

中国科学技术大学优秀博士学位论文推荐表

作者姓名	钟嘉豪	学号	BA14007011	出生年月	1989.08	民族	汉族
院系名称	地空学院	联系电话	13430216555	毕业去向	中国科大博士后		
指导教师	雷久侯		获博士学位日期	本次申请			
一级学科名称	地球物理学		二级学科名称	空间物理学			
本科毕业院校	华南师范大学		硕士毕业院校	硕博连读			
承担主要社会工作	无						
获奖情况	2013年11月 第三届全国华人空间天气大会优秀青年论文奖 2013年12月 首届全国大学生科技资源共享与服务创新实践竞赛特等奖 2014年9月 第九届全国空间天气学研讨会优秀青年论文奖 2015年8月 中国科学院朱李月华优秀博士生奖学金 2016年11月 中国地球科学联合学术年会学生优秀论文奖 2016年12月 博士研究生国家奖学金 2017年3月 中国科学技术大学校优秀毕业生 2017年4月 安徽省普通高等学校品学兼优毕业生						
学位论文题目	基于低轨卫星 TEC 数据的顶部电离层变化特性研究						
学位论文研究方向	电离层物理						
学位论文评阅专家	吕建永	崔峻	乐新安	倪彬彬	薛向辉		
学位论文答辩专家	吕建永	崔峻	乐新安	黄开明	陆高鹏		
论文答辩日期	2017年5月25日		论文答辩结果 (通过票数/不通过票数)		5 / 0		
学位论文中文摘要							
<p>地球电离层是连接外层空间和近地大气的重要部分，对无线电通信、导航和人类空间活动等影响显著，因此对电离层的研究具有重要意义。由于顶部电离层的观测数据相对较少，使得顶部电离层的变化特性及其主导物理机制一直没有被研究清楚。近年来低轨卫星迅速发展，搭载双频全球卫星导航系统（GNSS）接收机的低轨卫星已成为顶部电离层的重要探测手段之一，为探究顶部电离层的变化特性提供了极好的机会。本文围绕低轨卫星 GNSS 接收机观测得到的顶部电离层电子浓度总含量（TEC）展开研究，对数据处理过程中斜向与垂直 TEC 转换、GPS 卫星和低轨卫星接收机硬件偏差的估算方法和变化趋势、顶部电离层的经度变化特性以及暴时响应特征等问题进行了分析研究。本论文的主要工作如下：</p> <p>一、发展低轨卫星 TEC 数据处理的新方法</p> <p>(1) 实现斜向与垂直 TEC 间的高精度转换</p> <p>GNSS 卫星与接收机之间信号路径上的 TEC 是斜向的，需利用映射函数转换为垂直 TEC。其中，电离层等效高度是映射函数中的重要参数。由于低轨卫星轨道高度一般高于电离层峰值高度，常用的地基观测 TEC 映射函数是否适用于低轨卫星的数据处理尚不清楚。本文分析了常用的薄层映射函数模型和具有一定厚度的 F&K 映射函数模型，以及两种等效高度计算方法（质心法和积分中值法）。研究结果表明，等效高度随着低轨卫星轨道高度线性增加，质心法的等效高度要比积分中值法的要高，且等效高度与太阳活动强度呈负相关。从 CHAMP 卫星观测数据提取的等效高度与模式计算的等效高度的变化趋势一致。</p>							

在垂直 TEC 转换方法组合的误差分析中,发现 F&K 模型和质心法等等效高度更适合用于低轨卫星,而薄层模型和积分中值法则适合用于地基接收机。

(2) 提高硬件偏差估算的精度和可靠性

GNSS 卫星和接收机的硬件偏差 (DCB) 是 TEC 获取过程中的重要误差源之一。由于低轨卫星 TEC 比地基观测 TEC 要少,且低轨卫星处于快速运动的状态中,需要更准确地估算低轨卫星 DCB 才能获取高精度的 TEC。利用低轨卫星在夜间或经过高纬度时 TEC 很小甚至接近于零的假设,以及充分考虑低轨卫星的轨道周期特性,本文提出一种改进的零值估算法。该方法首先获取一天内所有轨道周期的最小观测 TEC 中的下四分值,再进一步修正补偿该值作为 DCB 结果。结果表明改进零值法比一般零值法更加稳定和可靠。本文同时详细讨论了在最小二乘法中,设定不同垂直 TEC 和仰角限制对 DCB 估算的影响。理论上,较高的截止仰角和较小的最大垂直 TEC 限制应该可以更加符合区域电离层球对称假设。但分析表明,由于低轨卫星观测数据的总数量有限,选取最大垂直 TEC 为 3 TECU 以及截止仰角为 10 度时,可以得到较为稳定的低轨卫星 DCB 结果。当低轨卫星数据质量不高时,可选用最小二乘法来估算低轨卫星 DCB,而改进零值法一般也能给出较为稳定的 DCB 结果。

(3) 阐明硬件偏差长期变化趋势的新结果

GPS 卫星 DCB 在 2002 至 2013 年期间显示出与太阳 $F_{10.7}$ 指数相似的长期变化趋势。过去研究认为 GPS 卫星 DCB 的长期变化趋势与电离层的变化有关。本文利用低轨卫星的观测数据直接获取 GPS 卫星 DCB,并与国际 GNSS 服务组织 (IGS) 提供的利用地基观测数据得到的 GPS 卫星 DCB 进行比较,发现两者的长期变化趋势是一致的。由于较高的轨道高度使得低轨卫星观测数据受到电离层变化的影响应较少,所以 GPS 卫星 DCB 的长期变化趋势不是由电离层受到太阳活动周期的变化引起的。进一步分析发现,在所有 GPS 卫星 DCB 均值为零的约束条件下,GPS 卫星不断更新,新一代型号的 GPS 卫星的 DCB 值与旧一代的不同,不同型号 GPS 卫星的更替的长期累积造成了 GPS 卫星 DCB 的长期变化趋势。另外,以 CHAMP 卫星为例探讨了低轨卫星 DCB 的变化,初步结果表明 CHAMP 卫星 DCB 的长期变化趋势与 GPS 卫星的更替有关,而周期性的变化与接收机硬件热状态有关。

二、顶部电离层变化特性的新发现

(1) 揭示顶部电离层的经度变化特性

通过利用两颗低轨卫星从 2008 至 2015 年的 TEC 数据系统分析了顶部电离层在不同高度、纬度、地方时、季节和太阳活动程度下的经度变化特性。研究结果发现顶部电离层和等离子体层在低纬度有着显著的经度变化。在 6 月至点期间,在中西太平洋出现 TEC 极大值,在南美洲和大西洋出现 TEC 极小值。在 12 月至点期间,TEC 极值出现与 6 月至点相反的经度分布,此时 TEC 极大值出现在南美洲,而太平洋区域的 TEC 值相对较小。在至点期间,磁赤道区域的 TEC 相对于纬向平均的经度变化并没有明显的地方时和太阳活动依赖性。冬季半球的 TEC 随着太阳活动程度的增强却出现减小,特别是在较高高度以及在夜间,且具有经度依赖性。低轨卫星 TEC 的经度结构与所在轨道高度附近以及电离层 F_2 区电子浓度的经度结构基本上是不同的。结果表明顶部电离层的经度结构应是受到在顶部的重要物理过程的影响,而不只是反映在较低高度或在电离层 F_2 区附近电子浓度的结构。

(2) 首次发现磁暴恢复相期间顶部电离层的长时间负响应

通过利用多个低轨卫星的 TEC 数据研究了 2015 年 3 月 17 日强磁暴主相和恢复相期间顶部电离层的响应变化特性。结果首次发现在磁暴恢复期间,中低纬度的顶部电离层 TEC 在除太平洋区域外大部分经度上都出现持续时间超过 3 天的负响应。由于在顶部电离层高度以上,磁力线是向下连接于较高纬度的电离层 F_2 区的,等离子体沿着磁力线的扩散作用与较高纬度上长时间低 O/N_2 水平或是造成顶部电离层长时间负响应的主要原因。结果同时表明顶部电离层暴时响应具有地方时、高度和经度依赖性。在高度依赖性方面,MetOp-A 卫星 (832 公里) 得到的顶部电离层 TEC 与其它较低高度低轨卫星的观测结果存在一定的差异,特别是在磁暴主相期间以及在磁暴恢复相初期。MetOp-A 与其它低轨卫星的 TEC 差异应主要是由于在较高高度上,沿着磁力线的等离子体扩散作用比电离层的抬升以及热层中性成分的变化更重要。

本文的研究工作有利于提高低轨卫星顶部电离层 TEC 数据的准确度和可靠性,加深对顶部电离层变化特性及暴时响应特征等方面的认识。总之,使用低轨卫星 TEC 研究顶部电离层的变化特性及其主导物理机制,对加深认识电离层/热层与顶部电离层之间的耦合过程、揭示不同高度区域之间的能量和物质交换关系、加强对电离层 F_2 区现象未知机制的物理解释、改进现有模式的不足、提高空间天气领域预报能力等有着重要理论意义和应用价值。

攻读博士期间与博士学位论文相关的代表性成果（限列 10 项）					
发表学术论文数	8	本人第一论文数 (含导师第一本人第二)	6	专利及其它成果数	无
序号	成果名称	作者排名	期刊名称	发表时间	收录情况
1	Longitudinal variations of topside ionospheric and plasmaspheric TEC	第一	Journal of Geophysical Research: Space Physics	2017 年	SCI 二区 IF 3.318
2	Long-duration depletion in the topside ionospheric total electron content during the recovery phase of the March 2015 strong storm	第一	Journal of Geophysical Research: Space Physics	2016 年	SCI 二区 IF 3.318
3	Determination of differential code bias of GNSS receiver onboard low Earth orbit satellite	第一	IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing	2016 年	SCI 二区 IF 3.360
4	Assessment of vertical TEC mapping functions for space-based GNSS observations	第一	GPS Solutions	2016 年	SCI 二区 IF 2.991
5	Is the long-term variation of the estimated GPS differential code biases associated with ionospheric variability?	第一	GPS Solutions	2016 年	SCI 二区 IF 2.991
6	Contrasting behavior of the F2 peak and the topside ionosphere in response to the 2 October 2013 geomagnetic storm	导师第一本人第二	Journal of Geophysical Research: Space Physics	2016 年	SCI 二区 IF 3.318
7	Statistical analysis of nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances using airglow images and GPS observations over central China	第六	Journal of Geophysical Research: Space Physics	2016 年	SCI 二区 IF 3.318
8	Response of the topside and bottomside ionosphere at low and middle latitudes to the October 2003 superstorms	第七	Journal of Geophysical Research: Space Physics	2015 年	SCI 二区 IF 3.318
9					
10					