

江苏高校优势学科建设工程资助项目 资助
江苏高校品牌专业建设工程资助项目

NCL

数据处理与绘图 基础教程

NCL SHUJU CHULI YU HUITU JICHU JIAOCHENG

施宁 潘玉洁 于恩涛 汪君◎编著

江苏高校优势学科建设工程资助项目
江苏高校品牌专业建设工程资助项目 资助

NCL 数据处理与绘图基础教程

施 宁 潘玉洁 于恩涛 汪 君 编著



 气象出版社
China Meteorological Press

内 容 简 介

本书详细介绍了 NCL 在各操作系统中的安装步骤、基本语法、文件读写、数据运算和绘图等基础功能。同时,本书还介绍了 NCL 与第三方软件的联动(如 Fortran、文本编辑器、Python、CDO、VAPOR 等)。本书中部分示例脚本可在气象出版社官网下载。本书适合大气科学专业及其他地学专业本科及研究生学习使用,也可供相关科研业务人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

NCL 数据处理与绘图基础教程 / 施宁等编著. — 北京:气象出版社,2018.3
ISBN 978-7-5029-6747-5

I. ①N… II. ①施… III. ①计算机制图-高等学校-教材-IV. ①TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 053508 号

NCL 数据处理与绘图基础教程

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

电 话:010-68407112(总编室) 010-68408042(发行部)

网 址:<http://www.qxcbs.com>

责任编辑:郑乐乡 黄红丽

责任校对:王丽梅

封面设计:楠竹文化

印 刷:三河市百盛印装有限公司

开 本:720 mm×960 mm 1/16

字 数:373 千字

版 次:2018 年 3 月第 1 版

定 价:58.00 元

邮政编码:100081

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:吴晓鹏

责任技编:赵相宁

印 张:18.5

彩 插:8

印 次:2018 年 3 月第 1 次印刷

前 言

NCAR Command Language(NCL)是美国国家大气研究中心(NCAR)针对大气科学研究与气象业务需求推出的免费的数据处理与绘图软件。该软件的平台适用性强,可安装在 Linux、Windows 和 MacOSX 操作系统下。NCL 内置了许多函数和程序,具有很强的读、写、处理和可视化科学数据的能力。目前,NCL 已被大气科学界公认为一款功能强大的计算与绘图工具,正受到越来越多的科研院所师生及相关从业人员的重视与喜爱。

本书根据作者数年来的 NCL 实践教学和科研使用经验,参照 NCL 官网上提供的示例及《NCL User Guide》,系统全面地介绍了 NCL 在各操作系统中的安装步骤、基本语法、文件读写、数据运算和绘图等基础功能。同时,本书还对一些重点与难点进行了详细介绍,便于读者更好地理解。同时,本书还介绍了 NCL 与第三方软件的联动(如 Fortran、文本编辑器、Python、CDO、VAPOR 等),这可极大地提高 NCL 的使用效率,扩展其应用范围。本书中部分示例脚本可在气象出版社官网上(网址:<http://www.qxcbs.com/ebook/ncljc/mdata.html>)下载,方便读者使用。

本书在编写出版过程中,得到了南京信息工程大学及其教务处、大气科学学院领导的大力支持,在此向他们表示诚挚的谢意。同时感谢江苏高校优势学科建设工程、江苏高校品牌专业建设工程及南京信息工程大学大气科学与环境气象实习教材建设项目为本书的撰写提供了经费支持。本书第 1 章、第 3 章由南京信息工程大学潘玉洁老师执笔,第 2 章、第 4 章由中国科学院大气物理研究所于恩涛副研究员执笔,第 9 章由中国科学院大气物理研究所汪君高级工程师执笔,其余章节由南京信息工程大学施宁副教授执笔。南京信息工程大学大气科学学院王晓琼硕士研究生、田平宇硕士研究生提供了第 5 章至第 8 章内容素材。特别感谢中国科学院大气物理研究所董理副研究员、海南省气象台李勋高级工程师、南京信息工程大学杨胜朋副教授、李忠贤副教授、孙晓娟副教授对本书提出了许多宝贵修改意见。由于作者学识有限、时间仓促,谬误在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

2017 年 10 月

目 录

前 言

第 1 章	NCL 基础知识	(1)
1.1	NCL 简介	(1)
1.2	NCL 的官方学习资料	(1)
1.3	数据格式和图形格式	(2)
1.3.1	支持的数据和图形格式	(2)
1.3.2	NetCDF 及其元数据	(3)
1.4	本书中的示例脚本和数据	(5)
1.5	NCL 技术支持	(6)
第 2 章	安装运行	(7)
2.1	Linux 操作系统	(7)
2.1.1	下载安装 NCL	(7)
2.1.2	测试	(9)
2.1.3	常见安装问题	(10)
2.2	MacOSX 操作系统	(13)
2.2.1	下载安装 NCL	(13)
2.2.2	测试	(13)
2.2.3	常见安装问题	(13)
2.3	Cygwin Unix 模拟器	(15)
2.3.1	下载安装 Cygwin/X	(16)
2.3.2	下载安装 NCL	(17)
2.3.3	测试	(18)
2.4	Windows 10 操作系统	(18)
2.5	NCL 运行方式	(19)
第 3 章	基本语法	(21)
3.1	语法字符	(21)
3.2	表达式	(21)
3.2.1	数学表达式	(22)

3.2.2	逻辑表达式	(22)
3.3	数据类型	(23)
3.4	变量及元数据	(25)
3.4.1	属性	(25)
3.4.2	命名维	(26)
3.4.3	坐标变量	(26)
3.4.4	字符串引用	(27)
3.4.5	保留及删除元数据	(28)
3.4.6	变量赋值	(28)
3.4.7	列表变量	(35)
3.5	数组	(38)
3.5.1	数组索引	(39)
3.5.2	命名索引	(40)
3.5.3	坐标变量索引	(40)
3.5.4	数组优化应用函数介绍	(41)
3.6	语句	(46)
3.6.1	块	(46)
3.6.2	If 语句	(47)
3.6.3	循环	(48)
3.7	输出数据和变量信息	(48)
3.8	保留的关键词	(49)
第 4 章	文件读写	(50)
4.1	函数 addfile 和 addfiles	(50)
4.2	创建 NetCDF 文件	(52)
4.3	读取 ASCII 文件	(54)
4.4	创建 ASCII 文件	(59)
4.5	读取 CSV 文件	(63)
4.6	创建 CSV 文件	(66)
4.7	读取二进制文件	(67)
4.8	创建二进制文件	(70)
第 5 章	常见计算函数举例	(72)
5.1	数组的平均值	(72)
5.2	数组的标准差	(73)
5.3	加权面积平均	(74)

5.4	滑动平均	(74)
5.5	线性回归	(75)
5.6	月平均资料计算年平均	(76)
第 6 章	网格转换(regridding)	(77)
6.1	函数 ESMF_regrid	(78)
6.2	曲线网格转换成等经纬度网格	(81)
6.3	曲线网格转换为指定文件中的等经纬度网格	(83)
6.4	非结构网格转换成等经纬度网格	(85)
6.5	非结构网格转换为指定文件中的等经纬度网格	(87)
6.6	直线网格转换为曲线网格	(89)
第 7 章	绘图	(92)
7.1	.hluresfile 文件	(92)
7.2	NCL 绘图步骤	(93)
7.3	色板	(95)
7.3.1	色板	(95)
7.3.2	颜色透明	(97)
7.3.3	自定义色板	(98)
7.4	绘图参数	(100)
7.4.1	视图(viewport)	(102)
7.4.2	字符——文本函数数码(function code)	(103)
7.4.3	图题及坐标轴名称(title)	(109)
7.4.4	地图(map)	(110)
7.4.5	坐标刻度线及其标签(tickmark)	(116)
7.4.6	色标(labelbar)	(120)
7.5	程序 draw 和 frame	(122)
7.6	添加文本(text)	(124)
7.7	多边形(polygon)、任意折线(polyline)和标识(polymarker)	(127)
7.8	折线图(XY)和图例(legend)	(131)
7.8.1	多根折线及图例	(131)
7.8.2	倒置 Y 轴	(133)
7.8.3	气压对数坐标垂直剖面	(134)
7.8.4	添加误差条	(136)
7.8.5	参考值上下不同填色	(138)
7.8.6	沿 X 轴堆叠系列折线	(139)

7.8.7	两根折线之间填色	(143)
7.8.8	两个 X 轴	(145)
7.8.9	两个 Y 轴并控制坐标标签的精度	(149)
7.8.10	三个 Y 轴	(150)
7.9	散点图(scatter)	(153)
7.9.1	折线图中的散点	(153)
7.9.2	标识(polymarker)散点	(154)
7.10	柱状图(bar chart)	(157)
7.10.1	一个变量的柱状图	(157)
7.10.2	多个变量的柱状图	(159)
7.11	直方图(histogram)	(161)
7.11.1	多个变量的直方图	(161)
7.11.2	堆栈形式	(163)
7.12	等值线图(contour)	(165)
7.12.1	等值线及其标签	(165)
7.12.2	等值线线条与标签的显示方式	(167)
7.12.3	正、零和负值等值线采用不同颜色	(169)
7.12.4	等值线形状填充	(171)
7.12.5	栅格图	(174)
7.12.6	添加纬向平均	(175)
7.13	矢量图(vector)	(178)
7.13.1	水平矢量	(178)
7.13.2	垂直矢量	(181)
7.14	气压/高度剖面图	(184)
7.15	图形叠加(overlay)	(186)
7.15.1	折线图叠加	(186)
7.15.2	等值线叠加	(188)
7.15.3	等值线及箭头的叠加	(190)
7.15.4	不同分辨率图形的叠加	(192)
7.16	组图(panel)	(196)
7.17	曲线网格及非结构网格	(199)
7.18	旋转网格	(200)
7.18.1	在原网格(native grid)上绘图	(201)
7.18.2	转换旋转网格至非旋转经纬度网格	(204)

7.19	不规则区域内绘图	(210)
7.20	中国台站资料	(213)
7.21	插入 logo	(220)
7.22	动画	(222)
第 8 章	NCL 高级特性	(226)
8.1	遮盖(masking)图	(226)
8.2	日期转换	(228)
8.3	字符串处理	(231)
8.4	系统调用	(232)
8.5	自定义函数和程序	(234)
8.5.1	程序	(234)
8.5.2	函数	(237)
8.6	调用外部 Fortran 语言或 C 语言程序代码	(239)
8.6.1	Fortran77 代码	(240)
8.6.2	Fortran90 代码	(243)
8.6.3	C 语言程序代码	(245)
8.6.4	须注意的问题	(250)
8.6.5	常见问题的解决方法	(255)
8.6.6	测试 WRAPIT	(257)
第 9 章	第三方软件和工具	(259)
9.1	文本编辑器	(259)
9.1.1	Sublime Text	(259)
9.1.2	Atom	(260)
9.1.3	Vim	(261)
9.1.4	其他编辑器	(262)
9.1.5	关于编辑器的补充内容	(262)
9.2	PyNGL 和 PyNIO	(264)
9.2.1	PyNGL 及 PyNIO 简介及安装	(264)
9.2.2	PyNGL 使用简介	(265)
9.3	Python、Matplotlib 以及 Basemap 等	(270)
9.3.1	Python 科学计算及作图简介	(271)
9.3.2	大气和海洋科学常用的 Python 程序包简介	(272)
9.3.3	Basemap 和 Cartopy 程序包简介及示例	(272)
9.4	CDO 和 NCO	(275)

9.4.1 CDO	(275)
9.4.2 NCO	(278)
9.5 包含在 NCL 软件包中的其他 shell 命令	(279)
9.6 VAPOR 和 UV-CDAT	(280)
思考题	(282)
参考文献	(285)
附录 几个常用的绘图要素图示	(286)

实习资料下载说明

本书中部分示例脚本可从气象出版社网站下载。网址为:<http://www.qxb.com/ebook/ncljc/mdata.html>。

第1章 NCL 基础知识

1.1 NCL 简介

NCL 全称 NCAR Command Language, 是美国国家大气研究中心(NCAR)研发的专门用于科学数据处理和可视化的一门开源解释性语言, 其官方网页为 <http://www.ncl.ucar.edu/>。

NCL 具有现代编程语言许多特征, 有数据类型、变量、运算符、表达式、条件语句、循环以及函数和程序。因它是一种编程语言, 用户须具有一定的编程语言使用经验。对于无编程经验的用户而言, 也不必过于担心。因为许多计算和处理任务也并不需要高级的编程技巧, 如转换文件格式和创建图形文件, 用户只需调用相应的 NCL 内置函数即可。除常见的编程功能外, NCL 还具有一些特别的功能, 如元数据处理, 图形输出的配置, 各种数据格式的读取以及数组的代数运算。

NCL 主要有三个使用领域。一是文件读写。NCL 具有独特的语法, 支持 NetCDF, HDF4 和 HDF5 等数据格式读写, 能够便捷地访问、读取和输出整个变量、部分变量(数组切片)以及变量的附加信息(即元数据, 它通常是网格的坐标信息、单位、缺省值等)。二是数据处理。数据处理的难度取决于用户对数据处理要求的复杂性。学习编写高效的 NCL 数据处理代码需要对编程语言有相当多的了解。三是绘图。NCL 绘图过程简单明了, 主要通过 NCAR Graphics 高级应用程序库(HLU)实现图形的绘制。

NCL 的主要设计目的是快捷简单地读取各种数据格式、处理数据以及创建图形。它旨在提供一个集成的环境, 可交互地选择、处理和可视化数据, 而不需要编译。虽然 NCL 不能替代其他结构化语言编程, 但它支持调用外部 C 语言程序和 Fortran 程序, 这使得 NCL 可无限扩展其功能。

1.2 NCL 的官方学习资料

NCL 官网上有“精简”使用手册 2 套以及 1 套用户指南, 可由以下链接下载和打印:

绘图: http://www.ncl.ucar.edu/Document/Manuals/graphics_man.pdf
语法: http://www.ncl.ucar.edu/Document/Manuals/language_man.pdf
用户指南: http://www.ncl.ucar.edu/Document/Manuals/NCL_User_Guide/NCL_User_Guide_v1.1_A4.pdf

此外, NCL 官网还提供了在线教程和范例:

操作入门教程: http://www.ncl.ucar.edu/Document/Manuals/Getting_Started/
参考指南: http://www.ncl.ucar.edu/Document/Manuals/Ref_Manual/

1.3 数据格式和图形格式

1.3.1 支持的数据和图形格式

NCL 可以读入以下数据格式:

- ✓ netCDF3, netCDF4
- ✓ HDF4-SDS, HDF2-EOS, HDF5, HDF5-EOS
- ✓ GRIB1, GRIB2
- ✓ CCM 历史数据
- ✓ shapefile
- ✓ 无格式二进制文件(binary)
- ✓ ASCII

NCL 可以输出以下数据格式:

- ✓ netCDF3, netCDF4
- ✓ HDF4, HDF5
- ✓ 无格式二进制文件
- ✓ ASCII

NCL 可以输出以下图形格式文件:

- ✓ PS, EPS, EPSI
- ✓ PDF
- ✓ PNG
- ✓ SVG (适用于网页)
- ✓ NCGM (较老的图形格式, 不推荐)
- ✓ X11 (X11 可视化窗口)

1.3.2 NetCDF 及其元数据

NetCDF(Network Common Data Form)网络通用数据格式是由 UNIDATA 研发的一种自描述(self-describing format)且和机器无关的网络通用数据格式。NetCDF数据的主页为 <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>, 安装源代码可从 GitHub 下载, 下载页为 <http://github.com/Unidata/netcdf-c>。

NetCDF 数据的自描述性表现在数据本身的说明(元数据)与数据内容均存储在同一数据文件中。如图 1.1 所示, 组为一个独立的 NetCDF 数据, 每个组具有属性、维度和变量。属性和变量的描述为全局性元数据, 变量中斜体部分则为变量元数据。其中, NetCDF 元数据是 NetCDF 数据文件中用以描述数据相关信息的数据, 它有助于用户正确地理解和使用数据, 如网格信息、数据的维数和坐标信息(经度、纬度、高度、时间……)、变量名称、单位和全局信息等。

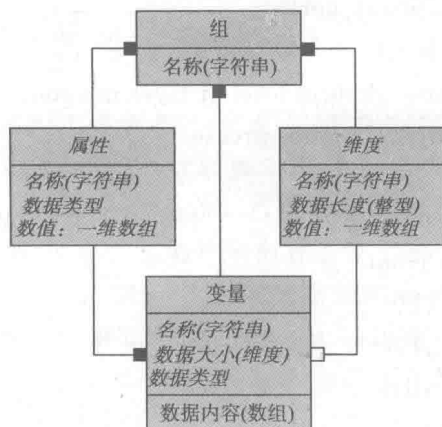


图 1.1 NetCDF 的存储形式

例如, 在终端中输入如下命令:

```
ncl_filedump uwnd, mon, ltm, nc
```

终端中将返回如下的信息：

```
dimensions:
```

```
time = 1  // unlimited
```

```
lat = 64
```

```
lon = 128
```

```
lev = 18
```

```
variables:
```

```
float PS ( time, lat, lon )
```

```
long_name :surface pressure
```

```
units :Pa
```

```
time_op :average
```

```
float T ( time, lev, lat, lon )
```

```
long_name :temperature
```

```
units :K
```

```
time_op :average
```

```
float lat ( lat )
```

```
long_name :latitude
```

```
units :degrees_north
```

```
float lev ( lev )
```

```
long_name :hybrid level at layer midpoints (1000 * (A+B))
```

```
units :hybrid_sigma_pressure
```

```
positive :down
```

```
A_var :hyam
```

```
B_var :hybm
```

```
P0_var :P0
```

```
PS_var :PS
```

```
bounds :ilev
```

```
float lon ( lon )
```

```
long_name :longitude
```

```
units :degrees_east
```

```
double time ( time )  
    long_name :time  
    units :days since 1980-01-01 00:00:00
```

可见,该文件中存在 6 个变量分别为 PS、T、lat、lev、lon、time,其中只有 time 为双精度型,其余均为浮点型。变量 PS 为三维数组,变量 T 为四维数组,其余均为一维数组。变量 PS 从左往右的各维名称分别为“time”、“lat”和“lon”,而变量 T 为“time”、“lev”、“lat”和“lon”,这些为变量的维名称。一维变量 lat、lev、lon、time 描述了变量 PS 与 T 的坐标信息,它们被称为坐标变量。变量 PS 与 T 均含有“long_name”与“units”信息,这些信息被称为属性。上述维名称、坐标变量与属性被称为元数据。

HDF 数据(包括 HDF4 和 HDF5)也为自描述性文件,数据主页为:

```
https://www.hdfgroup.org/products/hdf4/  
https://support.hdfgroup.org/HDF5/
```

可通过以下命令查看 HDF 文件信息:

```
ncl_filedump uwnd.mon.ltm.hdf
```

可见,与查看 NetCDF 文件信息不同之处仅在于文件的后缀名产生了变化。

1.4 本书中的示例脚本和数据

本书介绍的范例脚本主要有三个来源,一是来自用户指南教程(NCL User Guide),本书保留了原有脚本名称,这些脚本以“NUG”为开头;二是来自 NCL 官网 <http://www.ncl.ucar.edu/Applications/>,由于官网脚本是按类型加序号命名,如 xy_1.ncl、xy_2.ncl 等,考虑到本书章节内容安排不同于其官网,因而未采用其原脚本名称,而是将其改为以“NCL”为开头加类型的命名方法,如 NCL_xy_yrev.ncl;三是作者创建的脚本,如 plot-china-station.ncl。须指出的是,本书介绍的“NUG”与“NCL”脚本已经过作者修改,比如添加了中文注释、删减一些重复或不重要的代码、调整代码的编写顺序、更正错误代码,修正后的脚本更易于读者理解和掌握 NCL。

对于较长的代码行,本书采用了两种展示方式。一是较少地使用了行连接符“\”,如 7.4.2 节中:

```
res@tmXBLabels = (/ " Jan ~C~2000", " Feb ~C~2000", \  
                    " Mar ~C~2000", " Apr ~C~2000", \  
                    " May ~C~2000", " Jun ~C~2000", \  
                    " Jul ~C~2000", " Aug ~C~2000", \  
                    " Sep ~C~2000", " Oct ~C~2000", \  
                    " Nov ~C~2000", " Dec ~C~2000", \  
                    " Jan ~C~2001"/)
```

可见,代码并未写满至各行的最右端。二是大量使用了段落悬挂缩进的方式,如 4.3 节中:

```
print("Year: "+year+" month: "+month+" day: "+day+" hour: "+  
      hour+" minute: "+minute)
```

该代码首先写满了第一行,剩余代码则在第二行中采用悬挂缩进的方式展示。这是考虑到在实际编程过程中,行连接符“\”的使用频率较低,且文本编辑器(见 9.1 节)会帮助用户自动实现换行而无需手动添加“\”。

上述第三类以“plot”为开头的示例脚本及相应数据可从气象出版社网站下载,地址为 <http://www.qxcbs.com/ebook/ncljc/mdata.html>,读者下载后可对照操作。

1.5 NCL 技术支持

NCL 研发组提供两个邮件地址:一个处理安装问题 ncl-install@ucar.edu,一个解决一般问题、信息交换和程序漏洞报告 ncarg-talk@ucar.edu。在向上述邮件地址发送请求之前,需要事先订阅。订阅前请仔细阅读订阅指南:http://www.ncl.ucar.edu/Support/posting_guidelines.shtml。

NCL 提供了常见问题解答网页 <http://www.ncl.ucar.edu/FAQ/>,用户遇到的一些问题通常可在这里得到解决。

第2章 安装运行

地球系统网格(Earth System Grid, 简称 ESG)网站提供了两种类型的 NCL 文件(<https://www.earthsystemgrid.org/dataset/ncl.html>)以供下载:源代码包和预编译可执行文件(Precompiled Binaries)。若用户选择下载 NCL 源代码包,则须根据本地操作系统环境自行编译生成可执行文件,这需具备编译器、函数库及本地软件环境等相关知识,此过程相对复杂,编译过程中诊断、调试难度较高,费时费力。建议初级用户选择下载 NCL 预编译可执行文件压缩包,解压缩后即可使用,本章也将以这种方式为例进行介绍。

ESG 提供如下操作系统的预编译可执行文件压缩包:

- Linux(i686, x86_64 内核, gcc 版本不低于 4.4)
- MacOSX(Intel, 32 及 64 位)
- Windows 操作系统(借助 Cygwin Unix 模拟器)
- Windows 10(利用 Linux Bash shell)

2.1 Linux 操作系统

2.1.1 下载安装 NCL

(1)首先下载压缩包文件。在 ESG 网站中找到文件名中含“NCL * Linux * tar. gz”字样的文件,这些文件即适合在 Linux 系统下安装的 NCL 预编译可执行文件的压缩包,如

```
ncl_ncarg-6.4.0.Linux_RHEL6.4_x86_64_gnu472.tar.gz
```

该文件名中“RHEL”表示 Linux 系统类型为红帽 Linux 系统企业版(Red Hat Enterprise Linux),“x86_64”表示该压缩包适用于 64 位 CPU 架构,“gnu472”要求本地操作系统 gcc 编译器的版本为 4.7.2 或者更高。

可见,用户在下载 NCL 预编译可执行文件前,须知晓本机 Linux 属于哪个发行版本、使用的 CPU 架构以及 Linux 中编译器类型(gnu、intel 等)及版本等详细信息。在大型超级服务器上(如神威太湖之光、天河等),一般存在多个编译器及版本,详细