

中国地质大学（武汉）

《空间探测导论》课程论文报告



利用 IGS 数据绘制全球 TEC 地图

姓 名： 王锴 学 号： 20141003214
院（系）： 李四光学院 专 业： 地球物理
任课教师： 余涛 评阅人： _____

二〇一七年五月

目录

一、课题名称	1
二、背景介绍	1
三、实验步骤	1
四、程序代码	2
五、研究结果	3
六、结论	6

一、课题名称

利用 IGS 数据绘制全球 TEC 地图。

二、背景介绍

电离层电子浓度总含量(TEC)又称电离层电子浓度柱含量、积分含量等,是一个非常重要的电离层参量,对电离层物理的理论研究及电离层电波传播的应用研究均具有十分重要的意义。理论上,TEC 的空间分布及时间变化,反映了电离层的主要特性,因此通过探测与分析电离层 TEC 参量,可以研究电离层不同时空尺度的分布与变化特性,如电离层扰动,电离层的周日、逐日变化,电离层年度变化,以及电离层的长期变化等。应用中,电离层的 TEC 与穿透电离层传播的无线电波时间延迟与相位延迟密切相关,因此可用于在卫星定位、导航等空间应用工程中的电波传播修正。

电离层 TEC 探测手段以卫星信标测量为主,如微分多普勒方法、法拉第旋转方法等。随着全球定位系统(GPS)的使用,采用 GPS 双频信标的测量获取电离层 TEC 参量成为当前最为重要的和广泛采用的方法。利用局域与全球的 GPS 台网观测,通过实时处理与传输,并采用不同的 TEC mapping 方法,可以进行大范围电离层 TEC 的现报,这在当前空间天气研究中具有特别意义。

2016 年 5 月 8 日 - 9 日是 2016 年最强的地磁暴事件,2017 年 1 月 1 日是一个平静日。

三、实验步骤

1、获取 IGS 的 GIM 数据

从网站上获取 IGS (The International GNSS Service) 的 GIM (Global Ionosphere Maps) 产品数据,数据的日期为 2017 年 1 月 1 日(无磁暴)和 2016 年 5 月 8 日(有磁暴)。(数据网站: <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/ionex/2017/001/igsg010.17i.Z>; <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/ionex/2016/129/igsg1290.16i.Z>)

2、按格式读取 GIM 数据

分析下载的数据,以 2017 年 1 月 1 日数据为例,可以知道数据包含了 2017 年 1 月 1 日 00:00 UT 到 2017 年 1 月 2 日 00:00 UT 的全球 TEC 地图数据以及每幅地图对应的方差地图,每两幅 TEC 地图之间的时间间隔为 7200s (即 2h),共包含 13 幅 TEC 地图和 13 幅方差地图,数据来源是 308 个地面台站和 32 颗 GPS 卫星,数据单位是 0.1 TECU,地球平均半径 6371km,数据维度为二维,数据海拔为 450km,经度从 180° W 到 180° E,间隔为 5°,纬度从 87.5° N 到 87.5° S,间隔为 2.5°。因此,每幅地图的数据结构是 71×73 的矩阵,但是数据的列数是 16,因此需要对数据结构进行重新整理。

3、绘图

由于数据包含的 TEC 地图较多,因此本文只选取了 2017 年 1 月 1 日 00:00 UT、2017 年 1 月 1 日 08:00 UT、2017 年 1 月 1 日 16:00 UT、2016 年 5 月 8 日 00:00 UT、2016 年 5 月 8 日 08:00 UT 和 2016 年 5 月 8 日 16:00 UT 六幅全球 TEC 地图进行绘制。绘制前首先对数据进行预处理并存储为.mat 格式,然后通过 matlab 编程实现数据操作和绘图。程序还提供了全球 TEC 地图的动画。

四、程序代码

```

1      % 导入2017年1月1日全球TEC地图数据
2      load igsg170101.mat;
3      % 导入全球海岸线数据
4      load coast;
5      % 生成经纬度坐标
6      x=-180:2.5:180; y=-87.5:2.5:87.5;
7      % 设置 gif 动画文件名
8      filename = 'igsg170101.gif';
9      for j=1:13
10         k=355*(j-1); % 计算每幅地图的起始点
11         for i=0:70 % 将数据重新整理为标准矩阵
12             data(i+1,:)= [igsg170101(5*i+k+1,1:16) igsg170101(5*i+k+2,1:16) ...
13                             igsg170101(5*i+k+3,1:16) igsg170101(5*i+k+4,1:16) ...
14                             igsg170101(5*i+k+5,1:9)];
15         end
16         data=data/10; % 换算为标准单位
17         % 绘制TEC地图
18         figure; imagesc(x,y,data); hold on; plot(long,lat,'w');
19         set(gca,'ydir','normal'); set(gca,'position',[0.13 0.2 0.778 0.8]);
20         set(gca,'XTick',-180:45:180, 'YTick',-60:30:60);
21         axis equal; axis([-180 180 -87.5 87.5]);
22         % 设置标题和纵横坐标
23         if 2*(j-1)<10 % 统一时间格式
24             t=['0',num2str(2*(j-1))];
25         else
26             t=num2str(2*(j-1));
27         end
28         title(['GLOBAL IONOSPHERE MAPS FOR DAY 001, 2017 - ',t,':00 UT']);
29         xlabel('Geographic longitude(\circ)');
30         ylabel('Geographic latitude(\circ)');
31         % 设置色标
32         hcb=colorbar('southoutside','position',[0.13 0.2 0.778 0.02]);
33         set(get(hcb,'Xlabel'),'String','TEC(TECU)');
34         % 生成动画和 gif 图片
35         M(j) = getframe(gcf); % 获取帧
36         im = frame2im(M(j)); % 将帧转换为 img 图片
37         [imind,cm] = rgb2ind(im,256);
38         if j == 1; % 合成 gif 图片
39             imwrite(imind,cm,filename,'gif', 'Loopcount',inf,'DelayTime',0.5);
40         else
41             imwrite(imind,cm,filename,'gif','WriteMode','append','DelayTime',0.5);
42         end
43     end
44     % 演示动画
45     figure; set(gca,'position',[0 0 0.778 0.8]); axis off
46     movie(M,3,2);

```

五、研究结果

1、2017 年 1 月 1 日（无磁暴）全球 TEC 地图

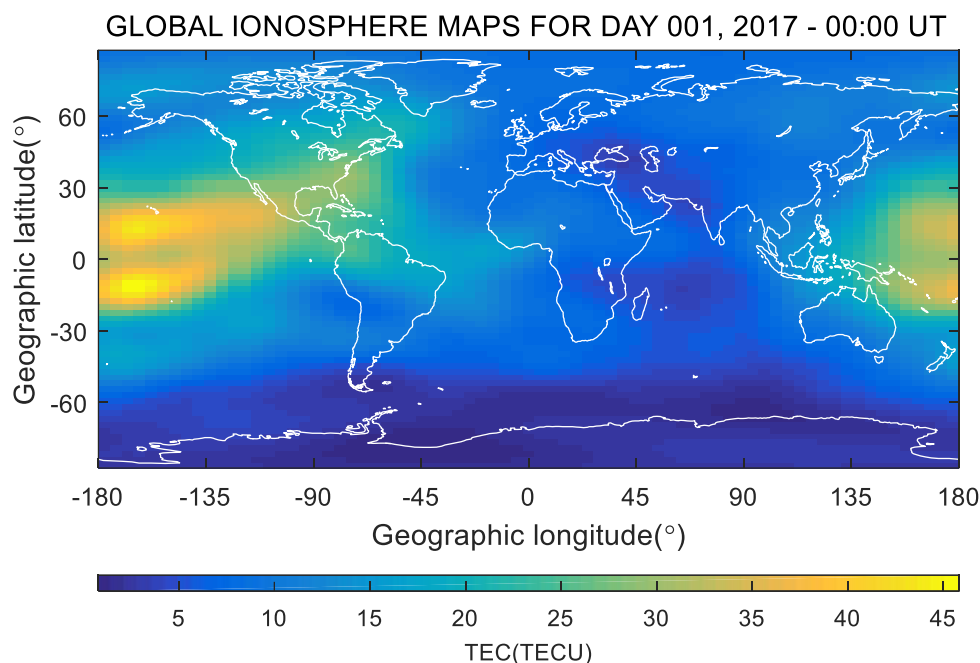


图 1 2017 年 1 月 1 日 0 时 (UT) 的全球 TEC 地图, 此时太阳直射 180° 经线, 电离层电子密度最大值位于 160° W 左右, 约为当地时 14 时; 电离层电子密度在 10° N 和 10° S 左右有两个极大值, 关于赤道呈对称分布; 南极洲地区电离层电子密度普遍偏低, 印度洋和黑海地区有两个极小值。

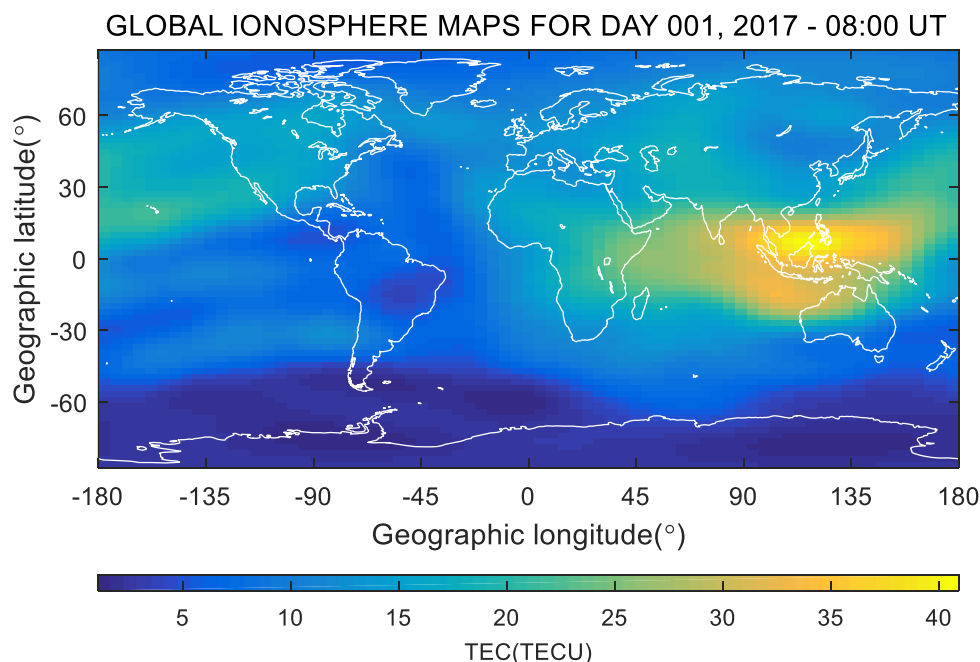


图 2 2017 年 1 月 1 日 8 时 (UT) 的全球 TEC 地图, 此时太阳直射 60° E 经线, 电离层电子密度最大值位于东南亚附近, 约为当地时 14 时; 北半球电离层电子密度普遍比南半球偏大; 南极洲地区电离层电子密度最低, 巴西地区有一个极小值。

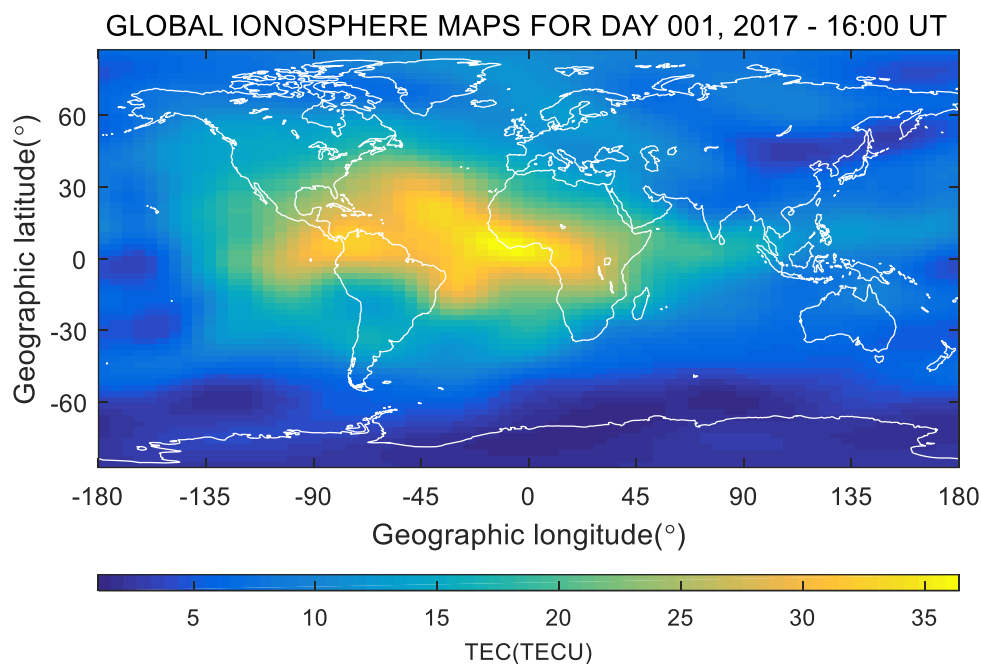


图3 2017年1月1日16时(UT)的全球TEC地图,此时太阳直射60°W经线,电离层电子密度在大西洋地区出现四个极大值,呈“十”字形对称分布;南极洲地区电离层电子密度普遍偏低,太平洋中部、南部和蒙古地区出现三个极小值。

2、2016年5月8日(有磁暴)全球TEC地图

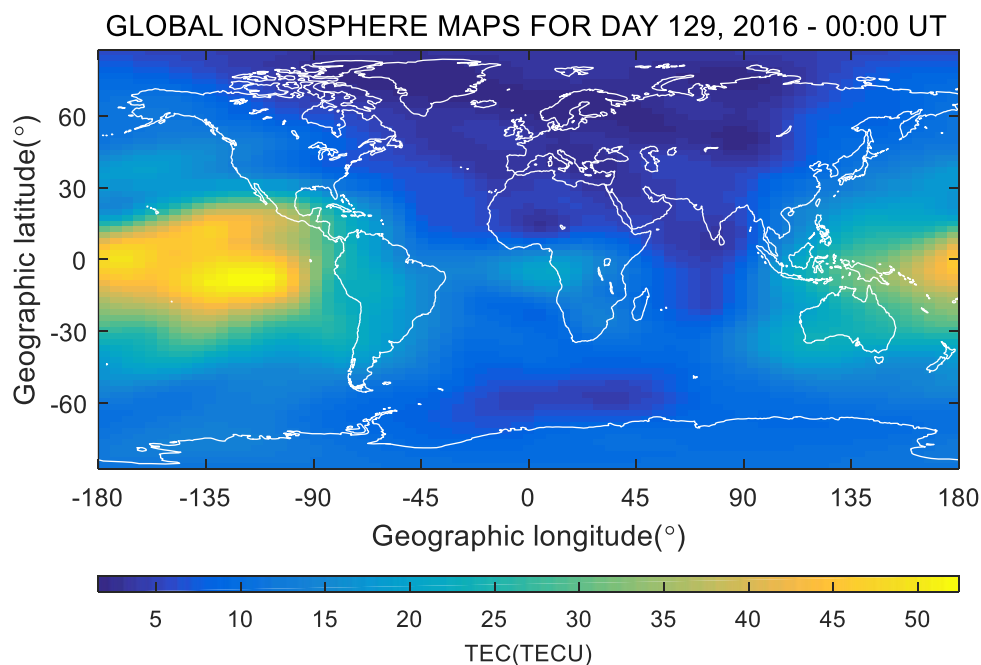


图4 2016年5月8日0时(UT)的全球TEC地图,此时太阳直射180°经线,电离层电子密度最大值位于135°W左右,约为当地时15时;电离层电子密度在10°N、10°S和赤道附近左右有三个极大值,南半球电离层电子密度普遍比北半球偏大;北极、格林兰岛、欧洲、亚洲西部和非洲北部地区电离层电子密度普遍偏低。与2017年1月1日同时刻相比,这一天的全球电离层电子密度普遍增大10TECU左右。

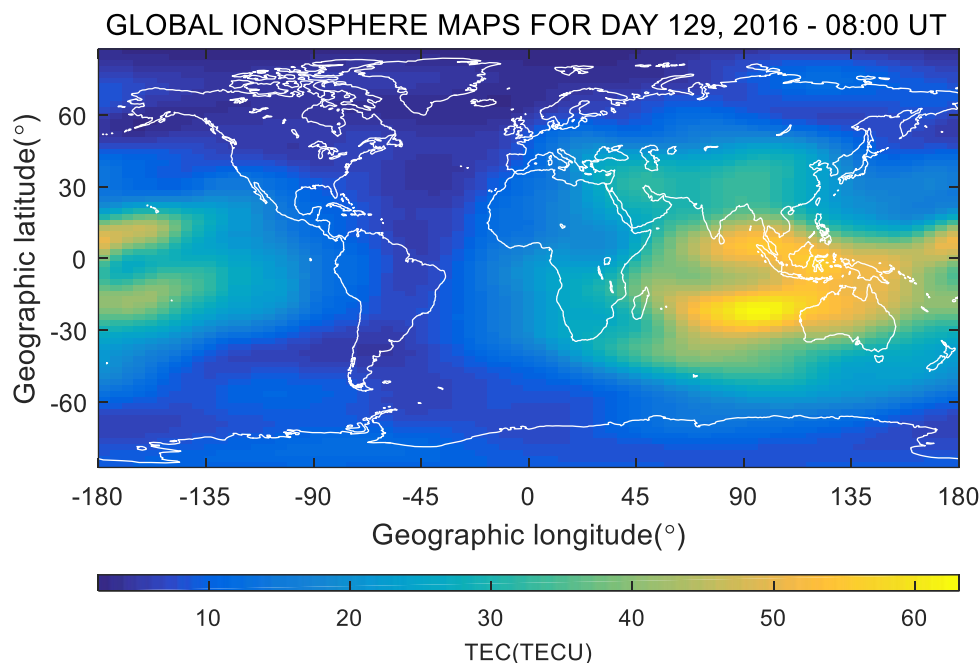


图5 2016年5月8日8时(UT)的全球TEC地图,此时太阳直射60°E经线,电离层电子密度最大值位于澳大利亚西部一度样海域,约为当地时14时;南半球电离层电子密度普遍比北半球偏大;北极、北大西洋、南美洲、北美洲北部地区电离层电子密度普遍偏低。与2017年1月1日同时刻相比,这一天的全球电离层电子密度普遍增大20TECU左右。

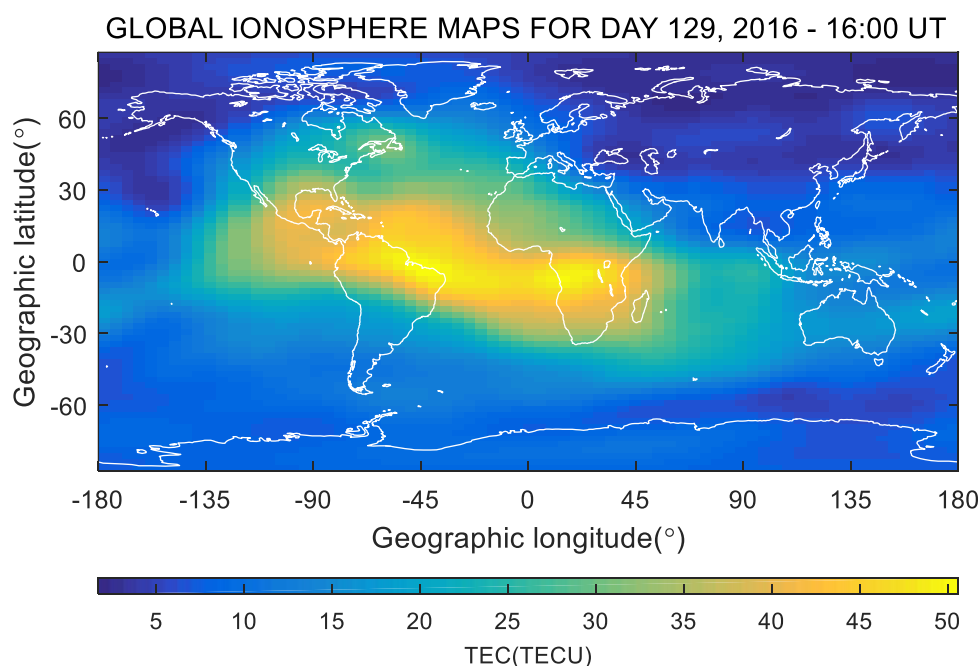


图6 2016年5月8日16时(UT)的全球TEC地图,此时太阳直射60°W经线,电离层电子密度在南美洲北部到非洲南部一带出现极大值,呈“一”字形条带分布;南半球电离层电子密度普遍比北半球偏大,北极、欧洲和亚洲北部地区出现极小值。与2017年1月1日同时刻相比,这一天的全球电离层电子密度普遍增大15TECU左右。

六、结论

①全球 TEC 地图具有周日重现性，反映了全球 TEC 分布与太阳直射点具有关联性，通常，电离层电子密度的极大值出现在赤道附近，时间约为当地时 14~15 时，纬度约为 10° N 和 10° S，并且极大值通常表现为关于赤道南北对称关系；南美洲-南大西洋地区的极大值通常表现为片状或者带状，延伸很广；电离层电子密度的极小值出现在极地地区，并且表现出与季节的相关性，通常，太阳直射半球的电子密度比里一个半球偏低，电子密度极小值出现在太阳直射的半球，另外，在全球若干区域也会出现电子密度的极小值区域。

②地磁暴影响的时期，全球 TEC 地图总体分布与平静期区别不大，但在幅值上有较大变化，当磁暴来临时，全球电离层电子密度迅速增大（约 20 TECU），磁暴结束后，全球电离层电子密度缓慢降低到平静期水平（约 2~3 天）。