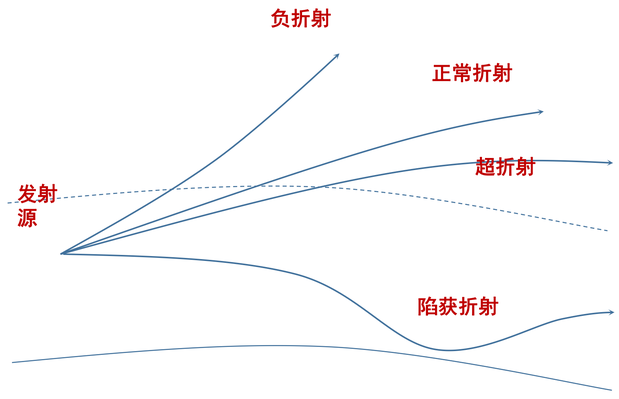
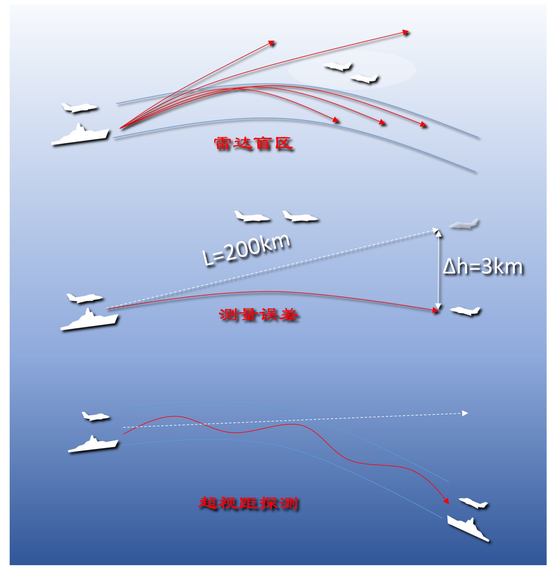
北极斯瓦尔巴冬季表面波导特征及成因分析

低层大气探测研究部　朱金焕 李鹏 周立波

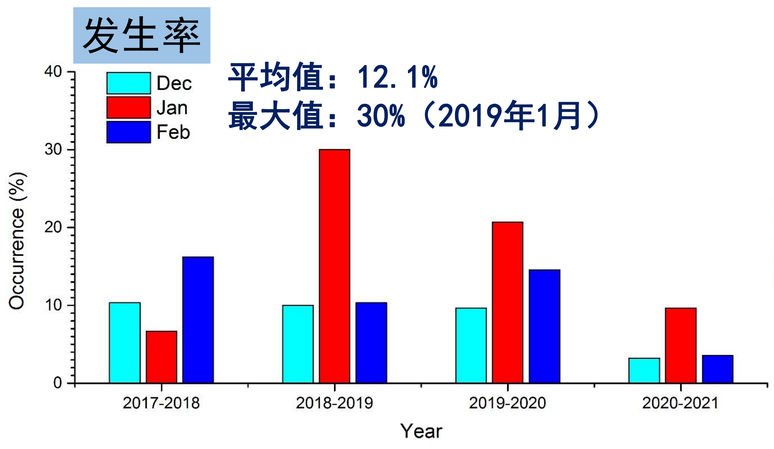
大气波导是一种强烈的电磁波折射现象，会对雷达探测和微波通信产生严重干扰。近几十年来，北极快速升温，北冰洋海冰退缩，北极航道的可通航性和通航量不断提高。和传统航道相比，北极航道的条件更加恶劣，对雷达探测、微波导航、微波通信等技术更为依赖。本研究利用斯瓦尔巴高分辨率探空资料，分析研究冬季北极航道表面波导的基本特征，及其与大气、和海洋状况的关系，为保障北极航道的通航安全提供科学依据。

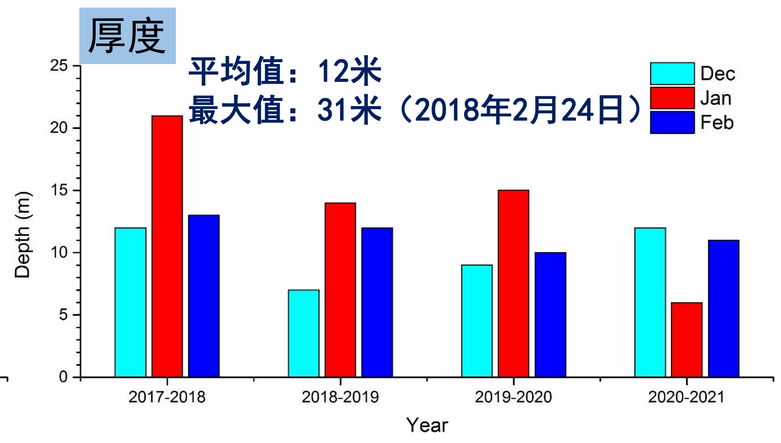


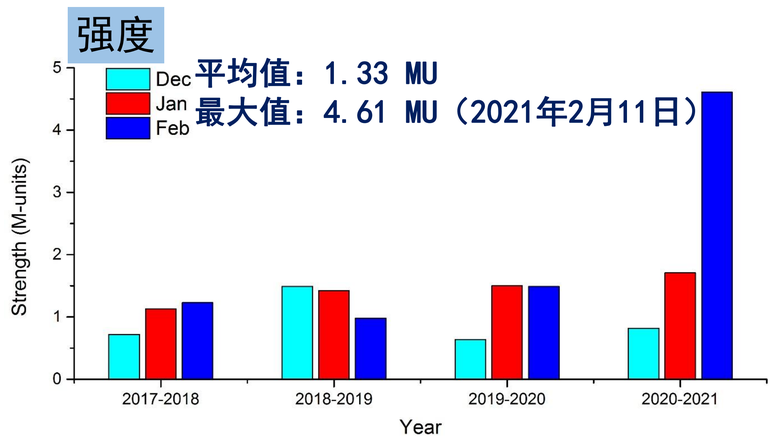
电波射线的不同大气折射路径



一、特征







二、分类

电磁波折射率梯度：

$$\frac{dM}{dz} = \frac{77.6}{T}\frac{dP}{dz} - \frac{77.6}{T^2}\left(P + \frac{4810e}{T}\right)\frac{dT}{dz} + \frac{373256}{T^2}\frac{de}{dz} + 0.157$$

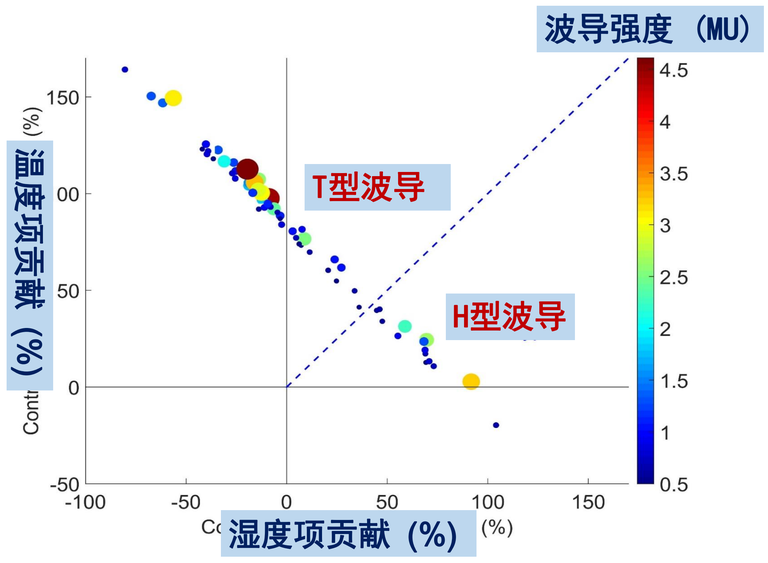
气压项　温度项　湿度项

当$\frac{dM}{dz} < 0$时，大气满足陷获折射条件，出现大气波导现象。

	平均值	最小值	最大值
气压项	14.7%	5.4%	22.7%
温度项	80.9%	-109.4%	164.1%
湿度项	4.4%	-80.4%	203.1%

根据温度项和湿度项贡献大小，对波导进行分类，温度项占主导的为T型波导，湿度项占主导则为H项波导。

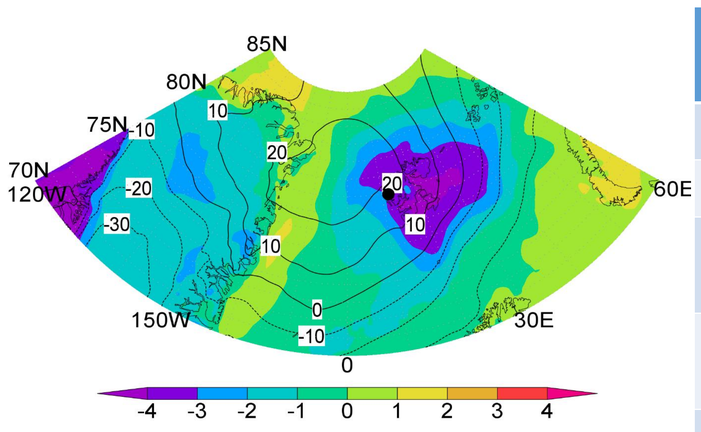
冬季斯瓦尔巴表面波导分为两类，逆温导致的T型波导，和湿度垂直切变引起的H型波导。无论从数量还是强度来看，均以T型波导为主。



	T型波导	H型波导
发生次数	51	14
发生率	78.5%	21.5%
强度	1.37 MU	1.18 MU
厚度	13 米	11米

三、成因

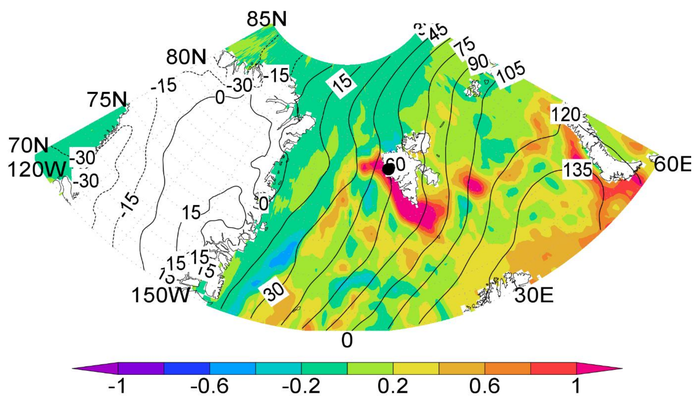
冬季T型表面波导易发生于偏干偏冷的偏北风天气背景下，此时云量少大气透明度高，向下长波辐射弱，近地面辐射冷却强，产生强逆温结构。



T型波导发生日平均1000hPa高度和温度与冬季平均值的差异

	T型表面波导	冬季平均
晴天比例	71.7%	21.8%
气柱总水量	2.5 kg/m³	4.1 kg/m³
向下长波辐射	190.2 W/m²	227.5 W/m²
净辐射	-45.6 W/m²	-32.3 W/m²
2米气温	-14.4°C	-8.6°C
2–50米逆温强度	2.3°C	0.5°C

冬季H型表面波导受大气和海洋条件影响，易发生于偏暖偏湿的偏南风天气背景下，此时地面辐射冷却弱，海温偏高，蒸发强烈，近地面湿度梯度大。



H型波导发生日平均1000hPa高度和SST与冬季平均值的差异

	H型表面波导	冬季平均
低云概率	83.3%	63.4%
气柱总水量	5.6 kg/m³	4.1 kg/m³
向下长波辐射	261.3 W/m²	227.5 W/m²
净辐射	-26.8 W/m²	-32.3 W/m²
海面温度	0.7°C	-0.2°C
2米比湿	2.18 g/kg	1.53 g/kg
2米–50米比湿差	0.16 g/kg	0.02 g/kg

参考文献：Zhu,J.,H. Zou, et al., 2022. Surface atmospheric duct over Svalbard, Arctic, related to atmospheric and ocean conditions in winter. *Arc. Antar. Alp. Res.*, 54:1, 264-273.