



上海瀚宇光纤通信技术有限公司

CONNET FIBER OPTICS CO., LTD.

用于相干多普勒激光雷达的光源和光纤放大器

汇报人：张瑞新

目录 Contents

- 大气风场的测量需求以及应用领域
- 相干多普勒激光雷达的原理、发展历程和现状
- 相干多普勒激光雷达对光源的要求
- 上海瀚宇单频光纤激光器、单频半导体激光器
- 上海瀚宇高功率单频保偏脉冲光纤放大器以及关键技术





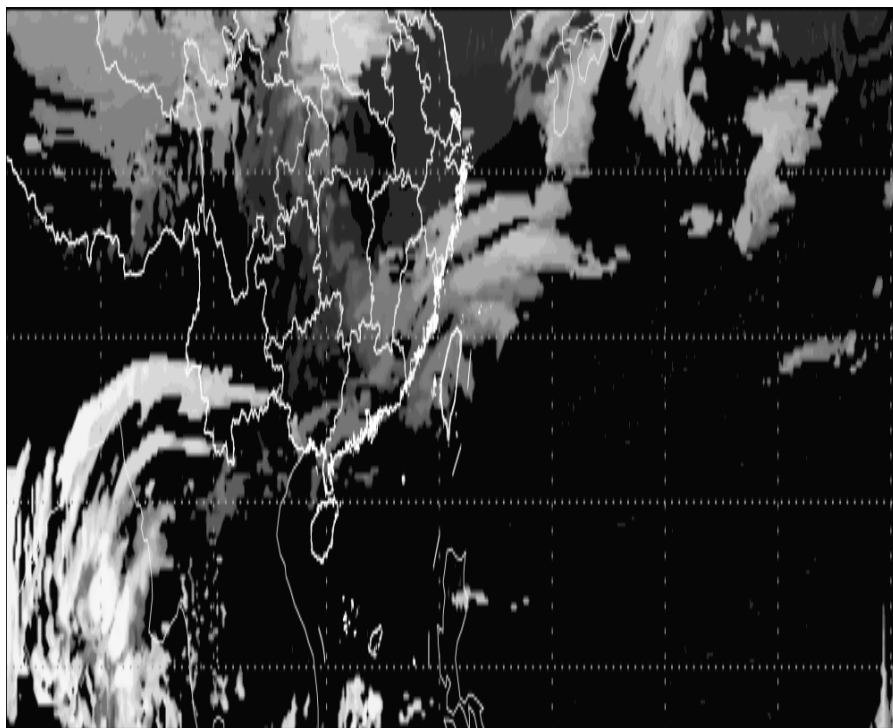
大气风场的测量需求以及应用领域

用于相干多普勒激光雷达的光源和光纤放大器

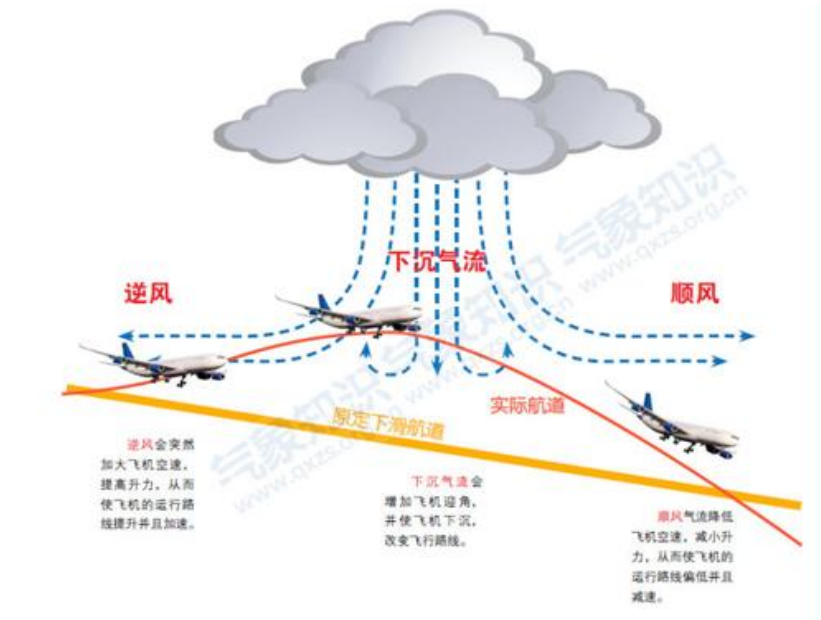
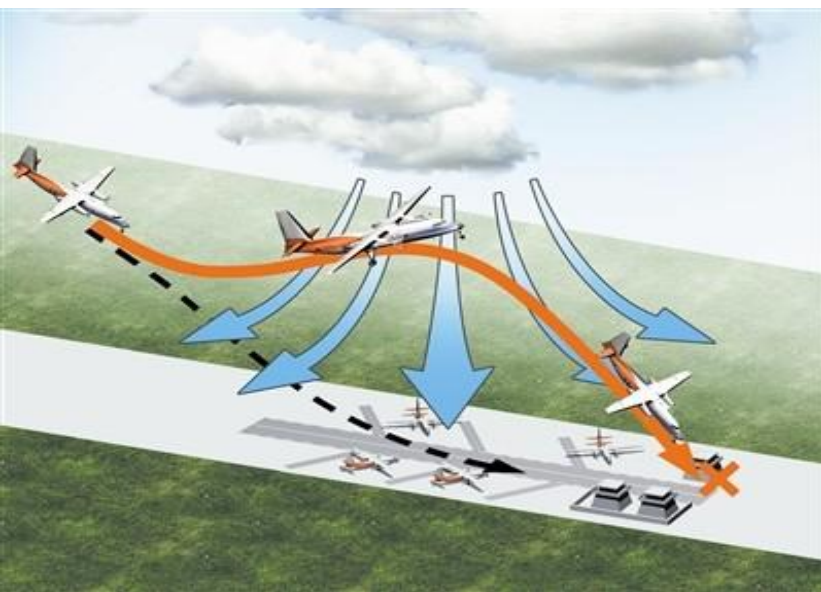
汇报人：张瑞新

数值天气预报

风廓线，矢量的风场数据，建立数据模型，局部的实时的风向风速，大气的风场预测



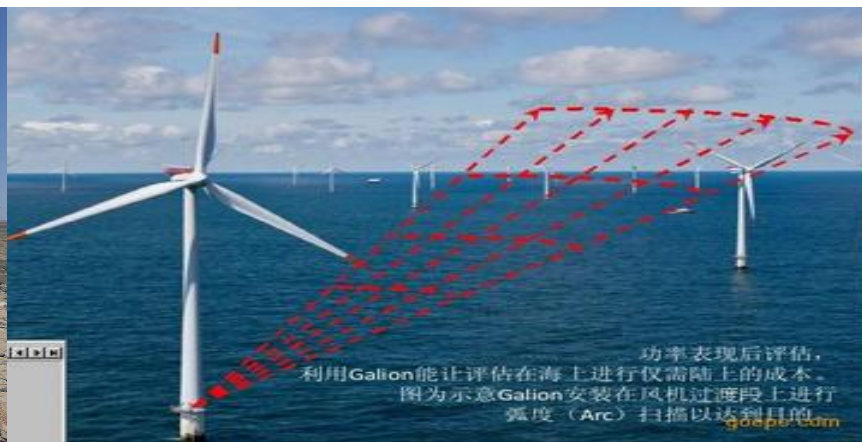
飞行安全—晴空湍流；低空风切变；尾涡



军事应用--空投空降、轰炸、弹道飞行，航空航天器发射和回收等，火箭、导弹精度



绿色能源—风力发电



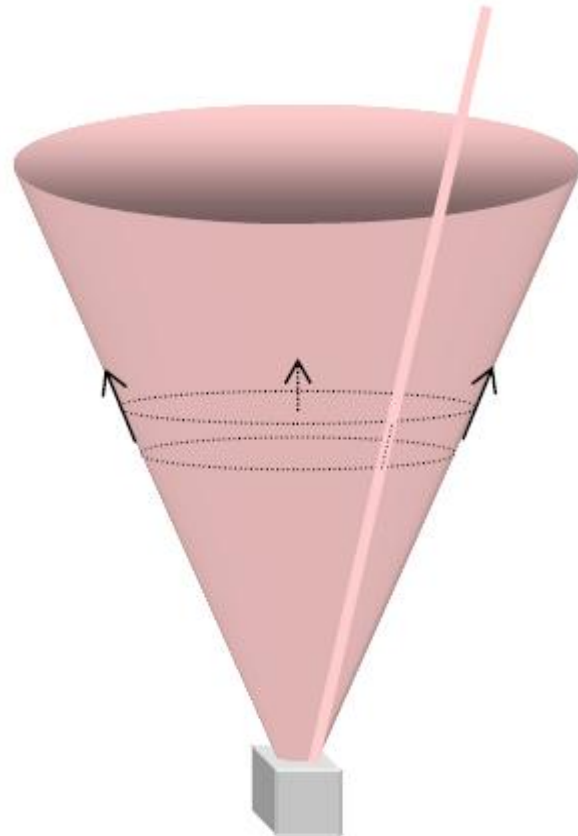
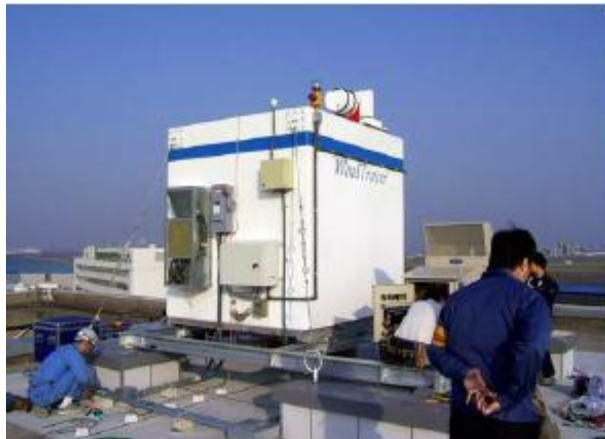
大气风场的探测手段

- 传统手段包括风杯，气象气球，声波探测器，微波测风雷达等，缺点在于测量精度差，时间分辨率低，距离分辨率差，体积大，不适合晴空探测等等



大气风场的探测手段

测风激光雷达，尤其是相干多普勒激光雷达CDL属于主动大气遥感，具有体积小，风场测量精度高，时间和空间分辨率出色等特点。和传统的微波测风雷达相比，尤其在晴空风场风速测量例如晴空湍流，CDL有不可替代的优势。



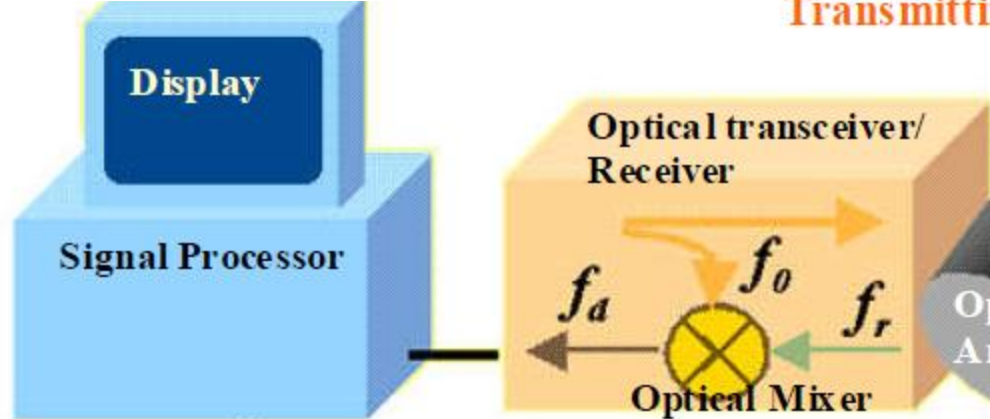
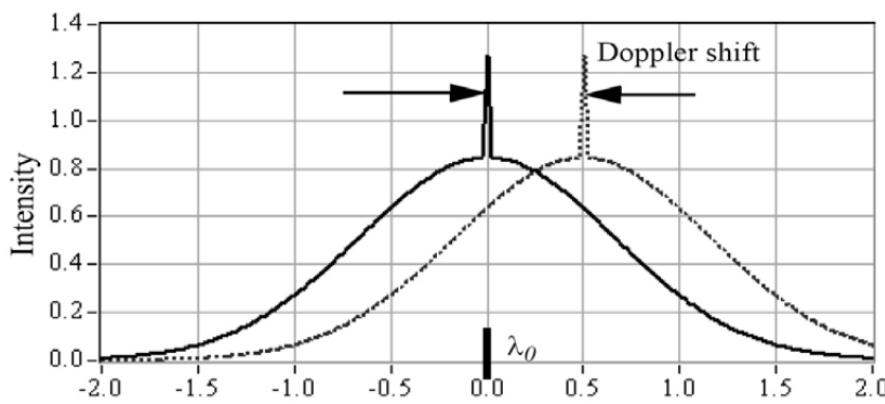


相干多普勒激光雷达的原理、发展历程及现状

用于相干多普勒激光雷达的光源和光纤放大器

汇报人：张瑞新

相干多普勒激光雷达-CDL测速原理



$$f_r = f_0 + f_d$$

$$f_d = 2Vf_0/c$$

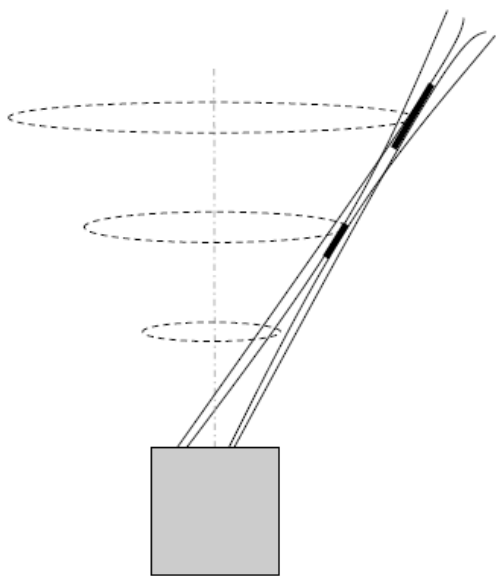
- f_d : Doppler frequency
- f_0 : Transmitting frequency
- f_r : Received frequency
- c : Speed of light

$$V = \frac{cf_d}{2f_0}$$

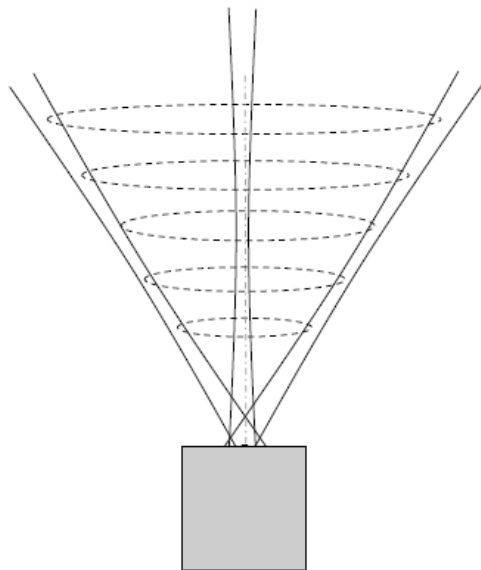
速度V = 波长 × 多普勒频移 $f_D/2$



相干多普勒激光雷达的工作模式



连续



脉冲

探测方式：

--直接探测

--外差探测（相干探测）

外差探测通过本振光和背向散射光直接混频，外差方式得到散射光的多普勒频移 f_d ，属于直接获取频移的方式

CDL远距离工作通常采用脉冲方式，探测方式采用自外差相干探测



远距离风速测量

可达10km，脉冲宽度约500-800ns；重复频率
<15kHz (典型值5-10kHz)，高功率，高单脉冲
能量

中距离风速测量 (例如：尾涡)

距离约2km，脉冲宽度约200ns，重复频率
<75kHz, 高功率

近距离风场

距离约0.5km，脉冲宽度200-400ns，重复频率
<300kHz, 中等功率

脉冲相干多普勒激光雷达的时-空关系

Pulse duration (ns)	Pulse length (m)	Minimum spatial resolution (m)
200	60	30
400	120	60
800	240	120

空间分辨率 = 光速 × 脉冲宽度 / 2

脉冲宽度和最小空间分辨率

PRF (KHz)	Max range (m)
10	15000
20	7500
50	3000

最大工作距离 = 光速 / 2 × 重复频率

脉冲重复频率和最大工作距离



相干多普勒测风激光雷达的发展

激光器的演进

CO₂激光器 → 1.06μm 固体激光器 → 2.0μm 固体激光器
→ 1.5μm 光纤激光器

国外主流的供应商

美国CTI公司，Lockheed Martin公司，日本三菱电机，法国LeoSphere公司以及法国航天研究中心（ONERA），英国的QinetiQ公司，Halo Photonics公司，美国Fibertek公司等等。



相干多普勒激光雷达国内研发单位（排名不分先后）

- 哈尔滨工业大学
- 中国科技大学
- 电子科技大学
- 北京理工大学
- 上海光机所
- 中国海洋大学
- 中电集团14所，27所
- 兵器209所，西物激光等



部分国外相干多普勒激光雷达的产品实例



英国的Halo
Photonics



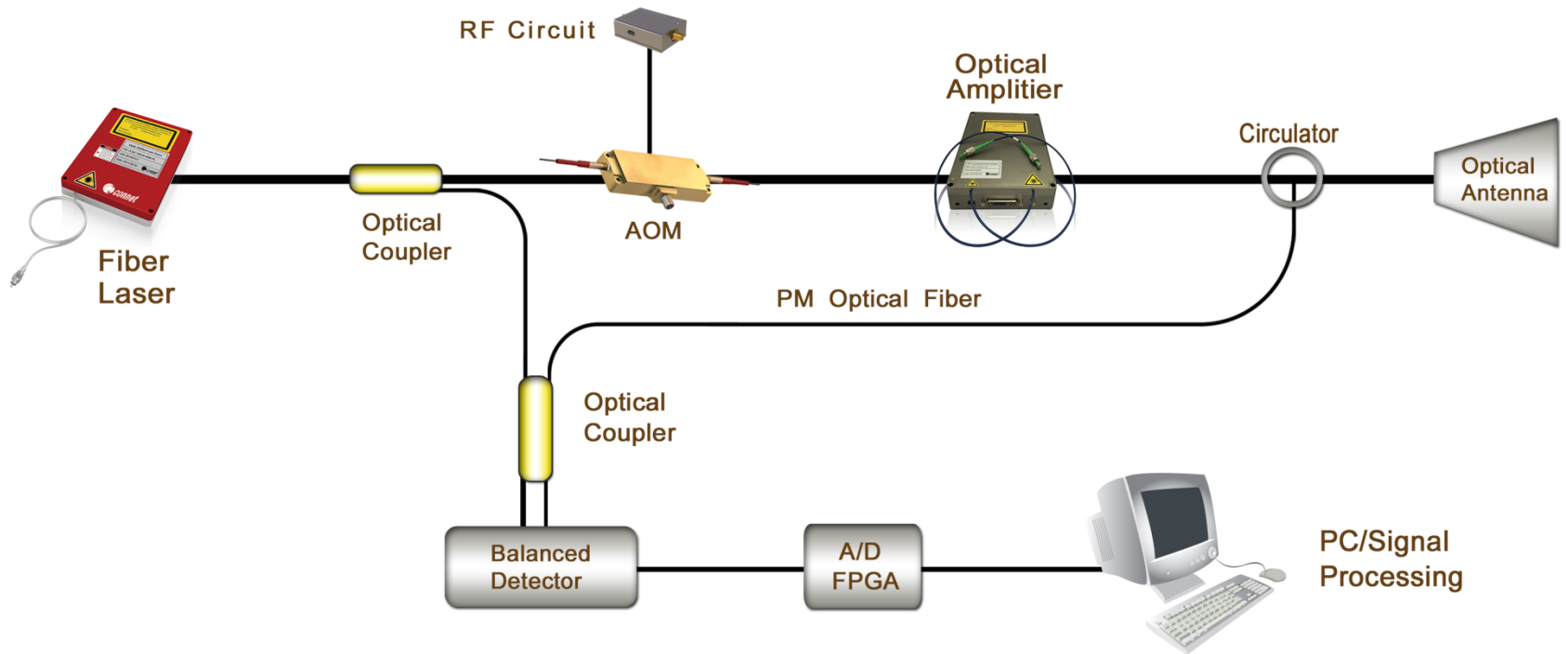


相干多普勒激光雷达对光源及放大器的要求

用于相干多普勒激光雷达的光源和光纤放大器

汇报人：张瑞新

脉冲相干多普勒测风激光雷达-CDL



脉冲相干多普勒测风激光雷达-CDL

窄线宽单频激光器 (Fiber Laser, 半导体激光器)

光纤耦合AOM声光调制器

长脉冲单频保偏光纤放大器

高功率光环行器

光学天线-望远镜

低噪声Pre-amplifier EDFA (可选)

增益平衡光探测器



连续相干多普勒测风激光雷达

窄线宽单频激光器 (Fiber Laser, 半导体激光器)

高功率光纤放大器 (或者和种子激光器集成)

高功率光环行器

光学天线-望远镜

低噪声Pre-amplifier EDFA (可选)

增益平衡光探测器



相干多普勒激光雷达对光源的要求

激光波长：

理论上任何波长都可以使用；需要选择大气吸收低，目标反射度高的波长。人眼安全波长例如1550nm和2um波段越来越受到重视。

输出功率：

越高越好，但是要考虑到其它性能参数。

波长的稳定性和准确度：

非常重要

激光器的相干长度：

相干长度必须要大于等于工作距离！

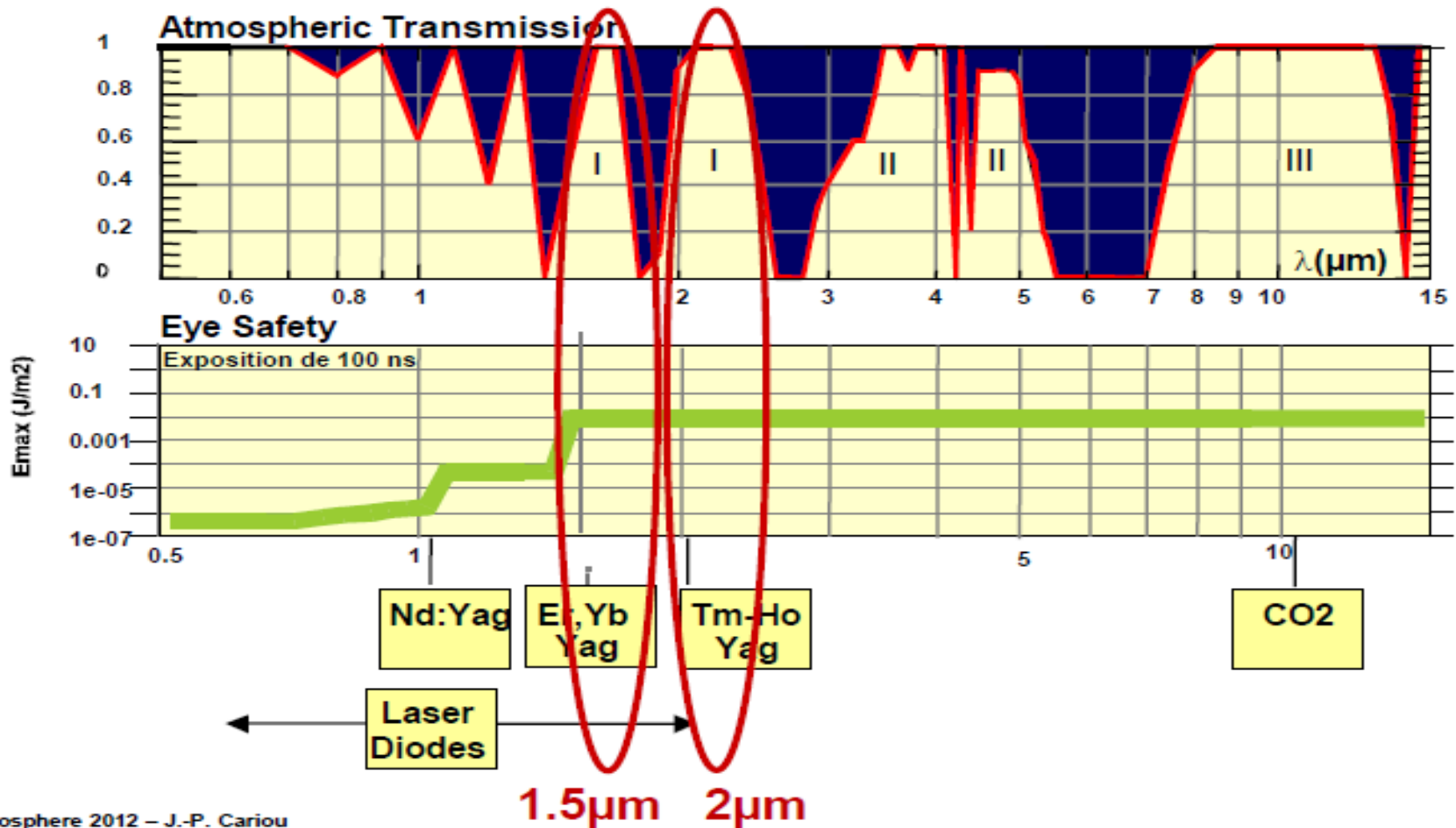
激光器的光谱线宽：

窄线宽例如<10kHz

相对强度噪声（RIN）：

非常重要，决定了系统的灵敏度，RIN越低，系统的灵敏度越高！

为什么选择1.5 μm 工作波长？



©Leosphere 2012 – J.-P. Cariou

大气透射窗口；人眼安全波长；通信领域成熟的工作波段；高功率光纤放大器商用化；低成本！！！！



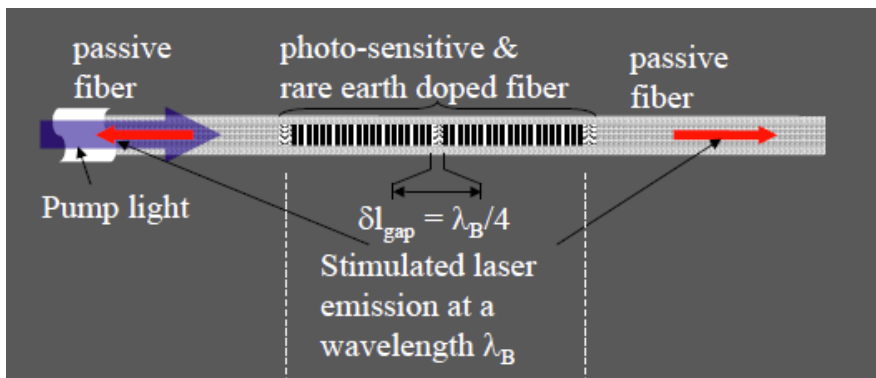
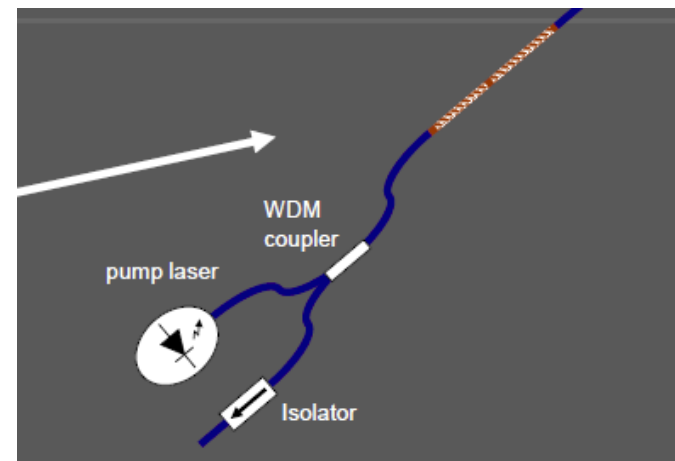
上海瀚宇单频光纤激光器和单频半导体激光器

用于相干多普勒激光雷达的光源和光纤放大器

汇报人：张瑞新

CoSF-D型DFB单频光纤激光器

- ① 稳定的单频、单偏振输出
- ② 无跳模、无突发噪声
- ③ 低相对强度噪声
- ④ 低相位噪声
- ⑤ 窄线宽可达10kHz以下 (1kHz可选)
- ⑥ 全光纤结构
- ⑦ 保偏光纤输出，高偏振消光比
- ⑧ 封装精美坚固、尺寸小巧，易于集成
- ⑨ 波长稳定性高
- ⑩ 低成本



CoSF-D型DFB单频光纤激光器

工作波段：

1000-1200nm (Yb)

1530-1610nm (Er , ErYb)

1900-2100nm (Tm)

输出功率：

基础模块：5-100mW

高功率：可达50W (1.5 μ m)、100W
(1.0 μ m)

典型工作波长：

1064nm , 1550nm , 1940nm,
2050nm...



COSF-SCL单频半导体激光光源

- 1550nm波段,1064nm波段
- 超窄线宽： $<5\text{kHz}$
- 超低相对强度噪声（RIN）
- 低相位噪声
- 保偏光纤输出，高PER
- Telcordia标准测试
- 高可靠性
- 频率稳定性出色！



脉冲相干多普勒激光雷达，光纤传
感的理想选择！



CoWIND单频光纤激光器模块 (Up to 2W)

- 为连续相干多普勒测风激光雷达设计
- 1550nm人眼安全波长
- 输出功率可达2W
- 光谱线宽 $< 50\text{kHz}$ (典型值 $< 10\text{kHz}$)
- 低相对强度噪声 (RIN)
- 低相位噪声
- DFB单频光纤激光器种子源 (单频半导体激光器可选)
- 全保偏光纤设计 , $\text{PER} > 23\text{dB}$
- 适合苛刻工作环境 , 高可靠性
- 可集成高功率光环行器输出



高功率连续光纤激光器模块

- 1550nm波段人眼安全波长
- 输出功率可达**10W**
- 超窄线宽：**<15kHz**
- 低相对强度噪声（RIN）
- 低相位噪声
- 保偏光纤输出，高PER
- 高可靠性
- 频率稳定性出色！



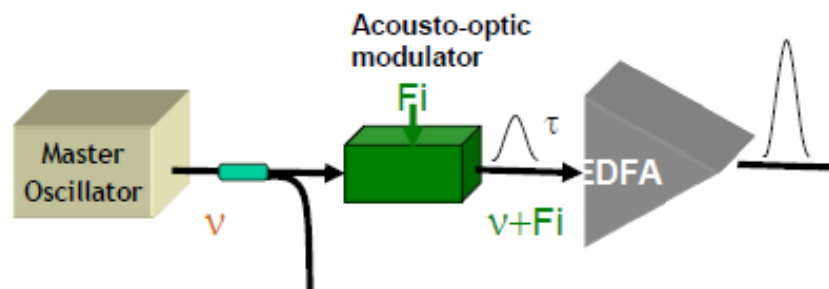
保偏光纤耦合声光调制器 (AOM)

- Pulsed CDL需要高消光比的AOM产生高质量的脉冲，脉冲关断比 $> 90\text{dB}$.
- 通过级联AOM实现超过 100dB 关断比的优质脉冲，完全滤出连续光，保证脉冲相干多普勒激光雷达的信噪比



PCDL-LS-1脉冲光纤激光器

- 单频窄线宽DFB型光纤激光器或者半导体激光器作为种子源
- 2-stage AOM级联型外调制器实现 >100dB的脉冲关断比
- 内置PM Fiber Amplifier
- ASE滤波，线偏振控制技术，高偏振消光比
- 脉冲宽度200ns-2000us
- 单脉冲能量可达10uJ以上
- PER > 20dB
- 连续本振光输出功率：mW量级
- 输出光束质量： $M^2 < 1.05$ 真正的单模
- 种子激光器线宽：**<5kHz**





上海瀚宇高功率单频保偏脉冲光纤 放大器以及关键技术

用于相干多普勒激光雷达的光源和光纤放大器

汇报人：张瑞新

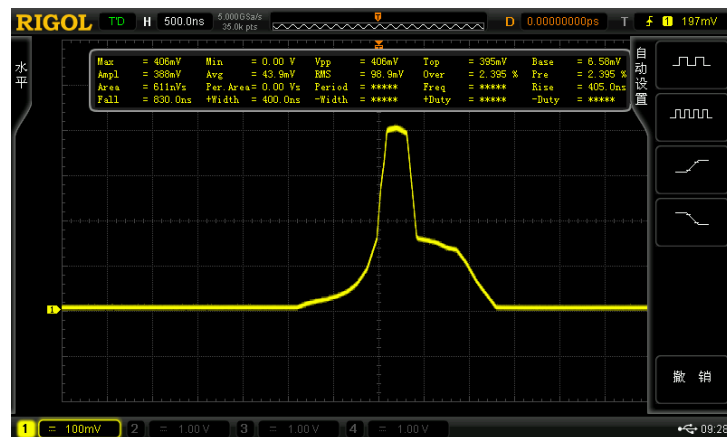
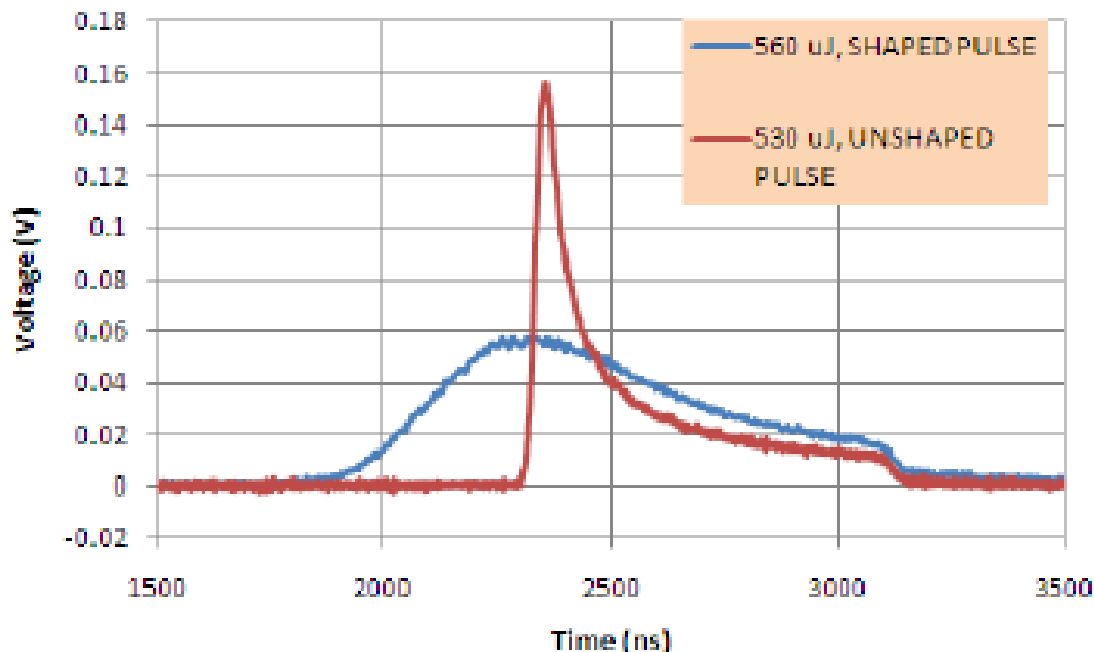
CoLAR-1550-LP长脉冲单频保偏光纤放大器

- 1550nm人眼安全波长
- 100ns-4us长脉冲
- 峰值功率可达700W (200ns , 10kHz)
- 单脉冲能量可达800uJ
- 脉冲平均功率可达4W
- 单频、保偏光纤放大器
- 高偏振消光比PER>18dB
- kHz线宽信号放大，展宽小
- 无SBS
- $M^2 < 1.5$ (典型值<1.3)
- 低功耗：<80W (400ns, 120uJ, 10kHz)
- 工作温度：-10 ~ +65 °C
- 可集成高功率光环行器 (可选)

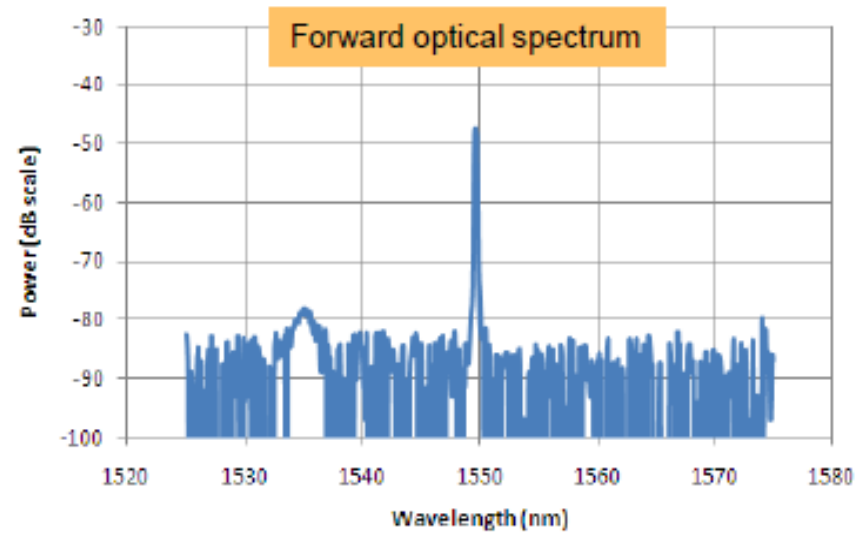
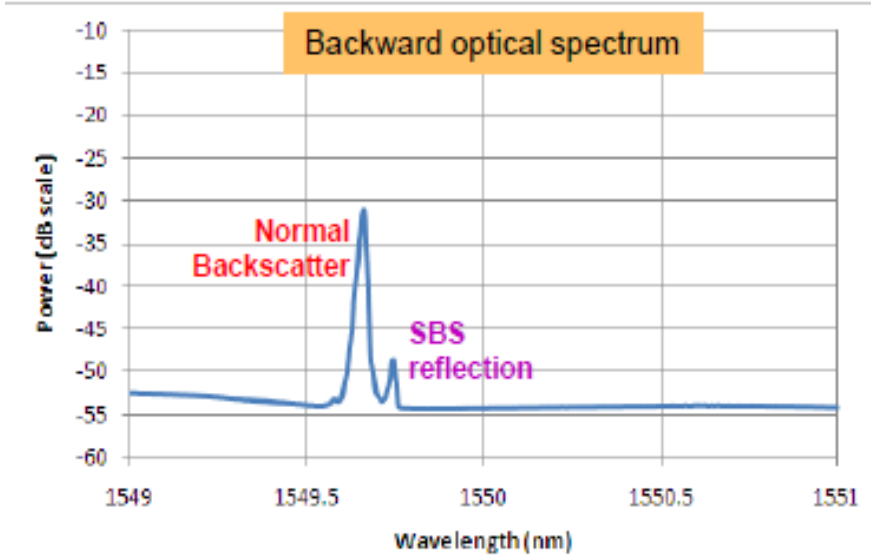


高功率单频保偏脉冲光纤放大器关键技术

- 长脉冲增益均衡技术
- ASE滤波及主动抑制技术
- 非线性效应SBS抑制技术



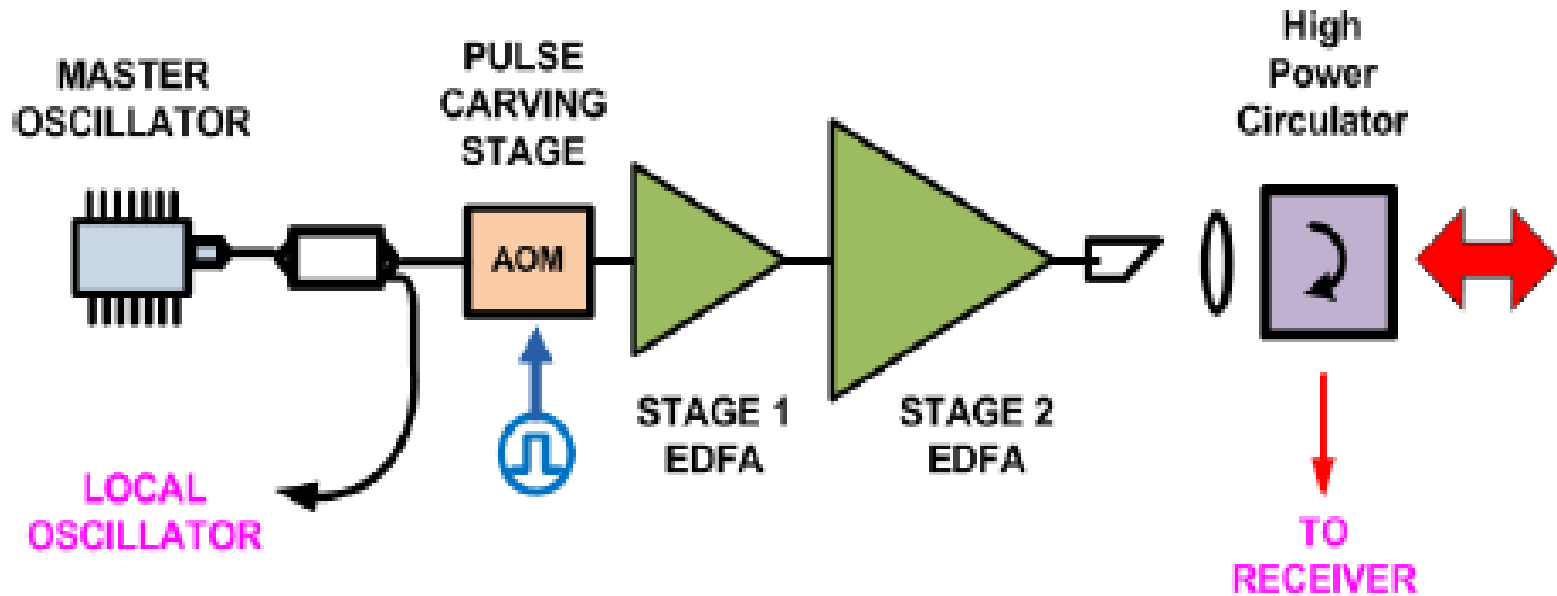
受激布里渊散射（SBS）抑制技术



典型技术包括：温度梯度差；应力分布，多波长放大，光纤overlap控制，改变 G_{SBS}

上海瀚宇特有的SBS抑制技术，提升SBS的阈值，提高输出峰值功率！

高功率长脉冲单频保偏光纤激光器 --Long pulse SF PM Fiber Laser 设计



1550nm人眼安全波长，双极AOM外调制，双极保偏光纤放大器，集成光纤型光环行器，特有脉冲泵浦ASE抑制技术；特有的SBS抑制技术，高峰值功率输出，高单脉冲能量，出色的输出光束质量，高偏振消光比。

Perfect!

高功率连续单频保偏光纤放大器

- 1545-1565nm : 50W
- 1060-1085nm: 可达150W
- 单频窄线宽信号放大 : 1kHz
- 高光信噪比 : OSNR>40dB
- 无SBS效应
- 低相对强度噪声RIN
- 高偏振消光比PER>18dB
- 19英寸标准机箱2U-3U高度
- OEM模块可以提供
- CW连续工作、准连续工作



低噪声 (Low Noise)光纤放大器

- C-band单通道EDFA
- 超低噪声，Noise Figure<4dB
- 特制低噪声掺铒光纤
- 超低信号预放大
- 高增益
- OEM模块小巧
- Time Gate时间门控！！（可选）
- 脉冲泵浦（ns级驱动）可选
- 量身定做



无以伦比的性能表现！



总结

- 上海瀚宇为连续、脉冲相干多普勒测风LIDAR提供丰富的产品和解决方案，拥有自主知识产权的核心技术
- 低噪声窄线宽单频光纤激光器、单频半导体激光器
- 长脉冲单频保偏光纤激光器 (SLM fiber laser + AOM+PM EDFA)
- 高功率连续、脉冲单频保偏光纤放大器、低噪声EDFA
- 波长涵盖1.0um , 1.5um , 2.0um
- 上海瀚宇致力于为相干多普勒测风激光雷达市场提供高性能、低成本的光纤激光器和光纤放大器系列产品，成为世界一流的供应商！

感谢您的观看！