所述第二环形器的第一端口为所述第三耦合器的第二输出端，所述第二环形器的第二端口为所述第三耦合器的输入端，所述第二环形器的第三端口为所述第三耦合器的第一输出端。

优选地，在图 2~4 所示的光中继器中，所述信号光的光路中还串接有增益平坦滤波器。

本发明实施例还提供了另一种光中继器，如图 7 所示，包括：

15 光中继器的第一输入端、光中继器的第一输出端、第二掺铒光纤、第七耦合器、第八耦合器，第九耦合器以及第二泵浦光处理组件；

20 所述光中继器的第一输入端连接所述第九耦合器的输入端，第九耦合器的第一输出端连接所述第七耦合器的第一输入端，第七耦合器的输出端连接所述第二掺铒光纤，所述第二掺铒光纤的输出端连接所述第八耦合器的第一输入端，第八耦合器的输出端连接所述光中继器的输出端；所述第二泵浦光处理组件的输入端连接所述第八耦合器的第二输入端；所述第二泵浦光处理组件的第一输出端连接所述第九耦合器的第二输出端，所述第二泵浦光处理组件的第二输出端连接所述第七耦合器的第二输入端；

25 反向泵浦光从第一输出端进入所述光中继器，经第八耦合器的输出端进入所述第八耦合器，第八耦合器耦合出进入所述第八耦合器的反向泵浦光，并经所述第八耦合器的第二输入端发送至所述第二泵浦光处理组件的输入端；

信号光从所述光中继器的第一输入端进入所述光中继器，依次经过所述第九耦合器、第七耦合器、第二掺铒光纤以及第八耦合器，最后经所述光中继器的第一输出端传出所述光中继器；

第二泵浦光处理组件的第一输出端向所述第九耦合器的第二输出端发送泵浦光; 第二泵浦光处理组件的第二输出端向所述第七耦合器的第二输入端发送泵浦光; 所述泵浦光包含所述第一泵浦光处理组件自身产生的本端泵浦光和/或所述反向泵浦光; 进入所述第九耦合器的第二输出端的泵浦光经所述第九耦合器的输入端, 从所述光中继器的第一输入端传出所述光中继器; 进入所述第七耦合器的第二输入端的泵浦光被所述第七耦合器耦合, 并在所述第七耦合器的输出端发往所述第二掺铒光纤的输入端。

在本实施例中, 所述第二掺铒光纤的输入端接收到的泵浦光进入所述第二掺铒光纤的, 并被所述第二掺铒光纤部分吸收, 从而对经过所述第二掺铒光纤的信号光进行放大。

在本发明实施例中, 如果光中继器本端产生的本端泵浦光全部失效或者其它故障导致无泵浦光输出情况下, 光中继器仍然有来自光中继器外部的反向泵浦光进入, 仍然能够对掺铒光纤起到激励作用, 使得信号光不至于被严重吸收, 甚至有小幅增益, 从而使光通信系统的业务仍然能够维持不会中断。另外, 如果端站提供有反向喇曼泵浦光, 那么首尾跨段的光中继器也能耦合来自端站的残余喇曼泵浦光, 并对掺铒光纤起到激励作用。

在前述实施例中, 第一泵浦光处理组件的输入端显示为一个, 作为另一个可选的方案, 第一泵浦光处理组件可以有其他的输入端, 如图 7 所示的点线箭头方向输入的反向泵浦光; 反向泵浦光是与信号光的传播方向相反的泵浦光, 其来源可以是图 7 所示的信号光路一侧, 也可以是与该光路相对的另一侧, 或者两者的结合; 因此图 7 所示的点线箭头方向输入的反向泵浦光并不是必须的, 不应理解为本发明实施例的光中继器的必要组成部分。可选地, 所述第二泵浦光处理组件的输入端包括: 所述第二泵浦光处理组件的第一输入端和所述第二泵浦光处理组件的第二输入端;

所述第二泵浦光处理组件的第一输入端为所述第二泵浦光处理组件与所述第八耦合器的第二输入端连接的端口; 所述第二泵浦光处理组件的第二输入端是接收来自与所述信号光相对一侧信号光的光路的反向泵浦光。

在以上实施例中, 对第一泵浦光处理组件的功能以及泵浦光在第一泵浦光处理组件的传播进行了限定, 只要能够实现上述功能的第一泵浦光处理组件的

结构都是可以的，本发明实施例不作唯一性限定。以下实施例将就其中的几种优选结构举例进行举例说明：

(四)，如图 8 所示，该第一泵浦光处理组件的结构可以应用于图 7 所示的光中继器，具体如下：

5 所述第二泵浦光处理组件包括：第四泵浦源、第二偏振合束器、第十五耦合器、第十六耦合器、以及第十七耦合器；所述第二泵浦源可以包含  $2N$  个泵浦激光器， $N \geq 1$ ；一个偏振合束器通常包含两个输入端；

10 所述第四泵浦源的输出端与所述第二偏振合束器的输入端连接，所述第二偏振合束器的输出端与所述第十五耦合器的输入端连接，所述第十五耦合器的第一输出端与所述第十六耦合器的第一输入端连接，所述第十六耦合器的第一输出端作为所述第二泵浦光处理组件的第一输出端，所述第十六耦合器的第二输出端作为所述第二泵浦光处理组件的第二输出端；所述第十七耦合器的第一输入端作为所述第二泵浦光处理组件的第一输入端，所述第十七耦合器的第二输入端作为所述第二泵浦光处理组件的第二输入端；所述第十七耦合器的第一输出端与所述第十六耦合器的第二输入端连接；

15 第四泵浦源产生本端泵浦光，并经所述第二泵浦源的输出端将所述本端泵浦光发送至所述第二偏振合束器的输入端，经所述第二偏振合束器的输出端发往所述第十五耦合器的输入端，所述第十五耦合器对进入所述第十五耦合器的本端泵浦光进行耦合，并将耦合得到的部分本段泵浦光发送所述第十六耦合器的第一输入端；所述第十七耦合器将进入所述第十七耦合器的第一输入端的来自所述第八耦合器的反向泵浦光，以及进入所述第十七耦合器的第二输入端的来自与所述信号光相对一侧信号光的光路的反向泵浦光进行耦合，并将耦合得到的部分反向泵浦光经所述第十七耦合器的第一输出端发往所述第十六耦合器的第二输入端；所述第十六耦合器将进入所述第十六耦合器的第二输入端的反向泵浦光，以及进入所述第十六耦合器的第一输入端的本端泵浦光进行耦

20 合，并将耦合得到的一部分泵浦光经所述第十六耦合器的第一输出端发往所述第九耦合器，将耦合得到的另一部分泵浦光经所述第十六耦合器的第二输出端发往所述第七耦合器。

25 另外，在图 8 中，第十五耦合器的第二输出端可以输出本端泵浦光，第十

七耦合器的第二输出端可以输出反向泵浦光,这两路泵浦光可以经另一耦合器耦合,采用与第十六耦合器对称的结构对与图7所示信号光的光路对称的光路实现泵浦光的输入。

5 在图6A~图6D以及图8中,泵浦光处理组件中,泵浦源(包括第一泵浦源、第二泵浦源、第三泵浦源、第四泵浦源)产生的泵浦光的波长可以根据需要进行设定,为了覆盖更多的放大带宽,还可以增加更多的泵浦源,对此本发明实施例不予唯一性限定。

10 理论上图7~8中所有的耦合器都可以使用环形器代替,另外,图7~8的光路中还可以包含光隔离器来保证光路的单向性,对此本发明实施例不作严格限制;其中,有两处可以优选使用环形器替代光隔离器的部分,具体如下:

可选地,所述第八耦合器为第三环形器;所述第三环形器为:按照第一端口、第二端口以及第三端口顺序连接的环形器;

15 所述第三环形器的第一端口为所述第八耦合器的第一输入端,所述第三环形器的第二端口为所述第二耦合器的输出端,所述第三环形器的第三端口为所述第二耦合器的第二输入端。

可选地,所述第九耦合器为第四环形器;所述第四环形器为:按照第一端口、第二端口以及第三端口顺序连接的环形器;

20 所述第四环形器的第一端口为所述第九耦合器的第二输出端,所述第四环形器的第二端口为所述第九耦合器的输入端,所述第四环形器的第三端口为所述第九耦合器的第一输出端。

优选地,在图2~4所示的光中继器中,所述信号光的光路中还串接有增益平坦滤波器。

25 在本发明实施例中泵浦光源产生泵浦光以后,其用途有两种,一种是作为喇曼泵浦光使用,一种是发送给EDF作为EDF泵浦光使用;在本发明实施例在介绍光的传播方向过程中,不对其进行功能性区分。

一、

本发明实施例提供了一种光中继器结构,如图9所示,本实施例结构可以与前述实施例中的图4以及图6B的组合对应。

光中继器包含:波分复用器(Wavelength Division Multiplexer, WDM)、

EDF、耦合器 (Coupler)、光隔离器 (Isolator), 14XX nm 泵浦 (pump) 和 980 nm pump 的泵浦源; 在图 9 中, 有两个输入端 (输入端 1 和输入端 2,) 两个输出端 (输出端 1 和输出端 2) 分别对应相反方向的一对光路, 两者是对称的, 在本实施例中对其中一个光路进行说明, 另一光路不再赘述。

5 在图 9 中, WDM1~WDM8 中 WDM1~WDM4 属于上面一路光路, EDF1~EDF2 中 EDF1 属于上面一路光路, Isolator 1 和 Isolator 2 中, Isolator 1 属于上面一路光路, 14XX nm pump 和 980 nm pump 的泵浦源是两路光路共用的, 在上面一路光路中, 各器件的连接关系如下:

10 WDM1 的输入端连接输入端 1, WDM1 的输出端 1 连接 WDM2 的输入端 1, WDM1 的输出端连接 WDM2 的输入端 1, WDM2 的输出端连接 EDF1 的输入端, EDF1 的输出端连接 WDM3 的输入端, WDM3 的输出端 1 连接 Isolator 1 的输入端, Isolator 1 的输出端连接 WDM4 的输入端 1, WDM4 的输出端连接输出端 1;

WDM4 的输入端 2 连接 WDM3 的输出端 2;

15 14XX nm 的泵浦源 1 和 14XX nm 的泵浦源 2 分别连接耦合器 1 的输入端 1 和输入端 2, 耦合器 1 的输出端 1 连接 WDM1 的输出端 2; 980 nm 的泵浦源 1 和 980 nm 的泵浦源 2 分别连接耦合器 2 的输入端 1 和输入端 2, 耦合器 2 的输出端 1 连接 WDM2 的输入端 2。

以下对光的传播方向进行详细说明:

20 在图 9 中, 实线箭头方向为信号光传播方向, 虚线箭头方向为反向泵浦光传播方向, 点线箭头方向为正向泵浦光传播方向。所谓反向泵浦光是与信号光传播方向相反的泵浦光, 正向泵浦光是与信号光传播方向相同的泵浦光。

泵浦光的传播方向如下:

25 14XX nm 的泵浦源 1 和 14XX nm 的泵浦源 2 分别产生 14XX nm 的泵浦光, 并分别进入耦合器 1 的输入端 1 和输入端 2, 耦合器 1 对输入的泵浦光进行耦合, 并在耦合器 1 的输出端 1 和输出端 2 输出, 其中在耦合器 1 的输出端 1 输出的泵浦光进入 WDM1 的输出端 2; 从 WDM1 的输出端 2 进入的泵浦光穿过所述 WDM1 从所述 WDM1 的输入端传出; 这一路泵浦光通过对传输光纤激励, 使得信号光在受激喇曼效散射应作用下被放大, 并沿输入端 1 的方

向传入海缆光纤通信系统上一个光中继器。

980 nm 的泵浦源 1 和 980 nm 的泵浦源 2 分别产生 980 nm 的泵浦光，并分别进入耦合器 2 的输入端 1 和输入端 2；耦合器 2 对输入的泵浦光进行耦合，并在耦合器 2 的输出端 1 和输出端 2 输出，其中在耦合器 2 的输出端 1 5 输出的泵浦光进入 WDM2 的输入端 2。

信号光的传播方向如下：信号光从输入端 1 进入光中继器，进入 WDM1 的输入端，并穿过 WDM1 经 WDM1 的输出端 1 进入 WDM2 的输入端 1；WDM2 将 WDM2 的输入端 1 输入的信号光和 WDM2 的输入端 2 输入的泵浦光从 WDM2 的输出端输出到 EDF1 的输入端，进入 EDF1 的泵浦光对进入 EDF1 的 10 信号光进行放大，并从 EDF1 的输出端输出到 WDM3 的输入端，WDM3 将 WDM3 的输入端输入的光信号从 WDM3 的输出端 1 输出给 Isolator 1 的输入端，Isolator 1 放行从 Isolator 1 的输入端输入的信号光并从 Isolator 1 的输出端输出给 WDM4 的输入端 1，WDM4 将进入 WDM4 的输入端 1 的信号光从 WDM4 的输出端输出到输出端 1；

15 在图 9 中，从输出端 1 进入的反向的泵浦光是来自于海缆光纤通信系统的下一个光中继器；该路反向泵浦光的传播方向如下：

来自于海缆光纤通信系统的下一个光中继器的反向泵浦光经输出端 1 进入 WDM4 的输出端，WDM4 将从 WDM4 的输出端进入的反向泵浦光从 WDM4 的输入端 2 传出，从 WDM4 的输入端 2 传出的反向泵浦光进入 WDM3 的输出 20 端 2，WDM3 将从 WDM3 的输出端 2 进入的反向泵浦光从 WDM3 的输入端传出，从 WDM3 的输入端传出的反向泵浦光进入所述 EDF1 的输出端；从 EDF1 的输出端进入的反向泵浦光对经所述 EDF1 的信号光进行放大。

以上实施例中，14XXnm 波段的泵浦光，波长在 1400~1500nm 之间可选，优选 1450~1460nm。以上实施例，14XXnm 波段的泵浦光反向耦合到传输光纤 25 中，对传输光纤进行激励，并利用受激喇曼散射效应对信号光进行放大；此外还使用了 980nm 波段泵浦光（也可以是 14XX 泵浦光）耦合到中继器内部的掺铒光纤对其中的铒离子产生激励，利用受激辐射原理对信号光进行放大。上述 Isolator 1 是信号波段单向性器件，用于隔离信号光波段反向噪声光。以上实施例的结构中，还提供了反向残留泵浦光耦合通道（在图 9 中采用的是，在

单向性器件前后用 WDM4 连接一个旁路通道实现), 用于将下游或上游中继器输出的残余喇曼泵浦光耦合输入到掺铒光纤中。

图 10 所示的结构可以与前述实施例中的图 4 以及图 6C 的组合对应。区别点在于, 图 10 与图 9 所示的结构基本一致, 来自于海缆光纤通信系统的下一个光中继器的反向泵浦光的路径有所不同, 路径的不同是因为如何提供反向残留泵浦光耦合通道, 不同造成的。在图 10 中, WDM4 的输入端 2 连接的是 WDM7 的输出端 2, WDM8 的输入端 2 连接的是 WDM3 的输出端 2; 也即是说 EDF 的反向泵浦光是来自于相对一侧的光路; 仍然以上面一路进入的反向泵浦光的光路为例:

10 结构的变化如下:

从输出端 1 进入的反向泵浦光经 WDM4 的输出端进入 WDM4, WDM4 将进入 WDM4 的反向泵浦光分离出来并发送给相对一侧的 WDM8 的输出端 2, 进入 WDM7 的输出端 2, WDM7 将进入 WDM7 的输出端 2 的反向泵浦光从 WDM7 的输入端发往 EDF2 的输出端, 从 EDF2 的输出端进入的反向泵浦光对经 EDF2 的信号光进行放大。

15 光路的变化如下:

经输出端 1 进入 WDM4 的输出端, WDM4 将从 WDM4 的输出端进入的反向泵浦光从 WDM4 的输入端 2 传出, 从 WDM4 的输入端 2 传出的反向泵浦光进入 WDM3 的输出端 2, WDM3 将从 WDM3 的输出端 2 进入的反向泵浦光从 WDM3 的输入端传出, 从 WDM3 的输入端传出的反向泵浦光进入所述 EDF1 的输出端; 从 EDF1 的输出端进入的反向泵浦光对经所述 EDF1 的信号光进行放大。

## 二、

本发明实施例提供了另一种光中继器结构, 如图 11A 所示, 本实施例结构可以与前述实施例中的图 4 以及图 6D 的组合对应。包括: WDM、GFF (Gain Flatness Filter, 增益平坦滤波器)、Isolator、EDF、耦合器以及偏振合束器 (Polarization Beam Combiner, PBC)。在图 11A 中, 有两个输入端 (输入端 1 和输入端 2,) 两个输出端 (输出端 1 和输出端 2) 分别对应相反方向的一对光路, 两者是对称的, 在本实施例中对其中一个光路进行说明, 另一光路不再赘

述。

在图 11A 中，WDM1~WDM8 中 WDM1、WDM3、WDM5、WDM7 属于上面一路光路，GFF1 和 GFF2 中，GFF1 属于上面一路光路，EDF1~EDF2 中 EDF1 属于上面一路光路，Isolator 1~Isolator 4 中，Isolator 1 和 Isolator2 属于上面一路光路，1455 nm 泵浦（pump）和 980 nm pump 的泵浦源是两路光路共用的，耦合器 1~耦合器 3 以及 PBC 均是两路光路共用的，在上面一路光路中，各器件的连接关系如下：

WDM1 的输入端连接输入端 1，WDM1 的输出端 1 连接 GFF1 的输入端，GFF1 的输出端连接 Isolator 1 的输入端，Isolator 1 的输出端连接 WDM3 的输入端 1，WDM3 的输出端连接 EDF1 的输入端，EDF1 的输出端连接 WDM5 的输入端，WDM5 的输出端 1 连接 Isolator 2 的输入端，Isolator 2 的输出端连接 WDM7 的输入端 1，WDM7 的输出端连接输出端 1；

1455 nm 的泵浦源 1 和 1455 nm 的泵浦源 2 分别连接 PBC 的输入端 1 和输入端 2，PBC 的输出端连接耦合器 1 的输入端 1，耦合器 1 的输出端 1 连接 WDM1 的输出端 2，耦合器 1 的输出端 2 连接 WDM2 的输出端 2；

980 nm 的泵浦源 1 和 980 nm 的泵浦源 2 分别连接耦合器 2 的输入端 1 和输入端 2，耦合器 2 的输出端 1 连接 WDM2 的输入端 2，耦合器 2 的输出端 2 连接 WDM4 的输入端 2。

以下对光的传播方向进行详细说明：

图 11A 所示的结构中，包含上下两条光路，其中 Isolator 所示的方向为信号光的传播方向，在图 11A 中不再单独使用箭头标识。虚线箭头方向为反向泵浦光传播方向，点线箭头方向为正向泵浦光传播方向。所谓反向泵浦光是与信号光传播方向相反的泵浦光，正向泵浦光是与信号光传播方向相同的泵浦光。

泵浦光的传播方向如下：

1455 nm 的泵浦源 1 和 1455 nm 的泵浦源 2 分别产生 1455 nm 的泵浦光，并分别进入 PBC 的输入端 1 和输入端 2，PBC 将进入 PBC 的输入端 1 和输入端 2 的耦合的泵浦光耦合并在 PBC 的输出端输出到耦合器 1 的输入端，耦合器 1 将耦合器 1 的泵浦光分为两路，其中一路发送到 WDM1 的输出端 2，另

一路发送到 WDM2 的输出端 2; 从 WDM1 的输出端 2 进入的泵浦光穿过所述 WDM1 从所述 WDM1 的输入端传出; 这一路泵浦光将沿输入端 1 的方向传入海缆光纤通信系统上一个光中继器; 从 WDM2 的输出端 2 进入的泵浦光穿过所述 WDM2 从所述 WDM2 的输入端传出; 这一路泵浦光将沿输入端 2 的方向  
5 传入海缆光纤通信系统下一个光中继器;

980 nm 的泵浦源 1 和 980 nm 的泵浦源 2 分别产生 980 nm 的泵浦光, 并分别进入耦合器 2 的输入端 1 和输入端 2; 耦合器 2 对输入的泵浦光进行耦合, 并在耦合器 2 的输出端 1 和输出端 2 输出, 其中在耦合器 2 的输出端 1 输出的泵浦光进入 WDM3 的输入端 2, 在耦合器 2 的输出端 2 输出的泵浦光  
10 进入 WDM4 的输入端 2。

信号光的传播方向如下: 信号光从输入端 1 进入光中继器, 进入 WDM1 的输入端, 并穿过 WDM1 经 WDM1 的输出端 1 进入 GFF1 的输入端, 并穿过 GFF1 经 GFF1 的输出端进入 Isolator 1 的输入端, Isolator 1 放行从 Isolator 1 的输入端输入的信号光并从 Isolator 1 的输出端输出给 WDM3 的输入端 1;  
15 WDM3 将 WDM3 的输入端 1 输入的信号光和 WDM3 的输入端 2 输入的泵浦光从 WDM3 的输出端输出到 EDF1 的输入端, 进入 EDF1 的泵浦光对进入 EDF1 的信号光进行放大, 并从 EDF1 的输出端输出到 WDM5 的输入端, WDM5 将 WDM5 的输入端输入的光信号从 WDM5 的输出端 1 输出给 Isolator 2 的输入端, Isolator 2 放行从 Isolator 2 的输入端输入的信号光并从 Isolator 2 的输出端  
20 输出给 WDM7 的输入端 1, WDM7 将进入 WDM7 的输入端 1 的信号光从 WDM7 的输出端输出到输出端 1;

在图 11A 中, 从输出端 1 和输出端 2 进入的反向的泵浦光分别来自于海缆光纤通信系统的下一个光中继器和上一个中继器; 反向泵浦光的传播方向如下:

来自于海缆光纤通信系统的下一个光中继器的反向泵浦光经输出端 1 进入 WDM7 的输出端, WDM7 将从 WDM7 的输出端进入的反向泵浦光从 WDM7 的输入端 2 传出, 从 WDM7 的输入端 2 传出的反向泵浦光进入耦合器 3 的输入端 1;

来自于海缆光纤通信系统的上一个光中继器的反向泵浦光经输出端 1 进

入 WDM8 的输出端, WDM8 将从 WDM8 的输出端进入的反向泵浦光从 WDM8 的输入端 2 传出, 从 WDM8 的输入端 2 传出的反向泵浦光进入耦合器 3 的输入端 1;

耦合器 3 将进入耦合器 3 的输入端 1 以及进入耦合器 3 的输入端 2 的反向泵浦光耦合并分为两路, 一路从耦合器 3 的输出端 1 传出并发往 WDM5 的输出端 2, 另一路从耦合器 3 的输出端 2 传出并发送 WDM6 的输出端 2;

从 WDM5 的输出端 2 进入的反向泵浦光穿过 WDM5 并从 WDM5 的输入端传出, 从 WDM5 的输入端传出的反向泵浦光进入所述 EDF1 的输出端; 从 EDF1 的输出端进入的反向泵浦光对经所述 EDF1 的信号光进行放大。

10 以上实施例, 泵浦光的波长选择 1455nm 泵浦, 使得 1550nm 波段信号光获得最高喇曼增益, 有利于降低光中继器噪声系数; 同时该波长亦处在掺铒光纤的受激吸收带宽范围内, 残余泵浦光可以起到激励铒离子的作用。

另外, 在图 11A 所示的结构中耦合器可以均使用 3dB 耦合器; 1455nm 的两个喇曼泵浦通过 PBC 合波, 然后再通过 3dB 耦合器分光, 通过 WDM 器件耦合到信号光的光路中。1455nm 泵浦通过 PBC 合波使得泵浦光具有较低的偏振度, 有利于降低偏振相关增益。在 EDFA 的输入侧使用一个光隔离器 (Isolator 1) 用于隔离 EDF 中产生的反向自发辐射。进一步的还可以使用一个增益平坦滤波器 (GFF) 对增益谱进行均衡。

以上实施例, 通过 WDM 器 (WDM7\WDM8) 件从正、反向传输光纤耦合出来的残余泵浦光通过一个 2\*2 耦合器 (耦合器 3) 混合以后再耦合到掺铒光纤中, 实现残余泵浦光的冗余, 即只有正向或反向残余泵浦光时两个 EDFA 的掺铒光纤都可以受到残余泵浦光激励。

以上实施例中, 业务信号光从 Input1 (输入端 1) 输入, 然后依次经过 WDM1, GFF1, 光隔离器 1 和 WDM3 进入掺铒光纤 1 被放大, 然后再经过 WDM5, 光隔离器和 WDM7, 然后从 Output1 (输出端 1) 输出进入下游传输光纤; 两路 1455nm 泵浦光经过 PBC 合波, 然后经过 3dB 耦合器 1 分为两路, 其中一部分通过 WDM1 耦合到 Input1 输出端注入到传输光纤中; 两路 980 泵浦经过 3dB 耦合器 2 混合后分成两路, 其中一路通过 WDM3 耦合到掺铒光纤中被铒离子吸收; 下游光纤中残余的泵浦光从 Output1 端口输入, 然后被

WDM7 耦合分出然后经过 3dB 耦合器 3 分成两路, 其中一路经过 WDM5 耦合到掺铒光纤中被铒离子吸收。

在本实施例中, WDM1、WDM2 还可以通过光环形器替代; GFF1、GFF2 的位置可以调整到隔离器 2 和隔离器 4 之后; 980 泵浦方向可以调整为反向泵浦, 残余喇曼泵浦可以调整为前向泵浦; 为了获得更宽的增益带宽, 以及更大的跨段长度, 还可以增加一对喇曼泵浦激光器, 比如 3dB 耦合器 1 更换为 2 × 2 3dB 耦合器, 另一输入端再连接一对 1425nm 喇曼泵浦可以使得放大带宽覆盖到 1530-1565nm。

为更加具体说明本发明实施例方案的有益效果, 按照如上实施例一设计了一个 12dB 增益光中继器, 并与 EDFA 方案和无残余泵浦耦合的喇曼/EDFA 混合放大方案一起进行对比, 具体如下表 1 所示:

表 1

	EDFA	喇曼/EDFA 混合放大	喇曼/EDFA 混合放大 (本发明实施例)
980nm EDFA 泵浦功率 (注入铒纤)	120mW	120mW	112mW
1455nm 喇曼泵浦功率 (注入传输光纤)	NA	250mW	250mW
上、下游残余喇曼泵浦功率 (注入铒纤)	NA	NA	7mW
铒纤长度	10m	5.7m	5.7m
平均(等效)增益	12dB	12dB	12dB
平均(等效)噪声系数	4.46dB	3.97dB	3.97dB
饱和输出功率	14.8dBm	14.8dBm	14.8dBm
设备内全部泵浦不工作/ 失效时中继器增益	-14.35dB (平均) -20.45dB (最)	-8.16dB (平均) -11.02dB (最小) -4.28dB (最大)	-0.48dB (平均) -1.58dB (最小) 1.19dB (最大)

	小) -6.87dB(最大)		
--	-------------------	--	--

上述 EDFA 以及喇曼/EDFA 混合放大方案和本发明实施例方案在不同条件下的增益、噪声系数谱线见图 11B 和图 11C 所示。

在图 11B 中，以波长 1540nm 为基准，图 11B 中的曲线从上到下依次为：  
喇曼/EDFA 混合放大或 EDFA 放大（有/无残余泵浦耦合）：中继器内部所

5 有泵浦正常；

喇曼/EDFA 混合放大（有残余泵浦耦合）：中继器内部所有泵浦失效；  
喇曼/EDFA 混合放大（无残余泵浦耦合）：中继器内部所有泵浦失效；  
EDFA 放大：全部泵浦失效。

在图 11C 中，以波长 1550nm 为基准，图 11C 中的曲线从上到下依次为：

10 EDFA 放大：中继器内部所有泵浦失效；

喇曼/EDFA 混合放大（无残余泵浦耦合）：中继器内部所有泵浦失效；  
喇曼/EDFA 混合放大（有残余泵浦耦合）：中继器内部所有泵浦失效；  
EDFA 放大：中继器内部所有泵浦正常；

15 喇曼/EDFA 混合放大（有/无残余泵浦耦合（有无残余泵浦耦合对 NF 影响很小，差异可以忽略））：中继器内部所有泵浦正常。

由此可见本发明实施例方案相对 EDFA 方案在噪声系数方面有 0.5dB 左右改善；相对 EDFA 放大方案和喇曼/EDFA 混合放大方案，在全部泵浦失效的场景下有效降低了信号损耗，在长波长区域还可提供少许增益，并且显著降低了泵浦失效时的噪声系数。这都有利于提升光中继器泵浦失效的容忍能力。

20 基于本发明实施例进一步提供如下海缆传输系统实施例。系统组网图如图 1A 和图 1B，其中光中继器采用实施例一光中继器方案，采用无色散补偿大有效面积纯硅芯光纤链路，系统主要配置参数如下表 2 所示：

表 2

参数	单位	参数
信号光波数		60
信号光波长范围	nm	1540-1565
信号光波长间隔	GHz	50

跨段长度	km	72 (对应 12dB 跨段损耗)
跨段数		100
链路光纤		纯硅芯光纤 (Pure Silica Core Fiber, PSCF) 无色散补偿链路
中继器类型		喇曼/EDFA 混合放大光中继器, 上下游残余喇曼泵浦光耦合到 EDFA 铒纤中
中继器饱和输出功率	dBm	14.8
中继器典型噪声系数	dB	4
传输光纤损耗系数	dB/km	典型值 0.165
传输光纤色散系数	ps/nm*km	典型值 20.5
传输光纤色散斜率	ps/nm <sup>2</sup> *km	典型值+0.06
传输光纤有效面积	um <sup>2</sup>	典型值 112
OTU 类型		100Gbit/s PDM-QPSK (Polarization-division multiplexing Quadrature Phase Shift Keying, 偏振复用四相相移键控), 相干接收
OTU 色散容限	ps/nm	>150000
信号光经过传输后 OSNR 容限	dB	14.2dB

经仿真计算评估, 当系统中所有光中继器处于正常状态时, 系统 OSNR 在 18.5-19.3dB OSNR 之间 (见图 11D, 为系统中一个光中继器全部泵浦失效对 OSNR 的影响示意图);

在图 11D 中, 以波长 1545nm 为基准, 图 11D 中的曲线从上到下依次为:

5

喇曼/EDFA 混合放大链路 (所有中继器泵浦正常);

EDFA 放大链路 (所有中继器泵浦正常);

喇曼/EDFA 混合放大链路 (其中一个光中继器泵浦全部失效, 有上下游残

余泵浦耦合);

喇曼/EDFA 混合放大链路(其中一个光中继器泵浦全部失效,无上下游残余泵浦耦合);

信号光经过系统传输后接收 OSNR 容限;

5 EDFA 放大链路(其中一个光中继器泵浦全部失效)。

从图 11D 所示图中可以看出,系统应用本发明光中继器,当其中一个光中继器的所有泵浦都不工作时,系统 OSNR 劣化 0.8-0.4dB,短波长劣化略大,但所有波长 OSNR 都还保持在 17.6dB 以上,离信号经过传输后的 OSNR 容限 14.2dB 仍然有 3.4Db OSNR 裕量,所有业务信号光都可以保持正常传输。

10 而当光中继器如果没有将上下游残余喇曼泵浦光耦合到掺铒光纤时,1540nm 附近部分业务信号光 OSNR 将劣化,并低于信号光经过传输后的 OSNR 容限,会导致业务中断或性能不稳定。如果系统采用传统的纯 EDFA 放大光中继器而非喇曼/EDFA 混合放大光中继器,一个光中继器中的所有泵浦失效则会导致绝大部分业务信号 OSNR 低于业务信号过系统 OSNR 容限及业务中断。

15 由此可见,本发明实施例将上下游残余喇曼泵浦光耦合到 EDFA 显著提升了系统对光中继器故障的容忍能力,在本实施例场景下,即使一个光中继器中所有泵浦失效,仍然可以保证所有业务不中断,相对传统的 EDFA 放大以及喇曼/EDFA 混合放大光中继器有实质性改善。

三、

20 本发明实施例提供了另一种光中继器结构,如图 12 所示,本实施例结构可以与前述实施例中的图 7 以及图 8 的组合对应。包括:环形器、WDM、EDF、耦合器以及 PBC。在图 12 中,有两个输入端(输入端 1 和输入端 2,)两个输出端(输出端 1 和输出端 2)分别对应相反方向的一对光路,两者是对称的,在本实施例中对其中一个光路进行说明,另一光路不再赘述。

25 在图 12 中,环形器 1~环形器 4 中,环形器 1 和环形器 3 属于上面一路光路,WDM1~WDM2 中 WDM1 属于上面一路光路,EDF1~EDF2 中 EDF1 属于上面一路光路,1455 nm 泵浦(pump)是两路光路共用的,耦合器 1~耦合器 4 以及 PBC 均是两路光路共用的,在上面一路光路中,各器件的连接关系如下:

输入端 1 连接环形器 1 的接口 2, 环形器的接口 3 连接 WDM1 的输入端 1, WDM1 的输出端连接 EDF1 的输入端、EDF1 的输出端连接环形器 3 的接口 1, 环形器 3 的接口 2 连接输出端 1;

1455 nm 的泵浦源 1 和 1455 nm 的泵浦源 2 分别连接 PBC 的输入端 1 和  
5 输入端 2, PBC 的输出端连接耦合器 1 的输入端 1, 耦合器 1 的输出端 1 连接耦合器 2 的输入端 1, 耦合器 1 的输出端 2 连接耦合器 3 的输入端 1; 耦合器 2 的输出端 1 连接环形器 1 的端口 1, 耦合器 2 的输出端 2 连接 WDM1 的输入端 2; 环形器 3 的端口 3 连接耦合器 4 的输入端 1, 环形器 1 的端口 3 连接耦合器 4 的输入端 2, 耦合器 4 的输出端 1 连接耦合器 2 的输入端 2, 耦合器 4 的输出端 2 连接耦合器 3 的输入端 2。  
10

以下对光的传播方向进行详细说明:

图 12 所示的结构中, 包含上下两条光路, 其中上面一路光路信号光的传播方向为从左到右 (信号光从输入端 1 进入从输出端 1 传出), 在图 11A 中不再单独使用箭头标识。虚线箭头方向为反向泵浦光传播方向, 点线箭头方向为正向泵浦光传播方向。所谓反向泵浦光是与信号光传播方向相反的泵浦光, 正向泵浦光是与信号光传播方向相同的泵浦光。  
15

泵浦光的传播方向如下:

1455 nm 的泵浦源 1 和 1455 nm 的泵浦源 2 分别产生 1455 nm 的泵浦光, 并分别进入 PBC 的输入端 1 和输入端 2, PBC 将进入 PBC 的输入端 1 和输入端 2 的耦合的泵浦光耦合并在 PBC 的输出端输出到耦合器 1 的输入端, 耦合器 1 将耦合器 1 的泵浦光分为两路, 其中一路发送到耦合器的输入端 1, 另一路发送到耦合器 3 的输入端 1;  
20

从环形器 3 的端口 2 进入的反向泵浦光从环形器 3 的端口 3 传出, 并进入耦合器 4 的输入端 1; 从环形器 4 的端口 2 进入的反向泵浦光从环形器 4 的端口 3 传出, 并进入耦合器 4 的输入端 2; 耦合器 4 将耦合器 4 的输入端 1 以及耦合器 4 的输入端 2 进入的反向泵浦光耦合并分为两路, 一路发送至耦合器 2 的输入端 2, 另一路发送至耦合器 3 的输入端 2;  
25

耦合器 2 将进入耦合器 2 的输入端 1 的泵浦光以及进入耦合器 2 的输入端 2 的反向泵浦光耦合, 并分为两路, 一路泵浦光在耦合器 2 的输出端 1 发往环

形器 1 的端口 1, 进入环形器 1 的端口 1 的泵浦光从环形器 1 的端口 3 发往输入端 1, 另一路泵浦光在耦合器 2 的输出端 2 发往 WDM1 的输入端 2。

信号光的传播方向如下: 信号光从输入端 1 进入光中继器, 进入环形器 1 的端口 2, 并从环形器 1 的端口 3 传出, 从环形器 1 的端口 3 传出的信号光进入 WDM1 的输入端 1; WDM1 将 WDM1 的输入端 1 进入的信号光以及 WDM1 的输入端 2 进入的泵浦光发送到 EDF1 的输入端, 进入 EDF1 的泵浦光对进入 EDF1 的信号光进行放大, 并从 EDF1 的输出端输出到环形器 3 的端口 1, 从环形器 3 的端口 1 进入的信号光从环形器 3 的端口 2 输出到输出端 1。

在以上实施例中, 一组 1455nm 泵浦光, 通过 PBC 合波以后, 然后通过耦合器 1 等分为两份, 然后每一份再通过一个耦合器分成两份, 然后再分别通过环形器和 WDM 耦合到传输光纤和掺铒光纤, 分别作为喇曼泵浦光和 EDFA 的泵浦光。两个传输方向来自下游光中继器的残余喇曼泵浦光通过另一环形器耦合输出, 然后通过一个 2\*2 耦合器混合, 再从耦合器 2、3 的另一输入端输入, 分成两路后分别注入铒纤和传输光纤。在该实施例中耦合器 1 和耦合器 4 为等比例耦合器, 即 50/50 耦合器, 耦合器 2 和耦合器 3 为不等比例耦合器, 比如 30/70 耦合器。

光信号流向如下: 业务信号光从 Input1 输入, 然后依次经过环形器 1, WDM1 进入掺铒光纤 1 被放大, 然后再经过环形器 3, 然后从 Output1 输出进入下游传输光纤。两路 1455nm 泵浦光经过 PBC 合波, 然后经过耦合器 1 分为两路, 其中一部分再通过耦合器 2 分为两路, 比例较大的一路通过环形器 1 耦合注入到上游传输光纤中, 比例较小的一路通过 WDM1 耦合注入掺铒光纤 1; 耦合器 1 分出的另一部分泵浦光以相同的方式最终耦合到另一条光纤链路的上游传输光纤和掺铒光纤 2。下游光纤中残余的泵浦光从 Output1 端口输入, 然后被环形器 3 耦合分出然后经过耦合器 4 等分成两路, 其中一路经过耦合器 2 再分为两路, 比例较小的一路通过环形器 1 耦合注入到上游传输光纤中, 比例较大的一路通过 WDM1 耦合注入掺铒光纤 1; 另一路以相同的方式最终耦合到另一条光纤链路的上游传输光纤和掺铒光纤 2。

#### 四、

本发明实施例提供了另一种光中继器结构, 如图 13 所示, 本实施例结构

可以与前述实施例中的图 5 以及图 6A 的组合对应。包括: WDM、GFF、Isolator、EDF、耦合器以及 PBC。在图 13 中, 有两个输入端 (输入端 1 和输入端 2,) 两个输出端 (输出端 1 和输出端 2) 分别对应相反方向的一对光路, 两者是对称的, 在本实施例中对其中一个光路进行说明, 另一光路不再赘述。

5 在图 13 中, WDM1~WDM8 中 WDM1、WDM3、WDM5、WDM7 属于上面一路光路, GFF1 和 GFF2 中, GFF1 属于上面一路光路, EDF1~EDF2 中 EDF1 属于上面一路光路, Isolator 1~Isolator 4 中, Isolator 1 和 Isolator3 属于上面一路光路, 1455 nm 泵浦 (pump) 的泵浦源是两路光路共用的, 耦合器 1、耦合器 2 以及 PBC 均是两路光路共用的, 在上面一路光路中, 各器件的连接  
10 关系如下:

WDM1 的输入端连接输入端 1, WDM1 的输出端 1 连接 GFF1 的输入端, WDM1 的输出端 2 连接 WDM3 的输入端 2; GFF1 的输出端连接 Isolator 1 的输入端, Isolator 1 的输出端连接 WDM3 的输入端 1, WDM3 的输出端连接 EDF1 的输入端, EDF1 的输出端连接 WDM5 的输入端, WDM5 的输出端 1 连接  
15 Isolator 3 的输入端, WDM5 的输出端 2 连接耦合器 1 的输出端 1, Isolator 3 的输出端连接 WDM7 的输入端 1, WDM7 的输出端连接输出端 1;

1455 nm 的泵浦源 1 和 1455 nm 的泵浦源 2 分别连接 PBC 的输入端 1 和输入端 2, PBC 的输出端连接耦合器 1 的输入端 1, 耦合器 1 的输出端 1 连接 WDM5 的输出端 2, 耦合器 1 的输出端 2 连接 WDM6 的输出端 2;

20 WDM7 的输入端 2 连接耦合器 2 的输入端 1, WDM8 的输入端 2 连接耦合器 2 的输入端 2, 耦合器 2 的输出端连接耦合器 1 的输入端 2。

以下对光的传播方向进行详细说明:

图 13 所示的结构中, 包含上下两条光路, 其中 Isolator 所示的方向为信号光的传播方向, 在图 13 中不再单独使用箭头标识。虚线箭头方向为反向泵浦光传播方向, 实线箭头方向为光中继器内产生的泵浦光传播方向。所谓反向泵浦光是与信号光传播方向相反的泵浦光, 正向泵浦光是与信号光传播方向相同的泵浦光。  
25

在图 13 中, 从输出端 1 和输出端 2 进入的反向的泵浦光分别来自于海缆光纤通信系统的下一个光中继器和上一个中继器; 反向泵浦光的传播方向如

下:

反向泵浦光从输出端 1 传入光中继器, 进入 WDM7 的输出端, WDM7 将反向泵浦光耦合出来从 WDM7 的输入端 2 传出, 发往耦合器 2 的输入端 1; 反向泵浦光从输出端 2 传入光中继器, 进入 WDM8 的输出端, WDM8 将反向泵浦光耦合出来并从 WDM8 输入端 2 传出, 发往耦合器 2 的输入端 2; 耦合器 2 将进入耦合器 2 的输入端 1 的反向泵浦光以及进入耦合器 2 的输入端 2 的反向泵浦光耦合, 耦合器 2 将耦合后的反向泵浦光从耦合器 2 的输出端发往耦合器 1 的输入端 2。

泵浦光的传播方向如下:

10 1455 nm 的泵浦源 1 和 1455 nm 的泵浦源 2 分别产生 1455 nm 的泵浦光, 并分别进入 PBC 的输入端 1 和输入端 2, PBC 将进入 PBC 的输入端 1 和输入端 2 的泵浦光耦合并在 PBC 的输出端输出到耦合器 1 的输入端;

耦合器 1 将进入耦合器 1 的输入端 1 的泵浦光以及进入耦合器 1 的输入端 2 的反向泵浦光耦合, 并分为两路泵浦光, 其中一路在耦合器 1 的输出端 1 发往 WDM5 的输出端 2, 另一路发往 WDM6 的输出端 2;

进入 WDM5 的输出端 2 的泵浦光, 由 WDM5 耦合出并经 WDM5 的输入端发往 EDF1 的输出端, 进入 EDF1 的泵浦光对经 EDF1 的信号光进行放大, 残余的泵浦光经 EDF1 的输入端发往 WDM3 的输出端, WDM3 将从 WDM3 的输出端进入的残余泵浦光耦合出, 并经 WDM3 的输入端 2 发往 WDM1 的输出端 2, WDM1 将进入 WDM1 的输出端 2 的残余泵浦光耦合并从 WDM1 的输入端发往输入端 1, 这一路泵浦光将沿输入端 1 的方向传入海缆光纤通信系统上一个光中继器。

信号光的传播方向如下: 信号光从输入端 1 进入光中继器, 进入 WDM1 的输入端, 并穿过 WDM1 经 WDM1 的输出端 1 进入 GFF1 的输入端, 并穿过 GFF1 经 GFF1 的输出端进入 Isolator 1 的输入端, Isolator 1 放行从 Isolator 1 的输入端输入的信号光并从 Isolator 1 的输出端输出给 WDM3 的输入端 1; WDM3 将 WDM3 的输入端 1 输入的信号光从 WDM3 的输出端输出到 EDF1 的输入端, 进入 EDF1 的泵浦光对进入 EDF1 的信号光进行放大, 并从 EDF1 的输出端输出到 WDM5 的输入端, WDM5 将 WDM5 的输入端输入的光信号

从 WDM5 的输出端 1 输出给 Isolator 3 的输入端，Isolator 3 放行从 Isolator 3 的输入端输入的信号光并从 Isolator 3 的输出端输出给 WDM7 的输入端 1，WDM7 将进入 WDM7 的输入端 1 的信号光从 WDM7 的输出端输出到输出端 1。

- 5 值得注意的是，上述装置只是按照功能逻辑进行划分的，但并不局限于上述的划分，只要能够实现相应的功能即可；另外，各功能单元的具体名称也只是为了便于相互区分，并不用于限制本发明的保护范围。

10 另外，本领域普通技术人员可以理解实现上述各方法实施例中的全部或部分步骤是可以通程序来指令相关的硬件完成，相应的程序可以存储于一种计算机可读存储介质中，上述提到的存储介质可以是只读存储器，磁盘或光盘等。

以上仅为本发明较佳的具体实施方式，但本发明的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明实施例揭露的技术范围内，可轻易想到的变化或替换，都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此，本发明的保护范围应该以权利要求的保护范围为准。

## 权 利 要 求

1、一种光中继器，其特征在于，包括：

光中继器的第一输入端、光中继器的第一输出端、第一掺铒光纤、第一耦合器，第二耦合器以及第一泵浦光处理组件；

5 所述光中继器的第一输入端连接所述第一掺铒光纤的输入端、所述第一掺铒光纤的输出端连接所述第一耦合器的输入端，所述第一耦合器的第一输出端连接所述第二耦合器的第一输入端，所述第二耦合器的输出端连接所述光中继器的第一输出端；第一泵浦光处理组件的输入端连接所述第二耦合器的第二输入端；所述第一泵浦光处理组件的输出端连接所述第一耦合器的第二输出端；

10 反向泵浦光从第一输出端进入所述光中继器，经第二耦合器的输出端进入所述第二耦合器，第二耦合器耦合出进入所述第二耦合器的反向泵浦光，并经所述第二耦合器的第二输入端发送至所述第一泵浦光处理组件的输入端；

信号光从所述光中继器的第一输入端进入所述光中继器，依次经过所述第一掺铒光纤、第一耦合器以及第二耦合器，最后经所述光中继器的第一输出端  
15 传出所述光中继器；

第一泵浦光处理组件的输出端向所述第一耦合器的第二输出端发送泵浦光；所述泵浦光包含所述第一泵浦光处理组件自身产生的本端泵浦光和/或所述反向泵浦光；第一耦合器将所述第一耦合器的第二输出端接收到的泵浦光，经所述第一耦合器的输入端发往所述第一掺铒光纤的输出端，从所述第一掺铒  
20 光纤的输出端进入所述第一掺铒光纤。

2、根据权利要求1所述光中继器，其特征在于，还包括：第三耦合器；所述第一泵浦光处理组件的输出端包括：所述第一泵浦光处理组件的第一输出端和所述第一泵浦光处理组件的第二输出端；

所述第三耦合器的输入端连接所述光中继器的第一输入端，所述第三耦合器的第一输出端连接所述第一掺铒光纤的输入端；所述第三耦合器的第二输出端连接所述第一泵浦光处理组件的第二输出端；所述第一耦合器的第二输出端连接所述第一泵浦光处理组件的第一输出端；  
25

所述第一泵浦光处理组件的第二输出端向所述第三耦合器的第二输出端发送泵浦光；所述第三耦合器将所述第三耦合器的第二输出端接收到的泵浦光

从所述第三耦合器的输入端发往所述光中继器的第一输入端；

所述第一泵浦光处理组件的第一输出端向所述第一耦合器的第二输出端发送泵浦光；第一耦合器将所述第一耦合器的第二输出端接收到的泵浦光，经所述第一耦合器的输入端发往所述第一掺铒光纤的输出端。

- 5 3、根据权利要求2所述光中继器，其特征在于，还包括：第六耦合器；所述第一泵浦光处理组件的输出端还包括：所述第一泵浦光处理组件的第三输出端；

10 所述第六耦合器位于所述第三耦合器与所述第一掺铒光纤之间的信号光的光路中；所述第三耦合器的第一输出端连接所述第六耦合器的第一输入端，所述第一泵浦光处理组件的第三输出端连接所述第六耦合器的第二输入端，所述第六耦合器的输出端连接所述第一掺铒光纤的输入端；

所述第一泵浦光处理组件的第三输出端向所述第六耦合器的第二输入端发送泵浦光；第六耦合器将所述第六耦合器的第二输入端接收到的泵浦光，经所述第六耦合器的输出端发往所述第一掺铒光纤的输入端。

- 15 4、根据权利要求1所述光中继器，其特征在于，还包括：第四耦合器、光隔离器以及第五耦合器；

20 所述第四耦合器、光隔离器以及第五耦合器依次连接于所述光中继器与所述第一掺铒光纤之间的信号光的光路中；所述第五耦合器的输入端与所述光中继器的第一输入端连接，所述第五耦合器的第一输出端与所述光隔离器的输入端连接，所述光隔离器的输出端与所述第四耦合器的第一输入端连接，所述第五耦合器的第二输出端与所述第四耦合器的第二输入端连接；

25 进入所述第一掺铒光纤的泵浦光对经所述第一掺铒光纤的信号光进行放大之后，进入所述第一掺铒光纤的泵浦的残余泵浦光经所述第一掺铒光纤的输出端发往所述第四耦合器的输出端，第四耦合器将所述第四耦合器的输出端接收到的残余泵浦光经所述第四耦合器的第二输入端发往所述第五耦合器的第二输出端，所述第五耦合器将所述第五耦合器的输出端接收到的残余泵浦光经所述第五耦合器的输入端发往所述光中继器的第一输入端。

5、根据权利要求1~4任意一项所述光中继器，其特征在于，所述第一泵浦光处理组件的输入端包括：所述第一泵浦光处理组件的第一输入端和所述第

一泵浦光处理组件的第二输入端;

所述第一泵浦光处理组件的第一输入端为所述第一泵浦光处理组件与所述第二耦合器的第二输入端连接的端口;所述第一泵浦光处理组件的第二输入端接收来自与所述信号光相对一侧信号光的光路的反向泵浦光。

- 5        6、根据权利要求 1 或 4 所述光中继器,其特征在于,若所述第一泵浦光处理组件的输入端包括:所述第一泵浦光处理组件的第一输入端和所述第一泵浦光处理组件的第二输入端;所述第一泵浦光处理组件的第一输入端为所述第一泵浦光处理组件与所述第二耦合器的第二输入端连接的端口;所述第一泵浦光处理组件的第二输入端接收来自与所述信号光相对一侧信号光的光路的反向泵浦光;

10        所述第一泵浦光处理组件包括:第一泵浦源,第一偏振合束器、第十耦合器、第十一耦合器;

- 15        第一泵浦源的输出端连接所述第一偏振合束器的输入端、第一偏振合束器的输出端连接所述第十耦合器的第一输入端,所述第十耦合器的第一输出端作为所述第一泵浦光处理组件的输出端;

第十一耦合器的第一输入端作为所述第一泵浦光处理组件的第一输入端,所述第十一耦合器的第二输入端作为所述第一泵浦光处理组件的第二输入端,所述第十一耦合器的第一输出端与所述第十耦合器的第二输入端连接;

- 20        所述第一泵浦源产生本端泵浦光并将所述本端泵浦光发送到所述第一偏振合束器的输入端,所述第一偏振合束器将所述第一偏振合束器的输入端进入的本端泵浦光经所述第一偏振合束器的输出端,发往所述第十耦合器的第一输入端;所述第十一耦合器将从所述第十一耦合器的第一输入端进入的反向泵浦光以及从所述第十一耦合器的第二输入端进入的反向泵浦光耦合,并将耦合得到的部分反向泵浦光在所述第十一耦合器的第一输出端发往所述第十耦合器的第二输入端;所述第十耦合器将从所述第十耦合器的第一输入端进入的本端泵浦光以及从所述第十耦合器的第二输入端进入的反向泵浦光进行耦合,并将耦合得到的部分泵浦光从所述第十耦合器的第一输出端输出。

25        7、根据权利要求 3 所述光中继器,其特征在于,所述第一泵浦光处理组件包括:

第二泵浦源、第三泵浦源、第十二耦合器、第十三耦合器；

所述第二泵浦源的输出端与所述第十二耦合器的输入端连接，所述第十二耦合器的第一输出端作为所述第一泵浦光处理组件的第二输出端；所述第三泵浦源的输出端与所述第十三耦合器的输入端连接，所述第十三耦合器的第一输出端作为所述第一泵浦光处理组件的第三输出端；

第二泵浦源产生第一本端泵浦光，并经所述第二泵浦源的输出端将所述第一本端泵浦光发送至所述第十二耦合器的输入端，所述第十二耦合器将所述第十二耦合器的输入端进入的第一本端泵浦光进行耦合，并将耦合得到的部分第一本端泵浦光在所述第十二耦合器的第一输出端输出；

第三泵浦源产生第二本端泵浦光，并经所述第三泵浦源的输出端将所述第二本端泵浦光发送至所述第十三耦合器的输入端，所述第十三耦合器将所述第十三耦合器的输入端进入的第二本端泵浦光进行耦合，并将耦合得到的部分第二本端泵浦光在所述第十三耦合器的第一输出端输出；

来自第二耦合器的第二输出端的反向泵浦光从所述第一泵浦光处理组件的输入端进入，并直接从所述第一泵浦光处理组件的第一输出端输出至所述第一耦合器的第二输出端；

若所述第一泵浦光处理组件的输入端包括：所述第一泵浦光处理组件的第一输入端和所述第一泵浦光处理组件的第二输入端；所述第一泵浦光处理组件的第一输入端为所述第一泵浦光处理组件与所述第二耦合器的第二输入端连接的端口；所述第一泵浦光处理组件的第二输入端接收来自与所述信号光相对一侧信号光的光路的反向泵浦光，所述来自与所述信号光相对一侧信号光的光路的反向泵浦光直接从所述第一泵浦光处理组件的第一输出端输出至所述第一耦合器的第二输出端。

8、根据权利要求7所述所述光中继器，其特征在于，若所述第一泵浦光处理组件的输入端包括：所述第一泵浦光处理组件的第一输入端和所述第一泵浦光处理组件的第二输入端；所述第一泵浦光处理组件还包括：第十四耦合器；

所述第十四耦合器的第一输入端与作为所述第一泵浦光处理组件的第一输入端，所述第十四耦合器的第二输入端与作为所述第一泵浦光处理组件的第二输入端，所述第十四耦合器的第一输出端作为所述第一泵浦光处理组件的第

一输出端;

5 所述第十四耦合器将进入所述第十四耦合器的第一输入端的来自所述第二耦合器的反向泵浦光,以及进入所述第十四耦合器的第二输入端的来自与所述信号光相对一侧信号光的光路的反向泵浦光进行耦合,并将耦合得到的部分反向泵浦光从所述第十四耦合器的第一输出端发往所述第一耦合器的第二输出端。

9、根据权利要求1至4任意一项所述光中继器,其特征在于,所述第二耦合器为第一环形器;所述第一环形器为:按照第一端口、第二端口以及第三端口顺序连接的环形器;

10 所述第一环形器的第一端口为所述第二耦合器的第一输入端,所述第一环形器的第二端口为所述第二耦合器的输出端,所述第一环形器的第三端口为所述第二耦合器的第二输入端。

10、根据权利要求2至4任意一项所述光中继器,其特征在于,所述第三耦合器为第二环形器;所述第二环形器为:按照第一端口、第二端口以及第三端口顺序连接的环形器;

15 所述第二环形器的第一端口为所述第三耦合器的第二输出端,所述第二环形器的第二端口为所述第三耦合器的输入端,所述第二环形器的第三端口为所述第三耦合器的第一输出端。

11、根据权利要求1至4任意一项所述光中继器,其特征在于,所述信号光的光路中还串接有增益平坦滤波器。

12、一种光中继器,其特征在于,包括:

光中继器的第一输入端、光中继器的第一输出端、第二掺铒光纤、第七耦合器、第八耦合器,第九耦合器以及第二泵浦光处理组件;

25 所述光中继器的第一输入端连接所述第九耦合器的输入端,第九耦合器的第一输出端连接所述第七耦合器的第一输入端,第七耦合器的输出端连接所述第二掺铒光纤,所述第二掺铒光纤的输出端连接所述第八耦合器的第一输入端,第八耦合器的输出端连接所述光中继器的输出端;所述第二泵浦光处理组件的输入端连接所述第八耦合器的第二输入端;所述第二泵浦光处理组件的第一输出端连接所述第九耦合器的第二输出端,所述第二泵浦光处理组件的第二

输出端连接所述第七耦合器的第二输入端;

反向泵浦光从第一输出端进入所述光中继器,经第八耦合器的输出端进入所述第八耦合器,第八耦合器耦合出进入所述第八耦合器的反向泵浦光,并经所述第八耦合器的第二输入端发送至所述第二泵浦光处理组件的输入端;

5 信号光从所述光中继器的第一输入端进入所述光中继器,依次经过所述第九耦合器、第七耦合器、第二掺铒光纤以及第八耦合器,最后经所述光中继器的第一输出端传出所述光中继器;

10 第二泵浦光处理组件的第一输出端向所述第九耦合器的第二输出端发送泵浦光;第二泵浦光处理组件的第二输出端向所述第七耦合器的第二输入端发送泵浦光;所述泵浦光包含所述第一泵浦光处理组件自身产生的本端泵浦光和/或所述反向泵浦光;进入所述第九耦合器的第二输出端的泵浦光经所述第九耦合器的输入端,从所述光中继器的第一输入端传出所述光中继器;进入所述第七耦合器的第二输入端的泵浦光被所述第七耦合器耦合,并在所述第七耦合器的输出端发往所述第二掺铒光纤的输入端。

15 13、根据权利要求 12 所述光中继器,其特征在于,所述第二泵浦光处理组件的输入端包括:所述第二泵浦光处理组件的第一输入端和所述第二泵浦光处理组件的第二输入端;

20 所述第二泵浦光处理组件的第一输入端为所述第二泵浦光处理组件与所述第八耦合器的第二输入端连接的端口;所述第二泵浦光处理组件的第二输入端是接收来自与所述信号光相对一侧信号光的光路的反向泵浦光。

14、根据权利要求 13 所述光中继器,其特征在于,所述第二泵浦光处理组件包括:

第四泵浦源、第二偏振合束器、第十五耦合器、第十六耦合器、以及第十七耦合器;

25 所述第四泵浦源的输出端与所述第二偏振合束器的输入端连接,所述第二偏振合束器的输出端与所述第十五耦合器的输入端连接,所述第十五耦合器的第一输出端与所述第十六耦合器的第一输入端连接,所述第十六耦合器的第一输出端作为所述第二泵浦光处理组件的第一输出端,所述第十六耦合器的第二输出端作为所述第二泵浦光处理组件的第二输出端;所述第十七耦合器的第一

输入端作为所述第二泵浦光处理组件的第一输入端,所述第十七耦合器的第二输入端作为所述第二泵浦光处理组件的第二输入端;所述第十七耦合器的第一输出端与所述第十六耦合器的第二输入端连接;

5 第四泵浦源产生本端泵浦光,并经所述第二泵浦源的输出端将所述本端泵浦光发送至所述第二偏振合束器的输入端,经所述第二偏振合束器的输出端发往所述第十五耦合器的输入端,所述第十五耦合器对进入所述第十五耦合器的本端泵浦光进行耦合,并将耦合得到的部分本段泵浦光发送所述第十六耦合器的第一输入端;所述第十七耦合器将进入所述第十七耦合器的第一输入端的来自所述第八耦合器的反向泵浦光,以及进入所述第十七耦合器的第二输入端的来自与  
10 所述信号光相对一侧信号光的光路的反向泵浦光进行耦合,并将耦合得到的部分反向泵浦光经所述第十七耦合器的第一输出端发往所述第十六耦合器的第二输入端;所述第十六耦合器将进入所述第十六耦合器的第二输入端的反向泵浦光,以及进入所述第十六耦合器的第一输入端的本端泵浦光进行耦合,并将耦合得到的一部分泵浦光经所述第十六耦合器的第一输出端发往所述  
15 第九耦合器,将耦合得到的另一部分泵浦光经所述第十六耦合器的第二输出端发往所述第七耦合器。

15、根据权利要求 12 至 14 任意一项所述光中继器,其特征在于,所述第八耦合器为第三环形器;所述第三环形器为:按照第一端口、第二端口以及第三端口顺序连接的环形器;

20 所述第三环形器的第一端口为所述第八耦合器的第一输入端,所述第三环形器的第二端口为所述第二耦合器的输出端,所述第三环形器的第三端口为所述第二耦合器的第二输入端。

16、根据权利要求 12 至 14 任意一项所述光中继器,其特征在于,所述第九耦合器为第四环形器;所述第四环形器为:按照第一端口、第二端口以及第三端口顺序连接的环形器;

25 所述第四环形器的第一端口为所述第九耦合器的第二输出端,所述第四环形器的第二端口为所述第九耦合器的输入端,所述第四环形器的第三端口为所述第九耦合器的第一输出端。

17、根据权利要求 12 至 14 任意一项所述光中继器,其特征在于,所述信

号光的光路中还串接有增益平坦滤波器。

18、一种光纤通信系统，包括：光缆，光缆内置光中继器，其特征在于，所述光中继器为权利要求 1~17 任意一项的光中继器。

5

10

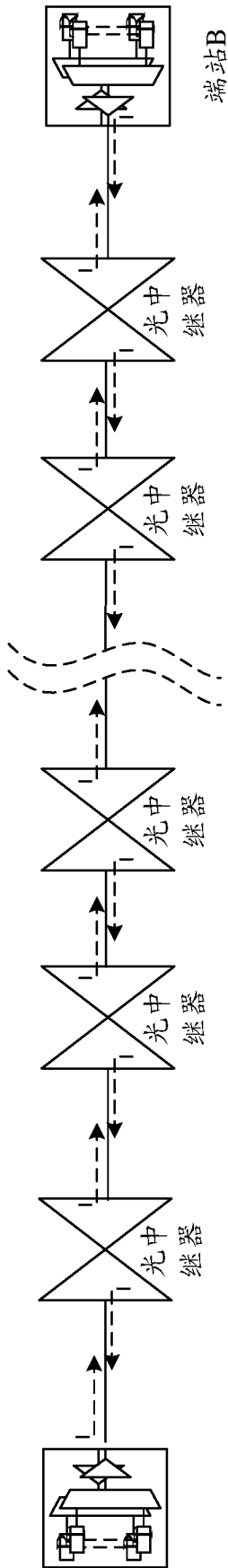


图 1A

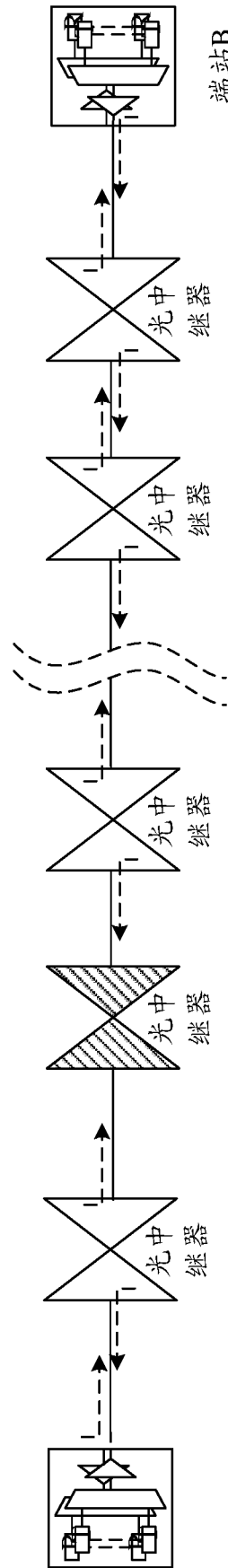


图 1B

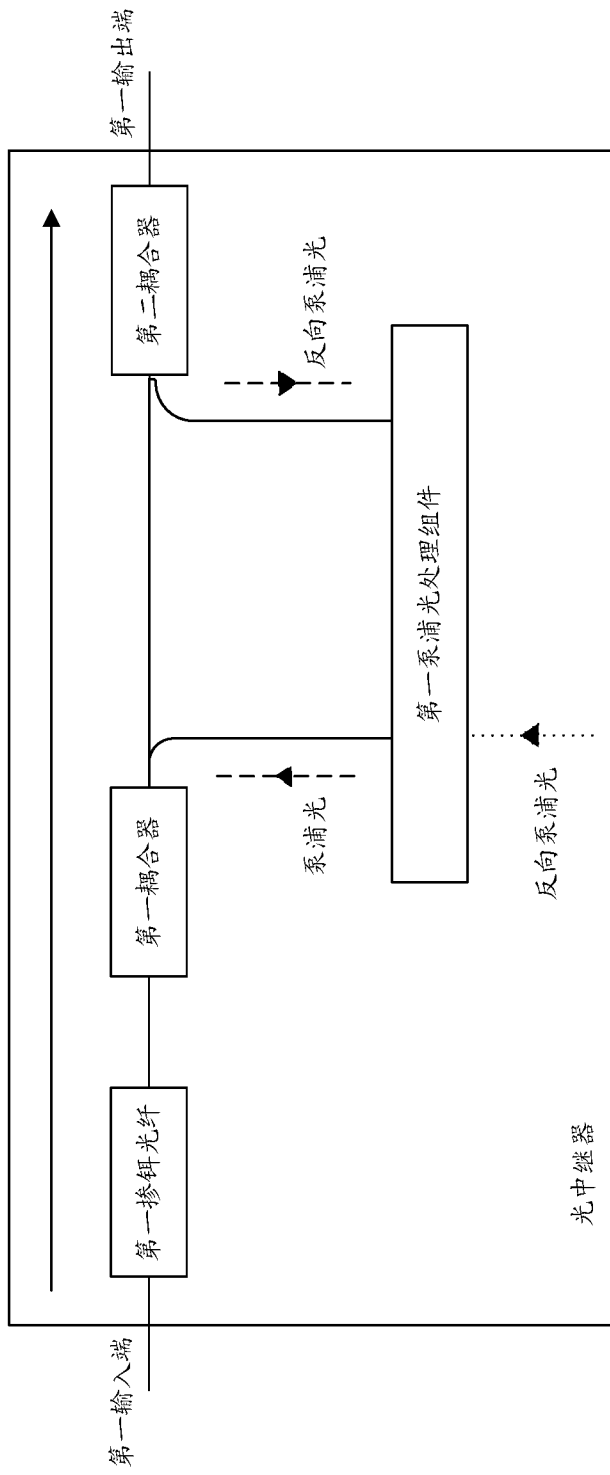


图 2

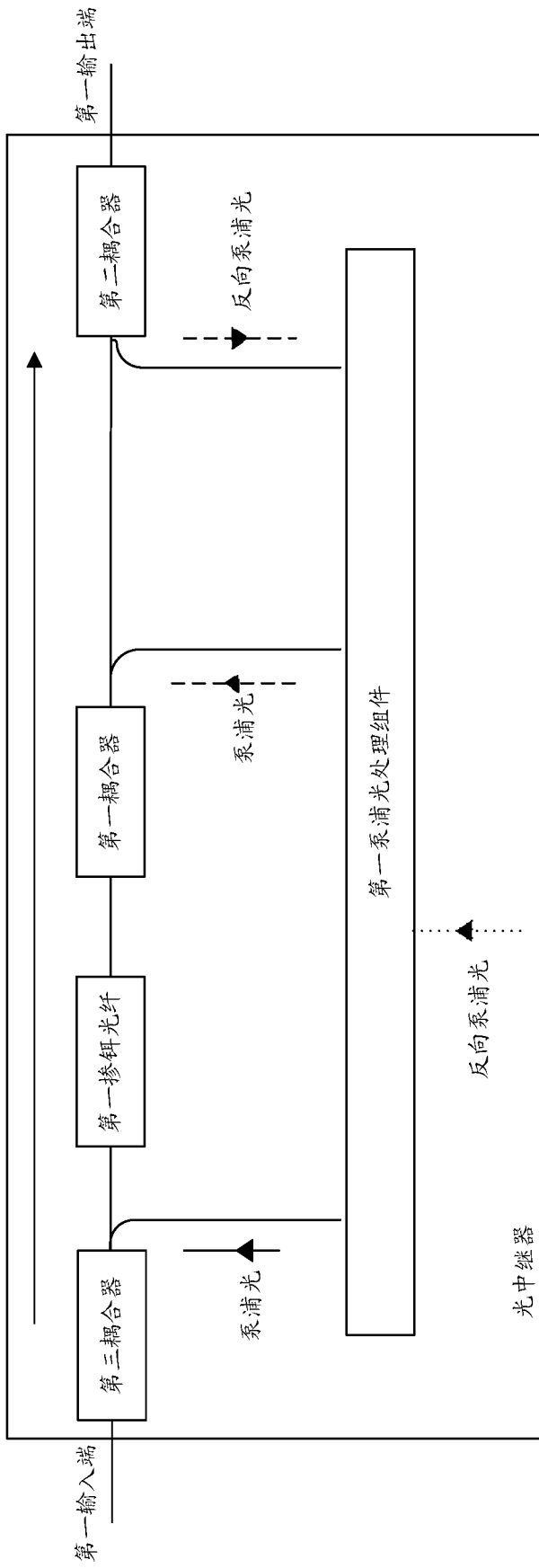


图 3

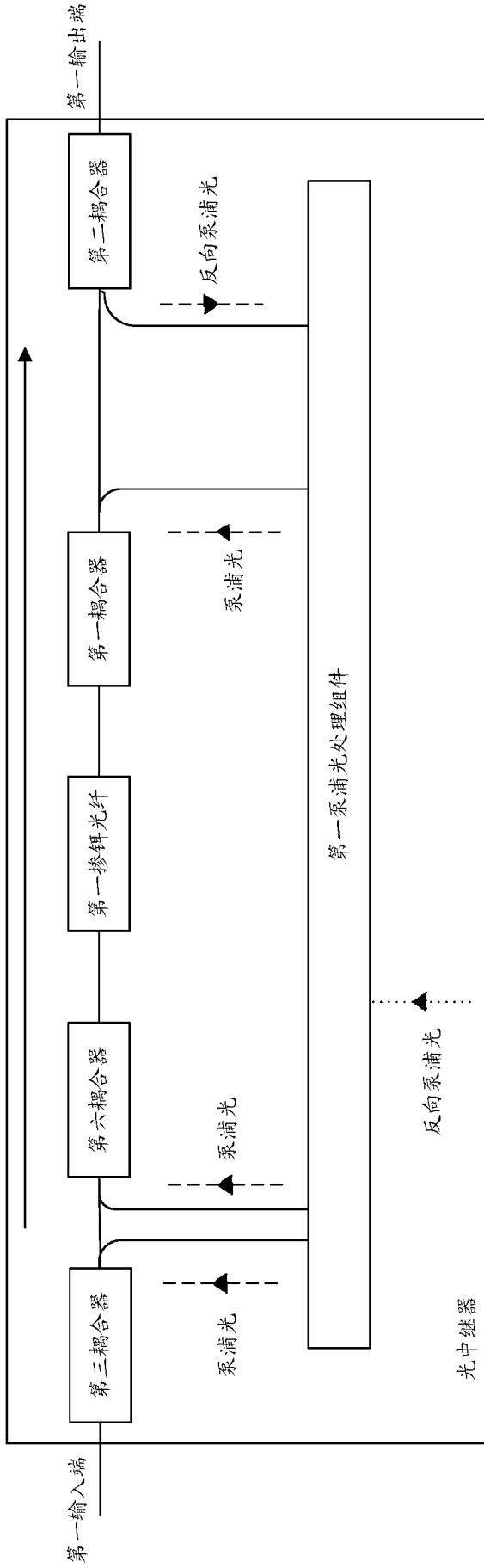


图 4

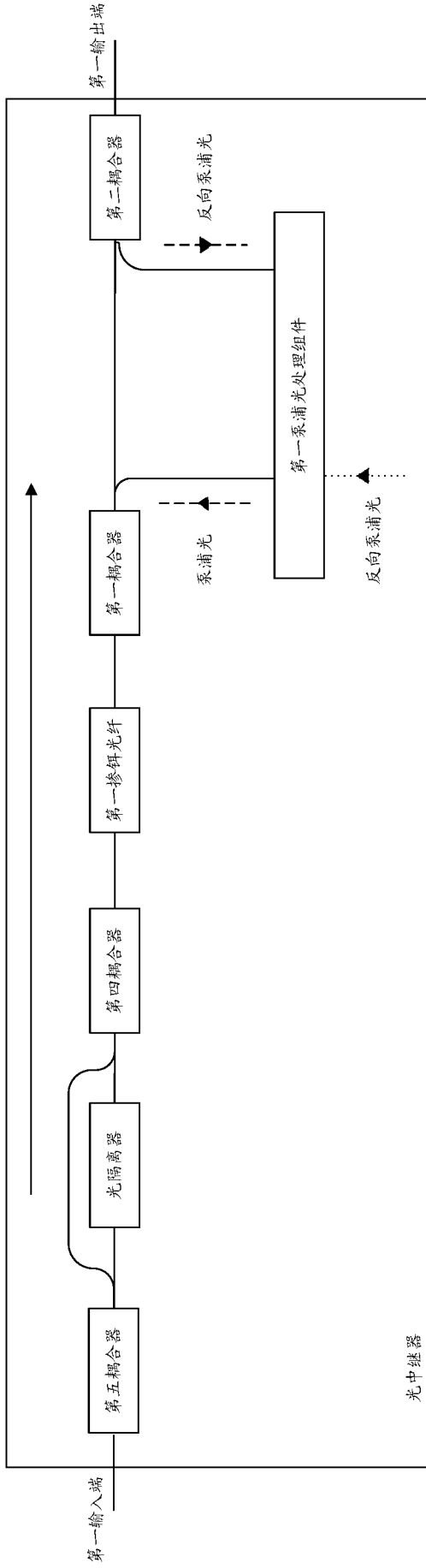


图 5

—6/19—

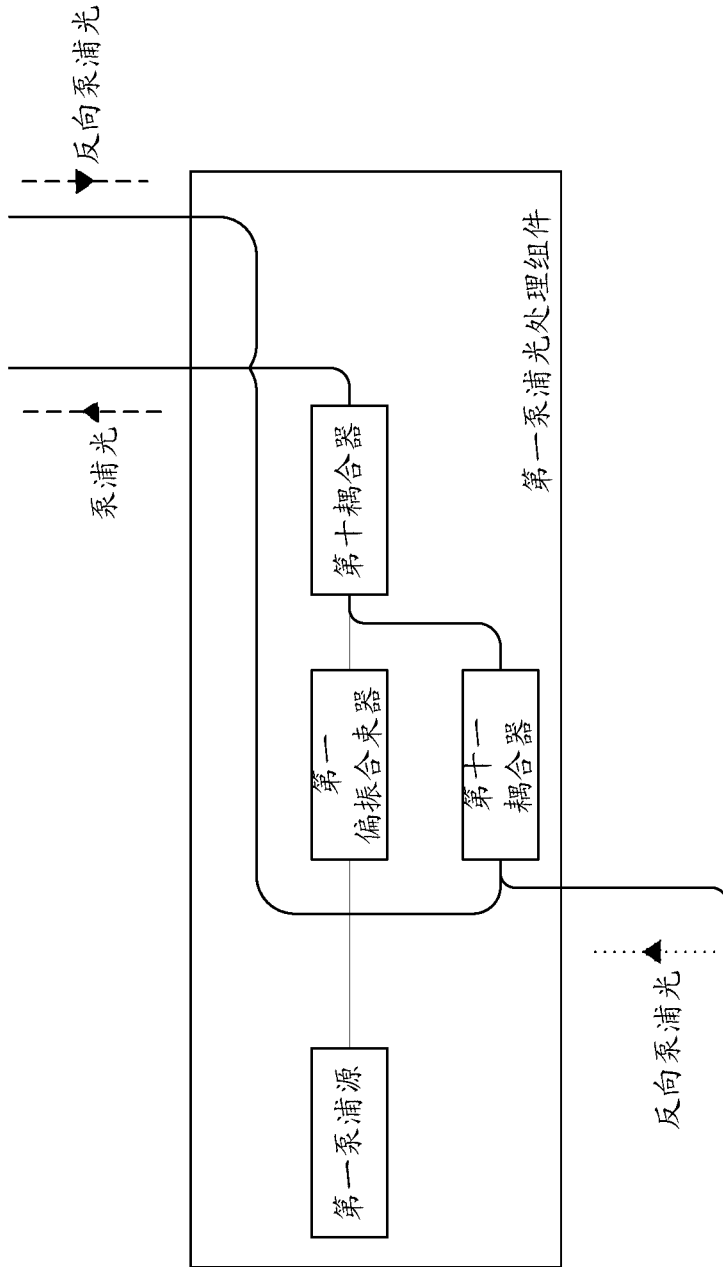


图 6A

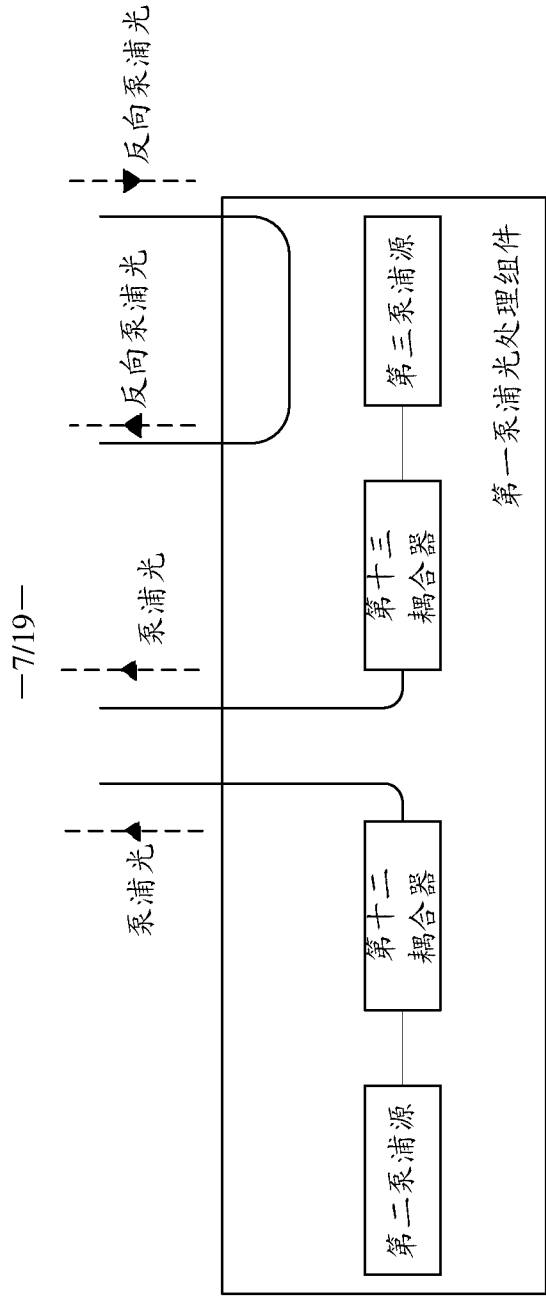


图 6B

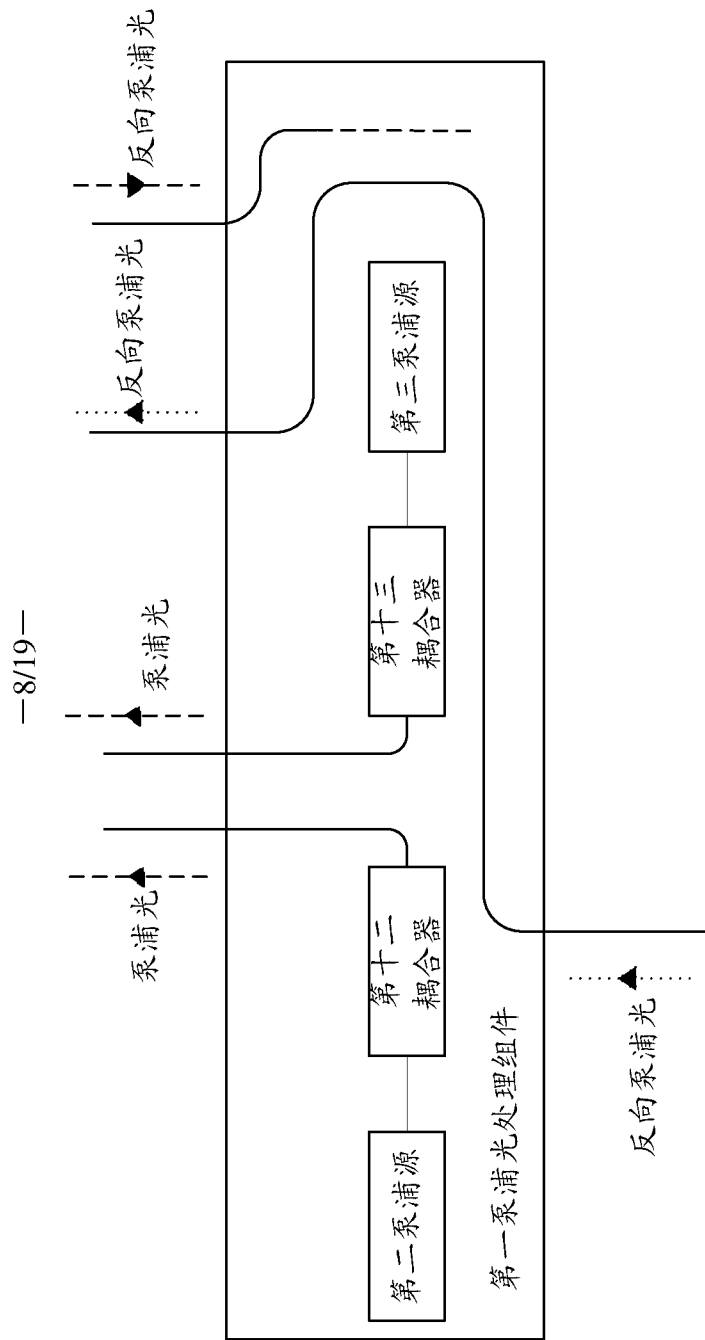


图 6C

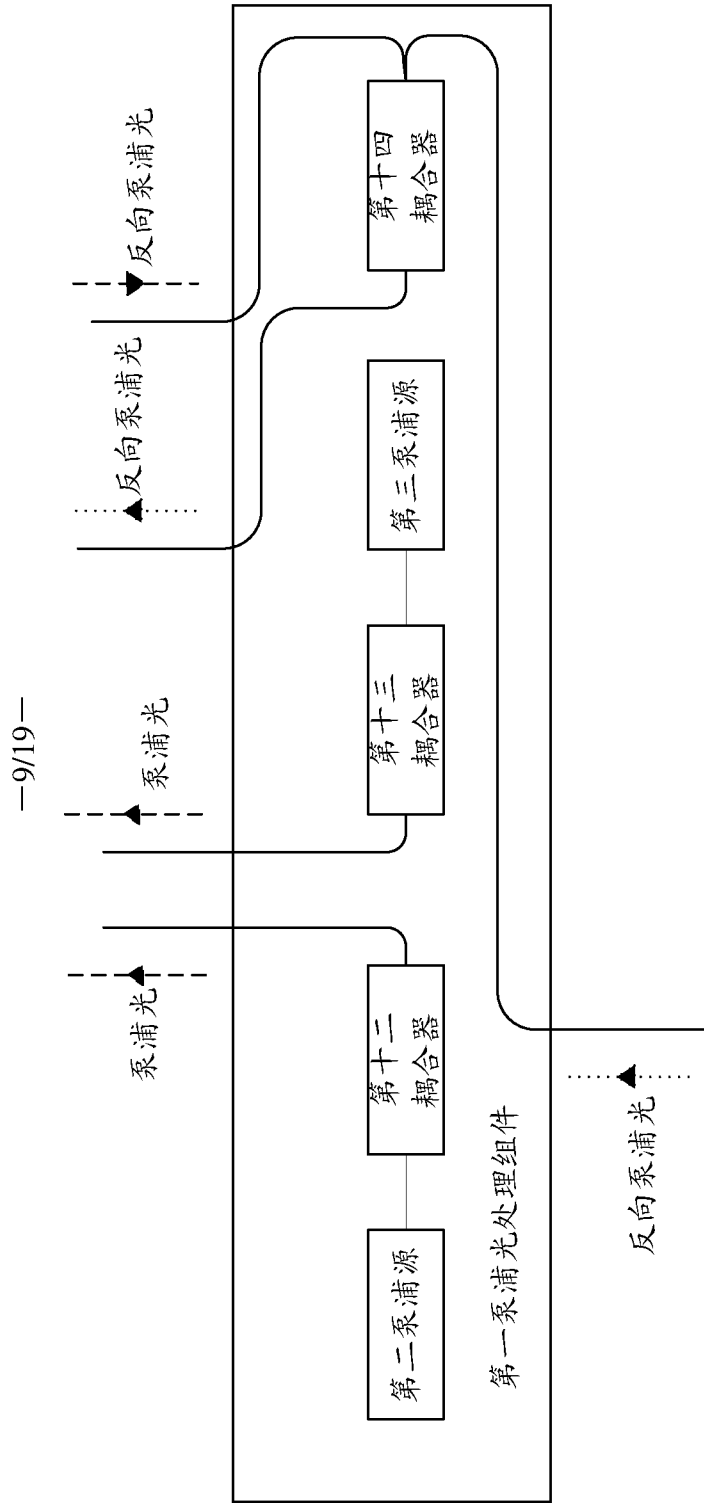


图 6D

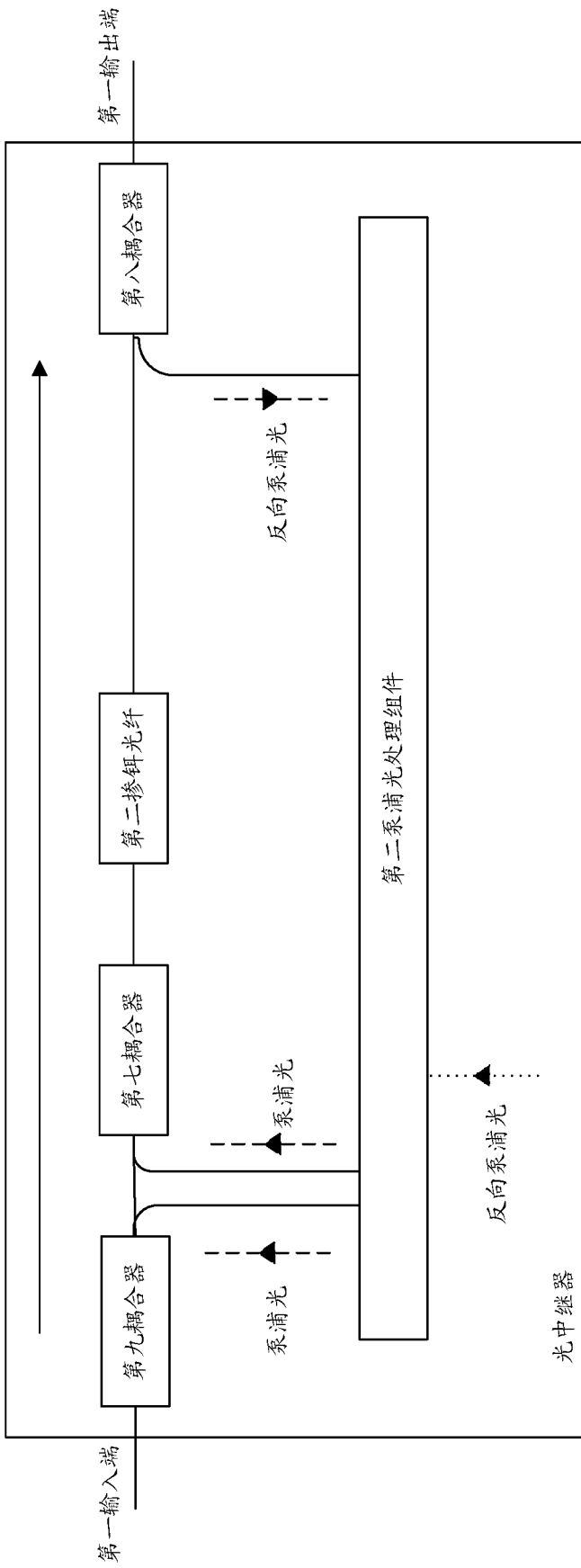


图 7

— 11/19 —

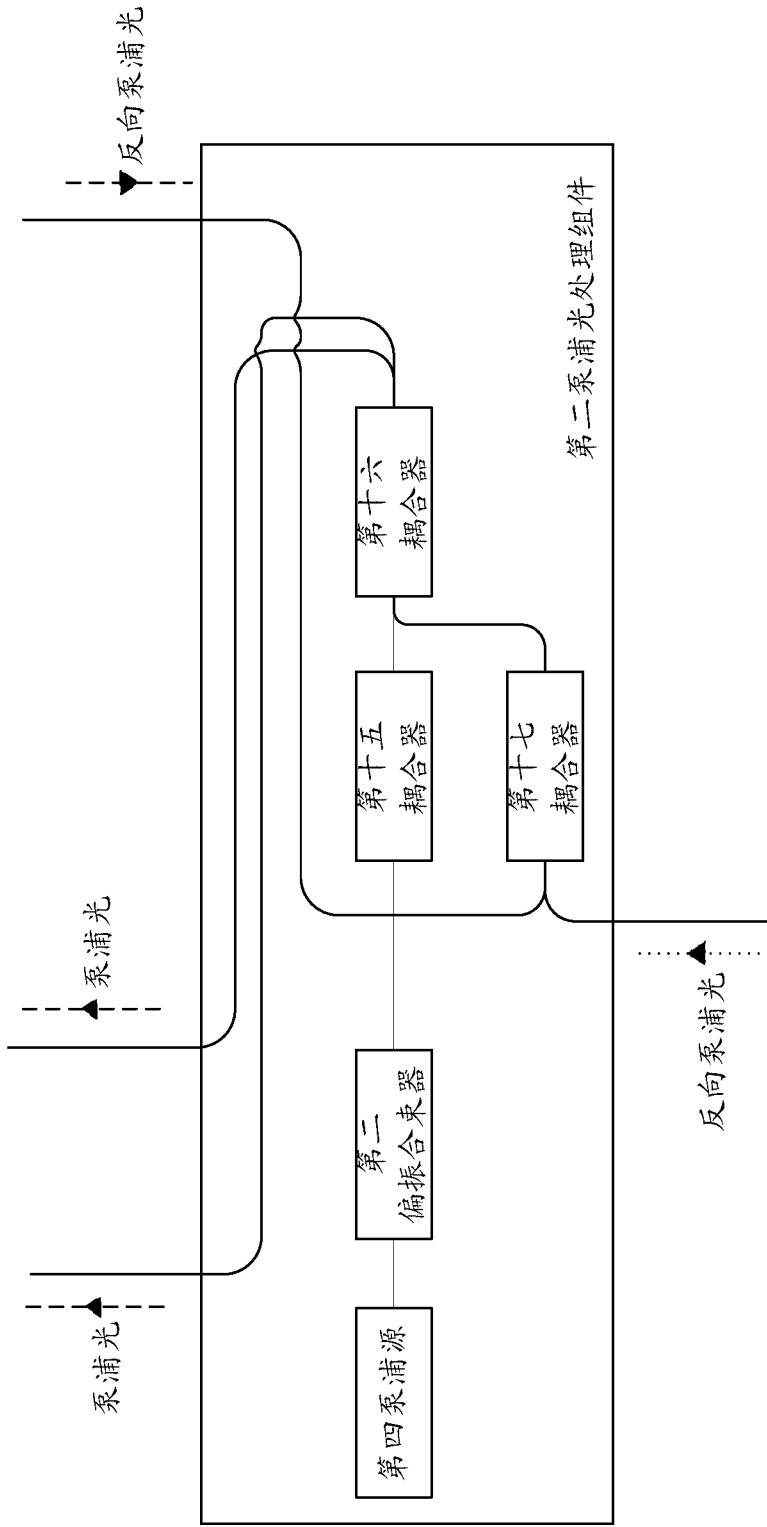


图 8

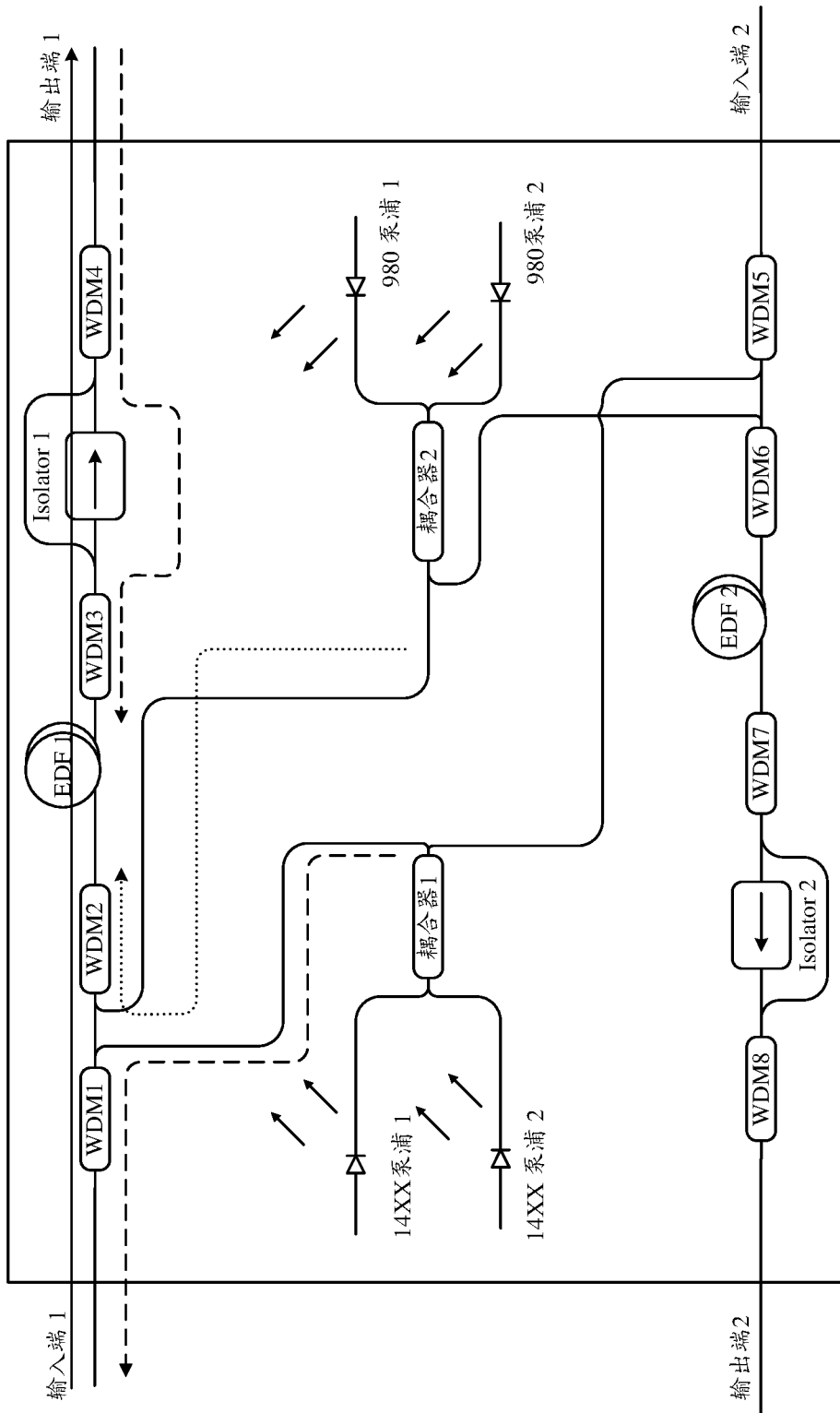


图 9

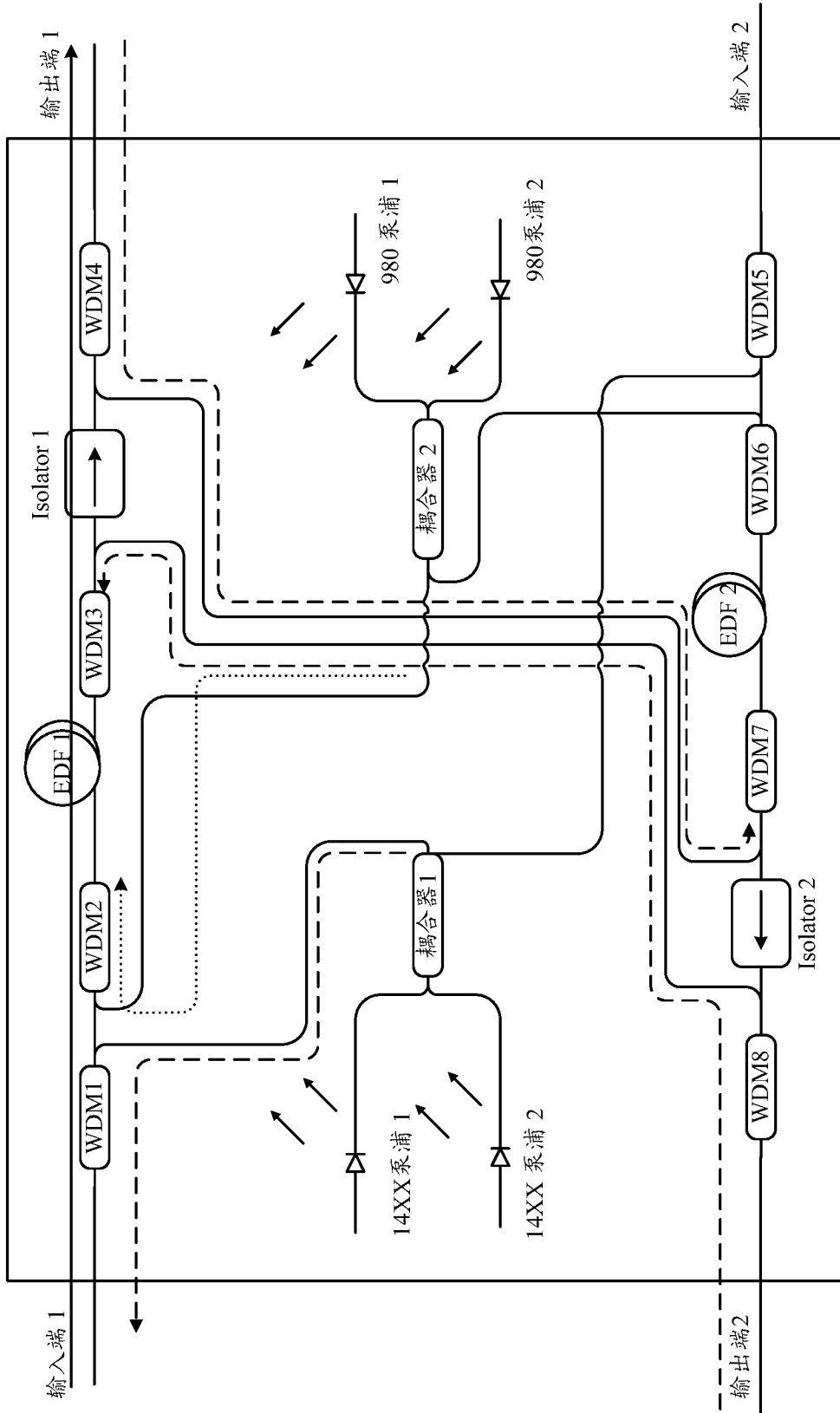


图 10

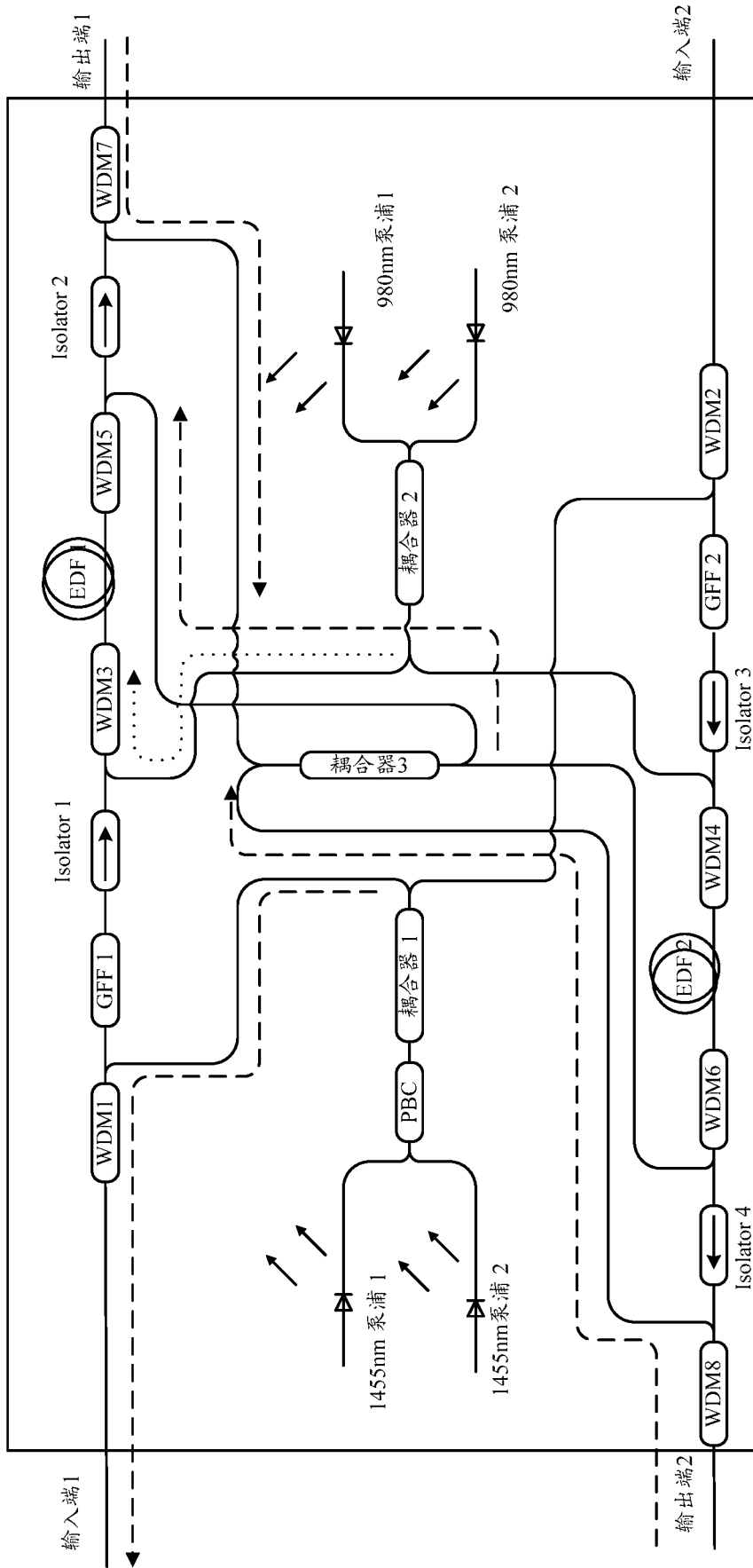


图 11A

—15/19—

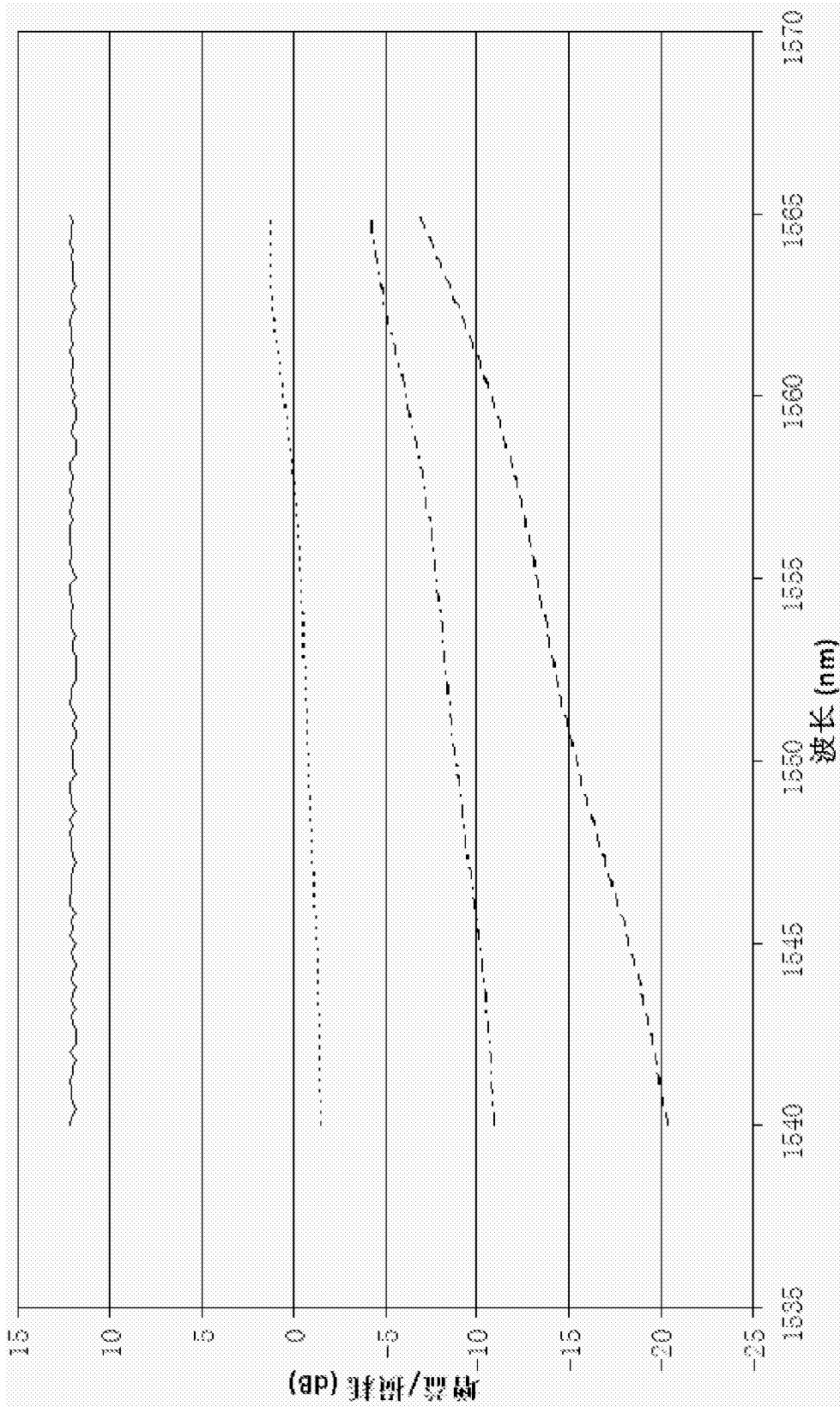


图 11B

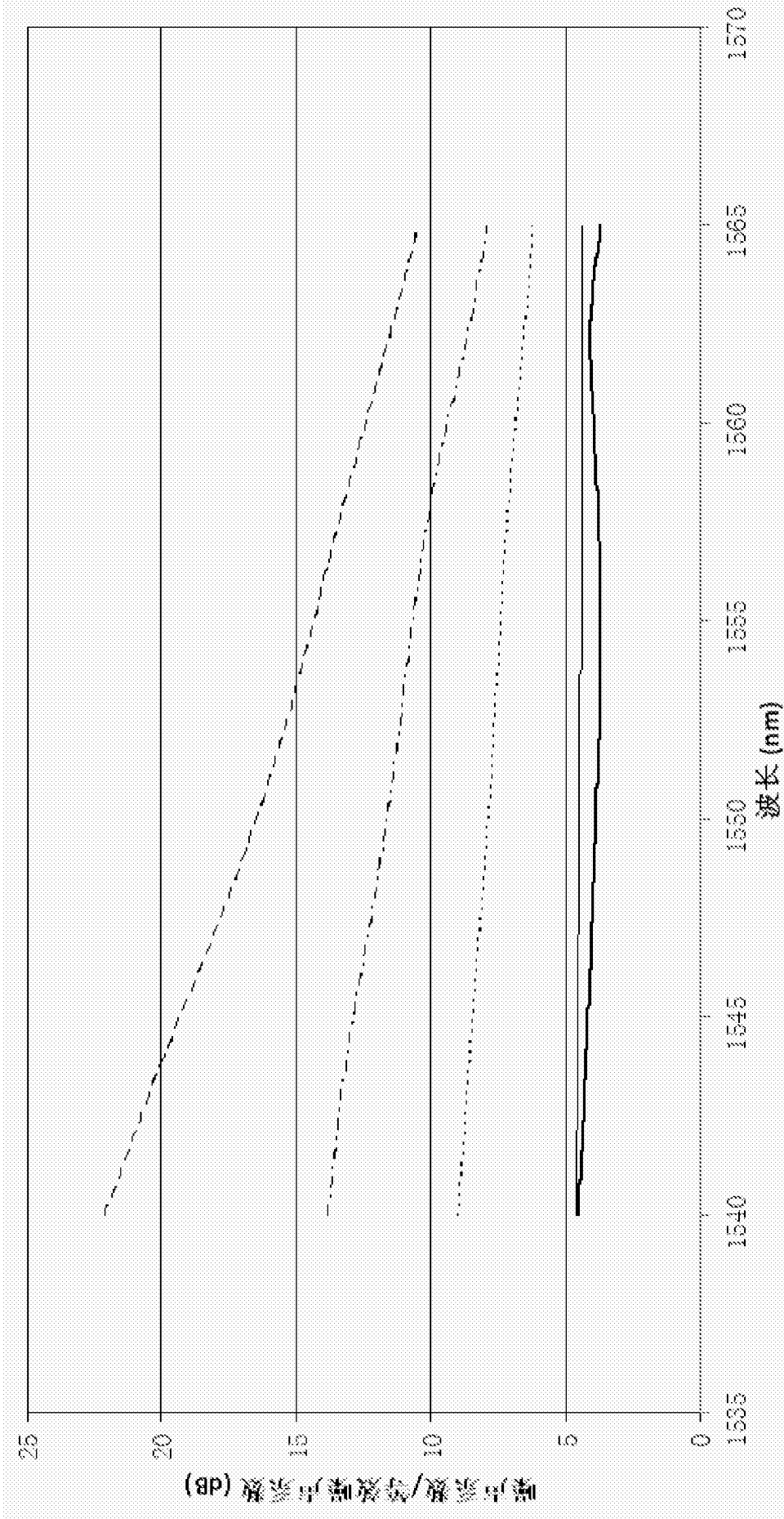


图 11C

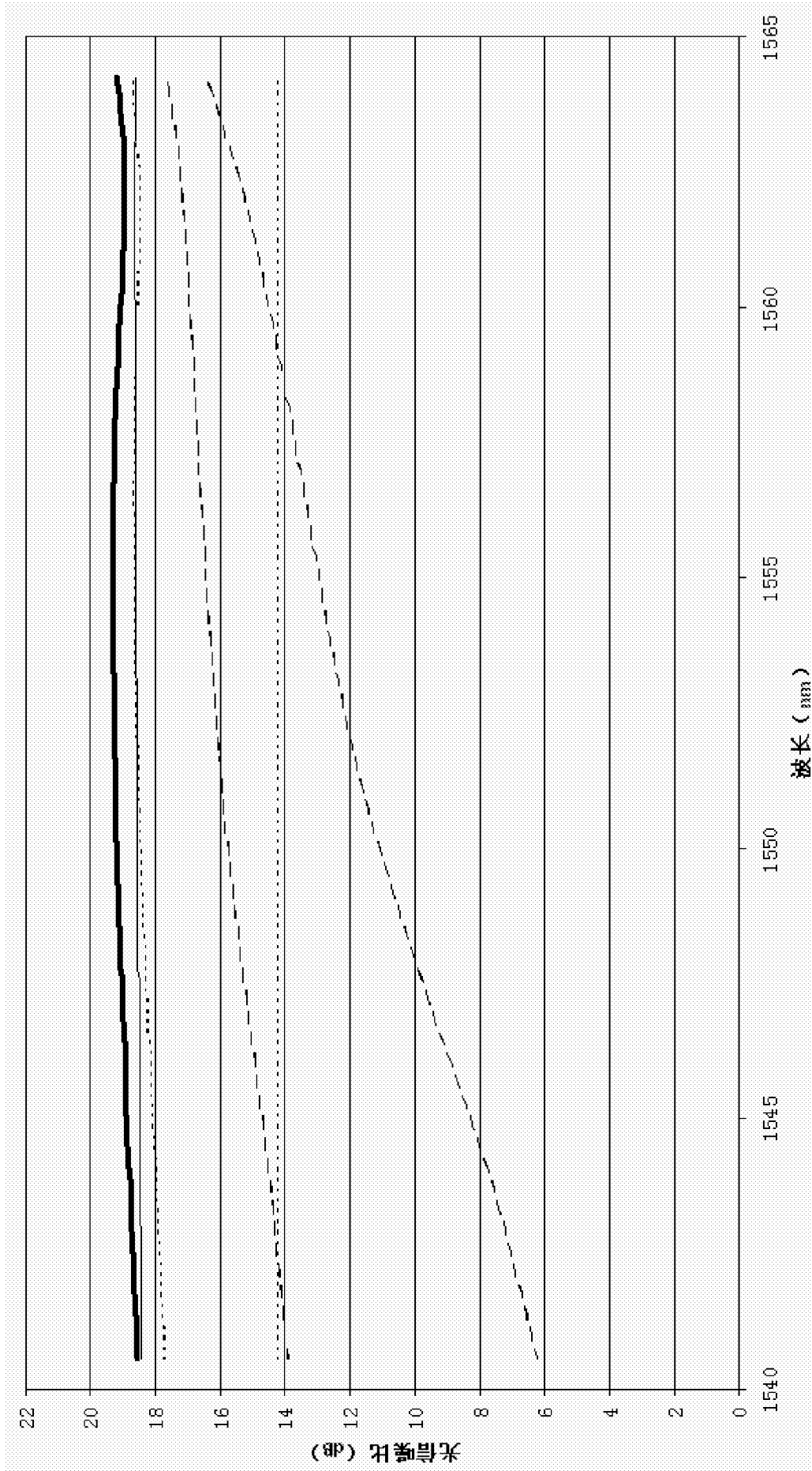


图 11D

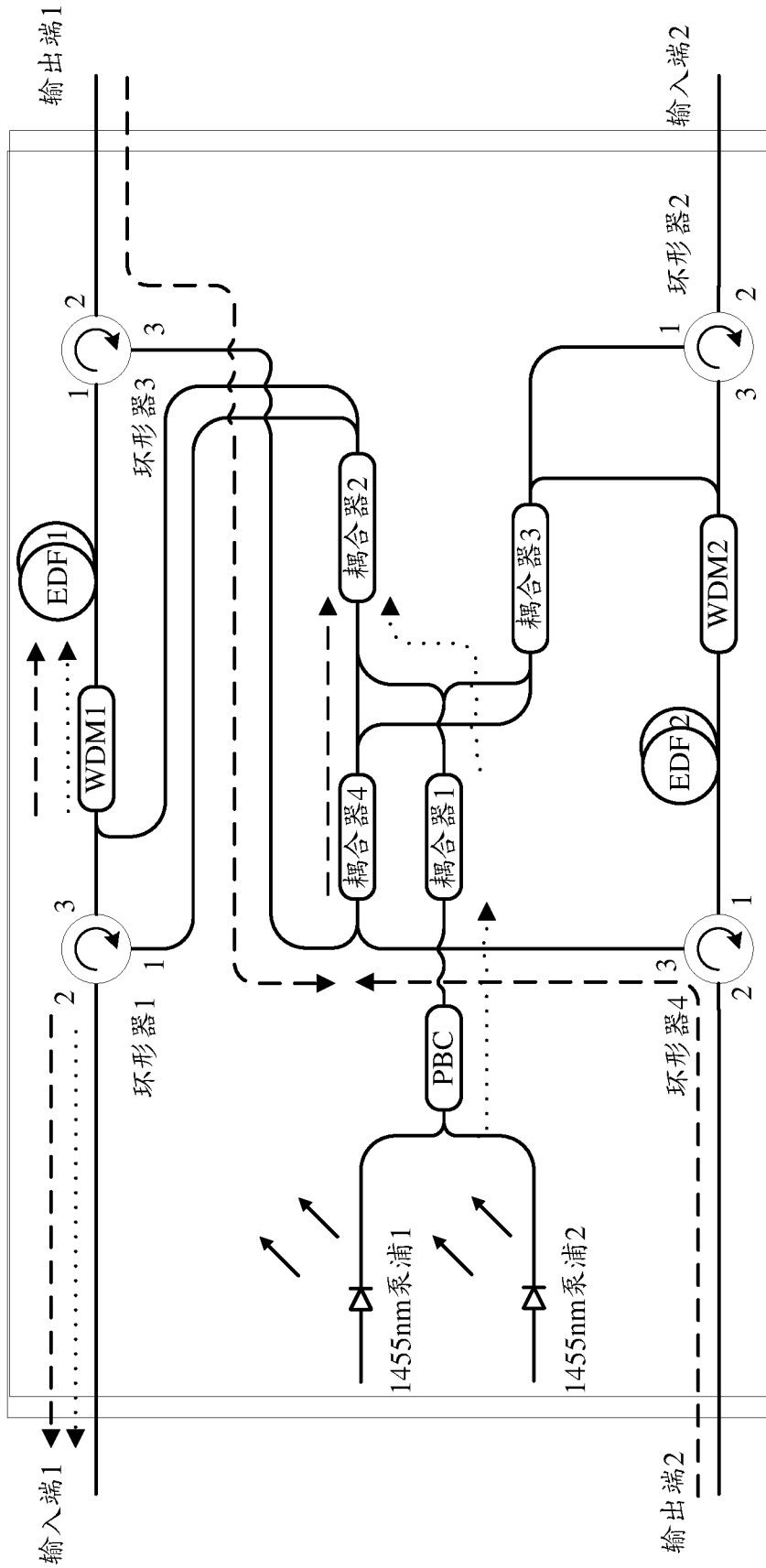


图 12

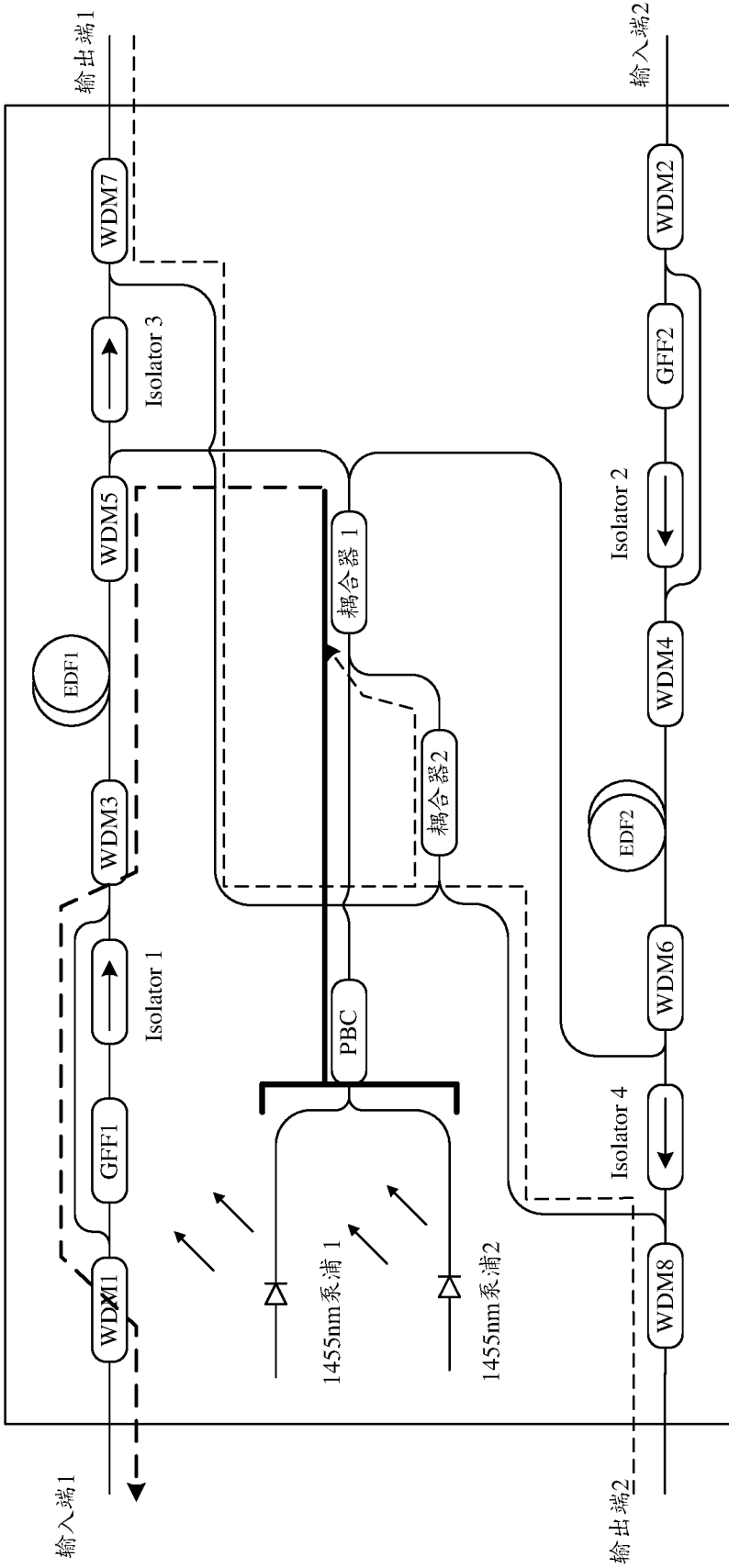


图 13

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2014/077443

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B 10/29 (2013.01) 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)

H04B

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, CNABS, VEN: optical, light, repeater, amplifier, fault, Raman, erbium-doped, EDFA, fiber, reverse, remaining, rest, extra, pump, reuse, utilize

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 101997612 A (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) 30 March 2011 (30.03.2011) the whole document	1-18
A	CN 103746283 A (GUANGDONG HIGH POLY LASER CO., LTD. et al.) 23 April 2014 (23.04.2014) the whole document	1-18
A	CN 103701522 A (WUHAN ACCELINK TECHNOLOGIES CO., LTD. et al.) 02 April 2014 (02.04.2014) the whole document	1-18
A	WO 03069812 A1 (PIRELLI SUBMARINE TELECOM SYST et al.) 21 August 2003 (21.08.2003) the whole document	1-18

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search  
25 January 2015

Date of mailing of the international search report  
17 February 2015

Name and mailing address of the ISA  
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  
  
WANG, Wei  
  
Telephone No. (86-10) 62089398

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

International application No.  
PCT/CN2014/077443

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 101997612 A	30 March 2011	None	
CN 103746283 A	23 April 2014	None	
CN 103701522 A	02 April 2014	None	
WO 03069812 A1	21 August 2003	US 2005078351 A1	14 April 2005
		DE 60132639 D1	13 March 2008
		US 7274871 B2	25 September 2007
		EP 1461877 B1	23 January 2008
		AT 385086 T	15 February 2008
		AU 2002226395 A1	04 September 2003
		EP 1461877 A1	29 September 2004

<p>A. 主题的分类</p> <p>H04B 10/29 (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. 检索领域</p> <p>检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)</p> <p>H04B</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>CNKI, CNABS, VEN: 光, 中继器, 放大器, 故障, 拉曼, 喇曼, 掺铒, 光纤, 反向, 残余, 残留, 多余, 剩余, 泵浦, 利用, 重用, optical, light, repeater, amplifier, fault, Raman, EDFA, fiber, reverse, remaining, rest, extra, pump, reuse, utilize</p>																	
<p>C. 相关文件</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>A</td> <td>CN 101997612 A (华为技术有限公司) 2011年 3月 30日 (2011 - 03 - 30) 全文</td> <td>1-18</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103746283 A (广东高聚激光有限公司 等) 2014年 4月 23日 (2014 - 04 - 23) 全文</td> <td>1-18</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103701522 A (武汉光迅科技股份有限公司 等) 2014年 4月 02日 (2014 - 04 - 02) 全文</td> <td>1-18</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 03069812 A1 (PIRELLI SUBMARINE TELECOM SYST 等) 2003年 8月 21日 (2003 - 08 - 21) 全文</td> <td>1-18</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	A	CN 101997612 A (华为技术有限公司) 2011年 3月 30日 (2011 - 03 - 30) 全文	1-18	A	CN 103746283 A (广东高聚激光有限公司 等) 2014年 4月 23日 (2014 - 04 - 23) 全文	1-18	A	CN 103701522 A (武汉光迅科技股份有限公司 等) 2014年 4月 02日 (2014 - 04 - 02) 全文	1-18	A	WO 03069812 A1 (PIRELLI SUBMARINE TELECOM SYST 等) 2003年 8月 21日 (2003 - 08 - 21) 全文	1-18
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求															
A	CN 101997612 A (华为技术有限公司) 2011年 3月 30日 (2011 - 03 - 30) 全文	1-18															
A	CN 103746283 A (广东高聚激光有限公司 等) 2014年 4月 23日 (2014 - 04 - 23) 全文	1-18															
A	CN 103701522 A (武汉光迅科技股份有限公司 等) 2014年 4月 02日 (2014 - 04 - 02) 全文	1-18															
A	WO 03069812 A1 (PIRELLI SUBMARINE TELECOM SYST 等) 2003年 8月 21日 (2003 - 08 - 21) 全文	1-18															
<p><input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <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>2015年 1月 25日</p>	<p>国际检索报告邮寄日期</p> <p>2015年 2月 17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) 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 中国</p> <p>传真号 (86-10)62019451</p>	<p>受权官员</p> <p>汪巍</p> <p>电话号码 (86-10)62089398</p>																

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2014/077443

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	101997612	A	2011年 3月 30日	无			
CN	103746283	A	2014年 4月 23日	无			
CN	103701522	A	2014年 4月 02日	无			
WO	03069812	A1	2003年 8月 21日	US	2005078351	A1	2005年 4月 14日
				DE	60132639	D1	2008年 3月 13日
				US	7274871	B2	2007年 9月 25日
				EP	1461877	B1	2008年 1月 23日
				AT	385086	T	2008年 2月 15日
				AU	2002226395	A1	2003年 9月 04日
				EP	1461877	A1	2004年 9月 29日