



中国科学院国家天文台
NATIONAL ASTRONOMICAL OBSERVATORIES, CAS



National Astronomical Data Center
国家天文科学数据中心



Python 在天文学中的 应用软件包纵览

何勃亮

国家天文台 国家天文科学数据中心



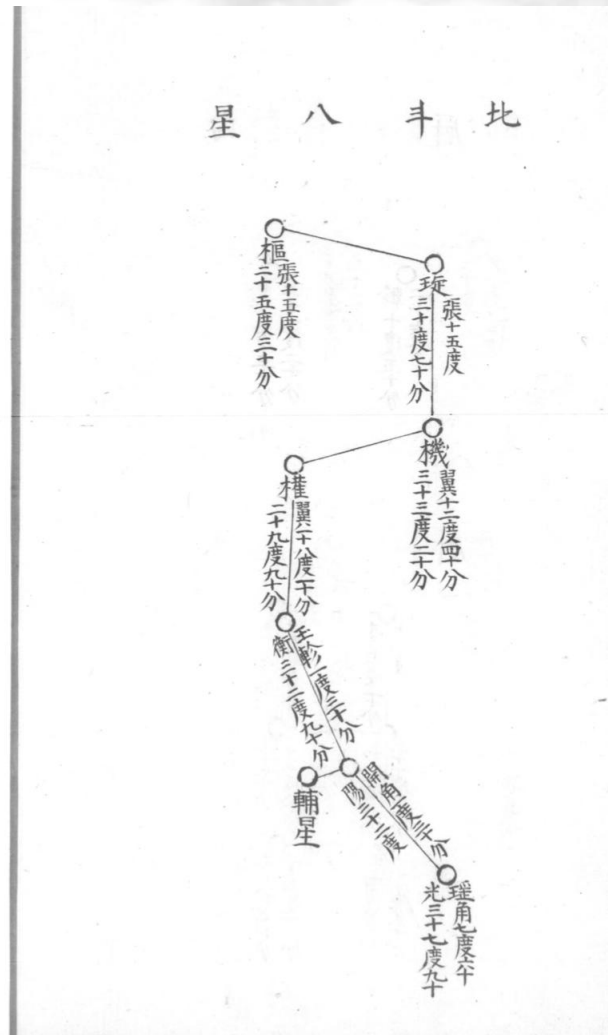
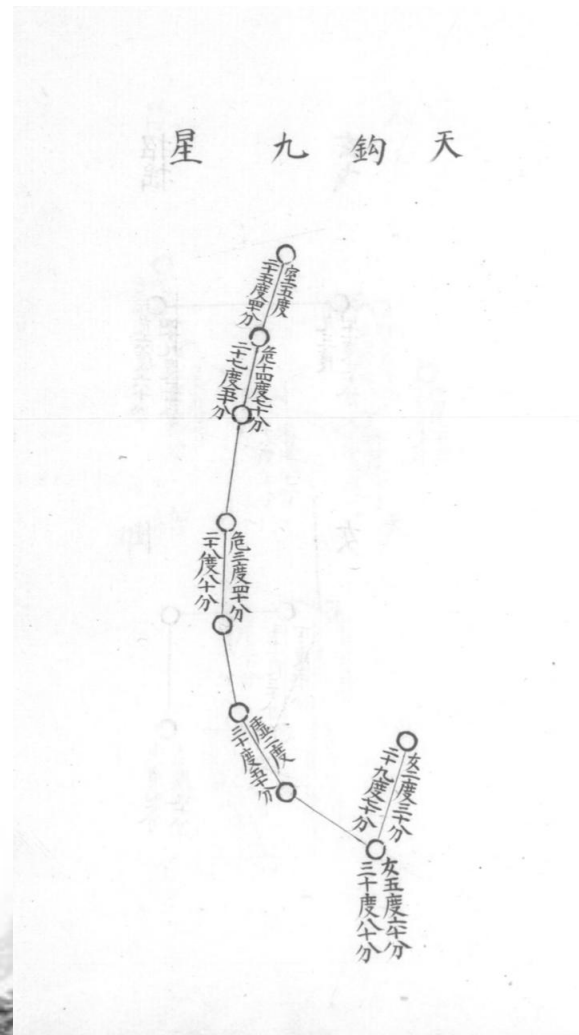
提纲

- 天文数据简史
- 虚拟天文台技术栈
- Python 简史
- Python在天文学应用中的软件包

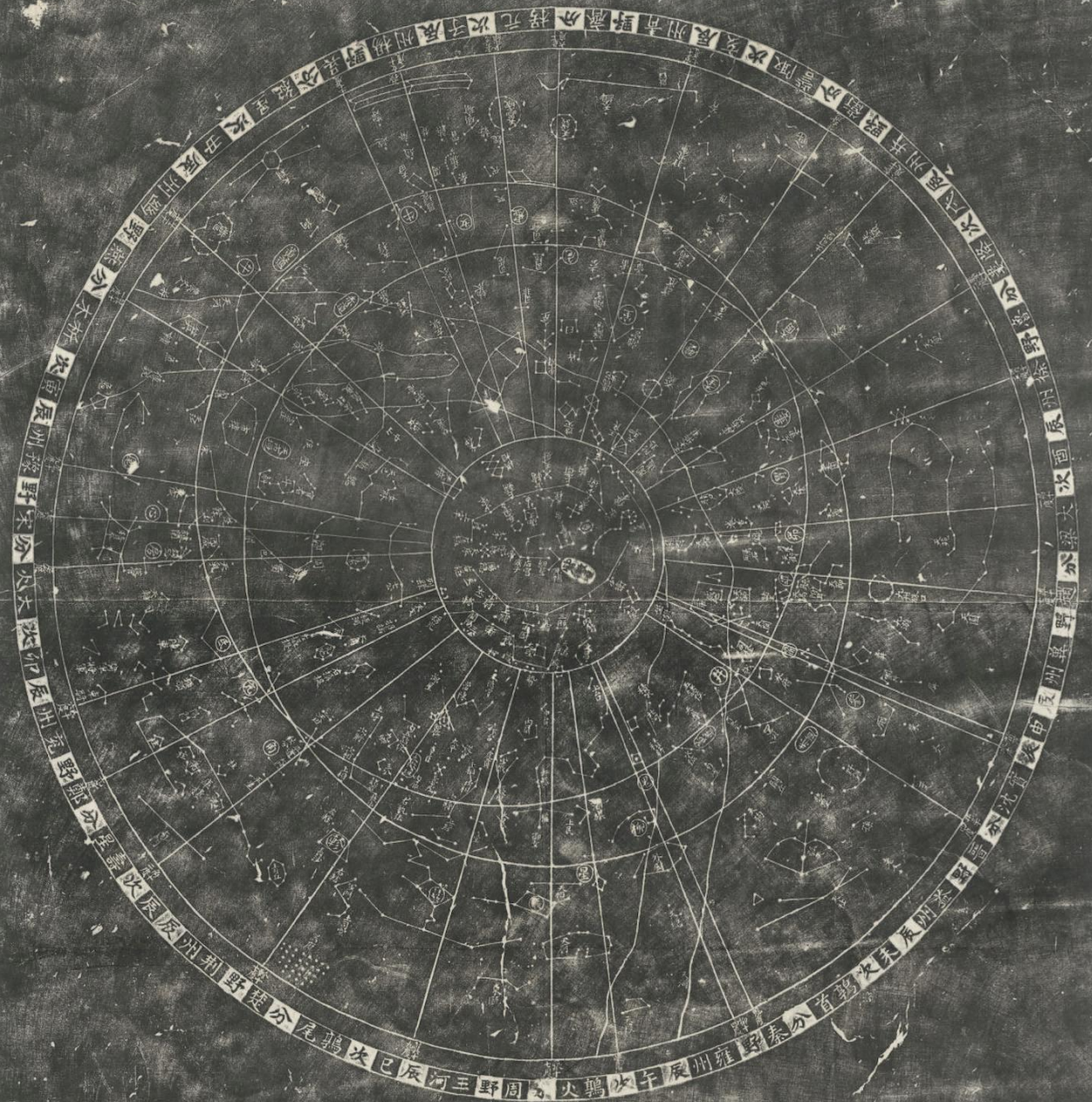


China-VO

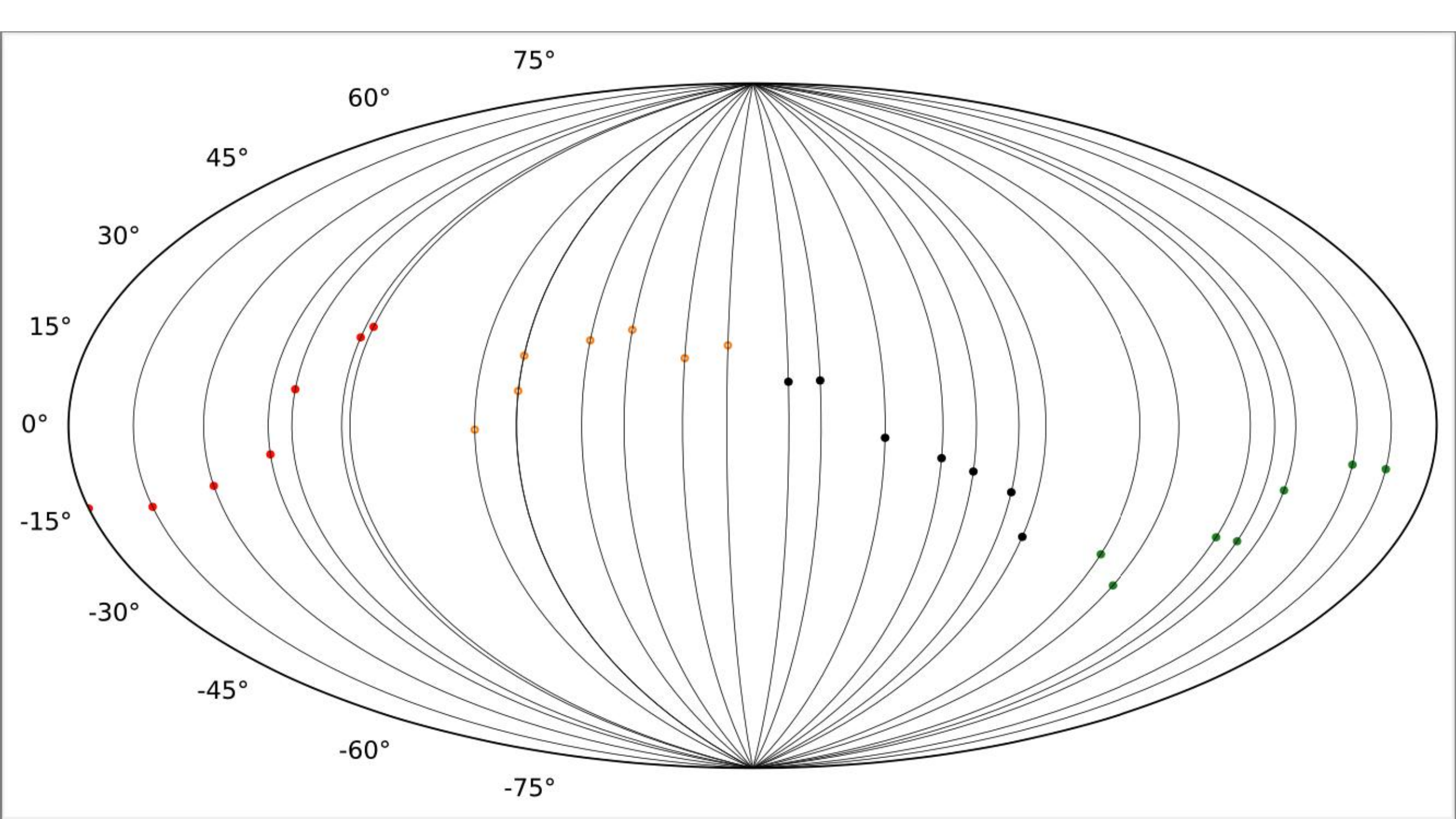
天文数据简史



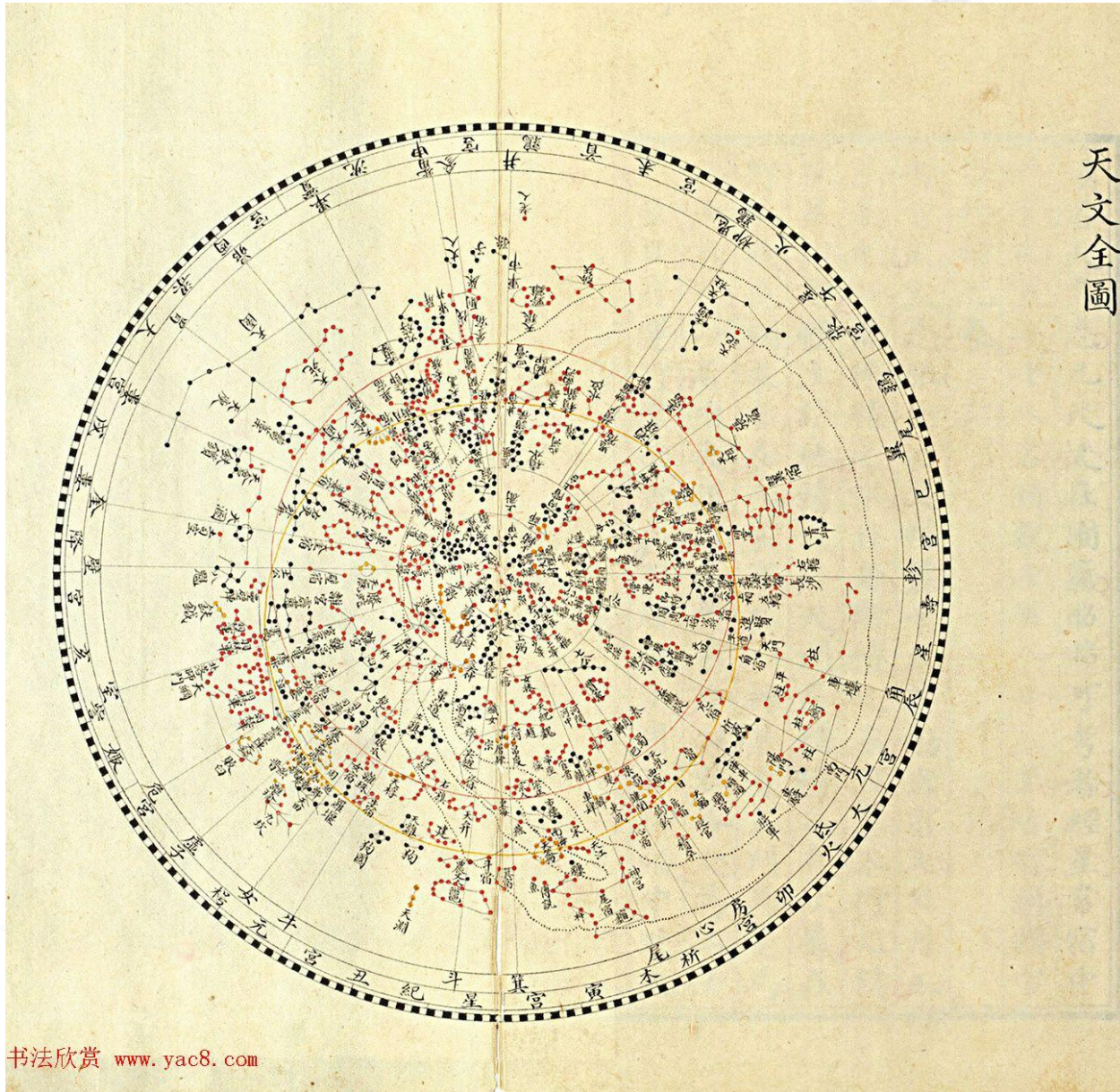
天文圖



宋兩朝天文志。太子星去北極十五度。入心宿三度。四輔四星去天樞各四度。勾陳六星去極六度半。入壁宿五度。天皇大帝星去極八度半。入室宿十一度。華蓋七星。杠九星。距中大星。去極二十六度。入婁宿四度。五帝內坐五星。距中大星。去極十二度半。入室宿六度。六甲六星。距南星。去極一十五度。入奎宿四度。女御四星。距西南星。去極一十三度半。入奎宿一度。天柱五星。距東南星。去極一十三度半。入危宿初度。尚書五星。距西南星。去極一十九度。入尾宿十四度。



天文全圖



望远镜的发展

- 望远镜的发展：17世纪望远镜的发明彻底改变了天文观测的方式。伽利略·伽利莱和约翰内斯·开普勒等天文学家利用望远镜进行了重大发现，包括木星的卫星、金星的相位和行星运动的规律。
- 照相底片：19世纪，摄影技术在天文学中得到广泛应用。天文学家开始使用照相底片捕捉夜空的图像。这些涂有感光乳剂的玻璃底片使得对天文对象进行更精确的测量成为可能，促进了更大规模的星表编制。
- 数字化时代：20世纪计算机和电子传感器的出现革命性地改变了天文数据的收集和分析。天文学家开始使用电子探测器，如电荷耦合器件（CCD），取代照相底片。CCD能够更高效、更准确地获取数据，导致天文数据爆炸式增长。
- 天区巡天：20世纪末和21世纪初，大规模的天区巡天项目兴起，例如斯隆数字化巡天（Sloan Digital Sky Survey, SDSS）和哈勃太空望远镜的巡天项目。这些项目系统地绘制和观测了广阔的天区，产生了大量的天文数据。

FITS

- FITS (Flexible Image Transport System) 是一种广泛应用于天文学的数据格式，具有灵活性和可扩展性。
- **早期阶段 (1970年代)**：FITS的最早版本由美国国家天文台 (NRAO) 的天文学家Erich Greisen和Mark Calabretta于1979年开发。当时，天文学家们迫切需要一种能够存储和传输观测数据的标准格式。FITS最初是为射电天文学观测数据设计的，用于存储射电干涉仪和单天线接收机的数据。
- **发展阶段 (1980年代)**：在1981年至1982年期间，FITS经历了一系列的改进和扩展。这些改进包括支持多维数据、增加头部 (header) 信息以描述数据和增强的数据压缩功能。此外，FITS还引入了灵活的扩展 (extension) 机制，允许在同一文件中存储多个数据单元。
- **标准化和广泛应用 (1990年代至今)**：FITS在1990年代得到了更广泛的应用，并成为天文学中最常用的数据格式之一。国际天文学联合会 (IAU) 的天文数据和信息系统委员会 (CDS) 起初负责FITS的标准化工作，并于1988年发布了FITS的标准版本。此后，FITS的标准化工作由国际天文学联合会的FITS工作组 (FITS Working Group) 继续推进。

Table 1: Significant milestones in the development of *FITS*.

Date	Milestone
1979	Initial <i>FITS</i> Agreement and first interchange of files
1981	Published original (single HDU) definition (Wells et al. 1981)
1981	Published random-groups definition (Greisen & Harten 1981)
1982	Formally endorsed by the IAU (IAU 1983)
1988	Defined rules for multiple extensions (Grosbøl et al. 1988)
1988	IAU <i>FITS</i> Working Group (IAUFWG) established
1988	Extended to include ASCII-table extensions (Harten et al. 1988)
1988	Formal IAU approval of ASCII tables (IAU 1988)
1990	Extended to include IEEE floating-point data (Wells & Grosbøl 1990)
1994	Extended to multiple IMAGE-array extensions (Ponz et al. 1994)
1995	Extended to binary-table extensions (Cotton et al. 1995)
1997	Adopted four-digit-year date format (Bunclark & Rots 1997)
2002	Adopted proposals for world-coordinate systems (Greisen & Calabretta 2002)
2002	Adopted proposals for celestial coordinates (Calabretta & Greisen 2002)
2004	Adopted MIME types for <i>FITS</i> data files (Allen & Wells 2005)
2005	Extended to support variable-length arrays in binary tables
2005	Adopted proposals for spectral-coordinate systems (Greisen et al. 2006)
2005	Extended to include 64-bit integer data type
2006	Adopted WCS HEALPix projection (Calabretta & Roukema 2007)
2006	Established <i>FITS</i> convention registry
2014	Adopted proposals for time coordinates (Rots et al. 2015)
2016	Adopted proposals for compressed data
2016	Adopted various registered conventions
2018	General language editing





Table 2: Version history of the Standard.

Version	Date	Status
NOST 100-0.1	1990 December	First Draft Standard
NOST 100-0.2	1991 June	Second Revised Draft Standard
NOST 100-0.3	1991 December	Third Revised Draft Standard
NOST 100-1.0	1993 June	NOST Standard
NOST 100-1.1	1995 September	NOST Standard
NOST 100-2.0	1999 March	NOST Standard
IAUFWG 2.1	2005 April	IAUFWG Standard
IAUFWG 2.1b	2005 December	IAUFWG Standard
IAUFWG 3.0	2008 July	IAUFWG Standard
IAUFWG 4.0	2016 July	IAUFWG Standard (approved)
IAUFWG 4.0	2018 August	IAUFWG Standard (language-edited)

FITS数据文件结构

FITS (Flexible Image Transport System) 数据格式规范定义了存储和传输天文数据的结构和约定。FITS格式规范由国际天文学联合会 (IAU) 的FITS工作组负责维护。以下是FITS数据格式的主要组成部分：

- **头部 (Header)**：FITS文件以头部部分开头，其中包含描述文件中数据的ASCII文本元数据。头部由一系列关键字-值对组成，每个关键字后面跟着其值和可选的注释。关键字提供有关数据格式、仪器参数、观测条件和数据处理历史的信息。
- **数据单元 (Data Units)**：FITS文件中的数据被组织为一个或多个数据单元，称为扩展 (Extension)。主数据单元 (HDU) 是第一个扩展，包含主数据数组。可以添加附加扩展来存储相关数据，例如图像扩展、表格或二进制数据。每个扩展都有自己的头部和数据部分。

- 
- 
- 
- 
- **图像扩展 (Image Extensions)** : FITS支持存储二维图像。图像扩展可以包含单个图像或多维图像, 例如数据立方体或具有多个颜色平面的数据数组。图像中的像素值以二进制格式存储, 通常为16位整数、32位整数或浮点数。
 - **表格扩展 (Table Extensions)** : FITS还支持存储表格数据。表格扩展由数据行和数据列组成, 每列具有定义的数据类型 (例如整数、浮点数、字符串)。表格头部提供有关列名、数据类型、单位和其他元数据的信息。
 - **数据压缩 (Data Compression)** : FITS允许对数据进行压缩, 以减小文件大小并提高数据传输效率。FITS中常用的压缩算法包括Rice压缩、GZIP和RICE+NONE。通常将压缩应用于FITS文件的数据部分, 同时保留头部信息。
 - **标准化关键字 (Standardized Keywords)** : FITS定义了一组标准化关键字, 这些关键字在头部中具有特定的含义和用途。这些关键字提供了一种一致的方式来描述和解释数据的各个方面, 例如数据类型、维度、坐标系统和单位。

数据的标准化范例

- <http://cdsarc.u-strasbg.fr/ftp/pub/iau/iau-spec.pdf>

Acronym ^ Sequence ^ (Specifier)

NGC ^ 205

PKS ^ 1817-43

CO ^ J0326.0+3041.0

H2O ^ G123.4+57.6 ^ (VLSR=-185)

3C ^ 196

Designation	Position	
Acronym ^ Sequence ^ (Specifier)	<i>RA</i> (J2000.0)	<i>Dec</i> (J2000.0)
	<i>h m s</i>	<i>° ' "</i>
RX ^ J1426.8+6950	14 26 49.3	+69 50 21
PSR ^ J1302-6350	13 02 47.72	-63 50 08.5
PN ^ G001.2-00.3	17 49 36.9	-28 03 59
TYC ^ 1234-545-1	03 32 53.6417	+15 32 59.314
AC ^ 211 ^ (=1E ^ 2127+119; M ^ 15)	21 30 15.54	+11 43 39.0
R ^ 136:a3 ^ (30 ^ Dor)	05 38 42.4	-69 06 03
BD ^ -03 ^ 5750	00 02 02.4	-02 45 59


天文数据中心

- 国际天文联合会天文数据中心（IAU-ADC）：IAU-ADC是由国际天文联合会（International Astronomical Union）管理的官方天文数据中心，负责收集、存储和分发全球天文数据。它提供了各种天文数据和目录的访问接口，包括天体目录、观测数据、天体图像等。
- 欧洲南方天文台（ESO）科学数据中心（ESDC）：ESO科学数据中心是欧洲南方天文台的数据管理机构，负责收集和分发ESO望远镜观测数据以及其他天文数据。它提供了访问ESO数据存档的接口，并支持数据的查询、下载和分析。
- NASA天体物理数据系统（ADS）：NASA天体物理数据系统是美国国家航空航天局（NASA）维护的天文学和天体物理学文献数据库和数据存储平台。它提供了广泛的天文学文献和数据的访问接口，支持文献检索、数据查询和文献引用分析等功能。
- 斯隆数字巡天数据中心（SDSS）：SDSS数据中心是斯隆数字巡天项目的数据管理中心，负责存储和分发斯隆巡天项目的观测数据。该数据中心提供了广泛的光谱和图像数据，以及与之相关的目录和数据库。



N A DC

National Astronomical Data Center
国家天文科学数据中心



什么是虚拟天文台？



What is the Virtual Observatory?

The VO is a paradigm for Supporting interdisciplinary and collaborative research in astronomy and exploiting the full power of growing and emerging data sets

The latest stage of good data practices in astronomy

FITS provided a first standardization, the Virtual Observatory is the natural progression towards interoperability of data, services and tools

The VO is a framework

- For data centers to provide co-operating data services,
- For software providers to offer a variety of compatible analysis and visualization tools and user interfaces

The VO is an Evolving Ecosystem

- IVOA defines VO "ecosystem" and interoperability standards
- VO registries, Archive interfaces and VO-enabled software offer Entry Points to VO resources, Visualization, Analysis
- Astronomy projects and data services build VO services and VO applications
- Projects are welcome and encouraged to participate in the standards process

什么是虚拟天文台？一个多波段的数字星空，支持：检索、可视化、分析，数据来源于空间、地基甚至理论模拟。

虚拟天文台是互操作的，虚拟天文台是一个框架：数据中心提供互操作服务，VO软件提供兼容性的数据访问和可视化等多样化的功能服务。

虚拟天文台定义了VO生态系统和标准：VO注册、归档接口、软件。天文项目和数据中心构建VO服务和VO程序。

世界上主要的数据中心都加入到VO的大家庭中，并且以VO标准进行数据的管理发布。如 Gaia、ASKAP等。

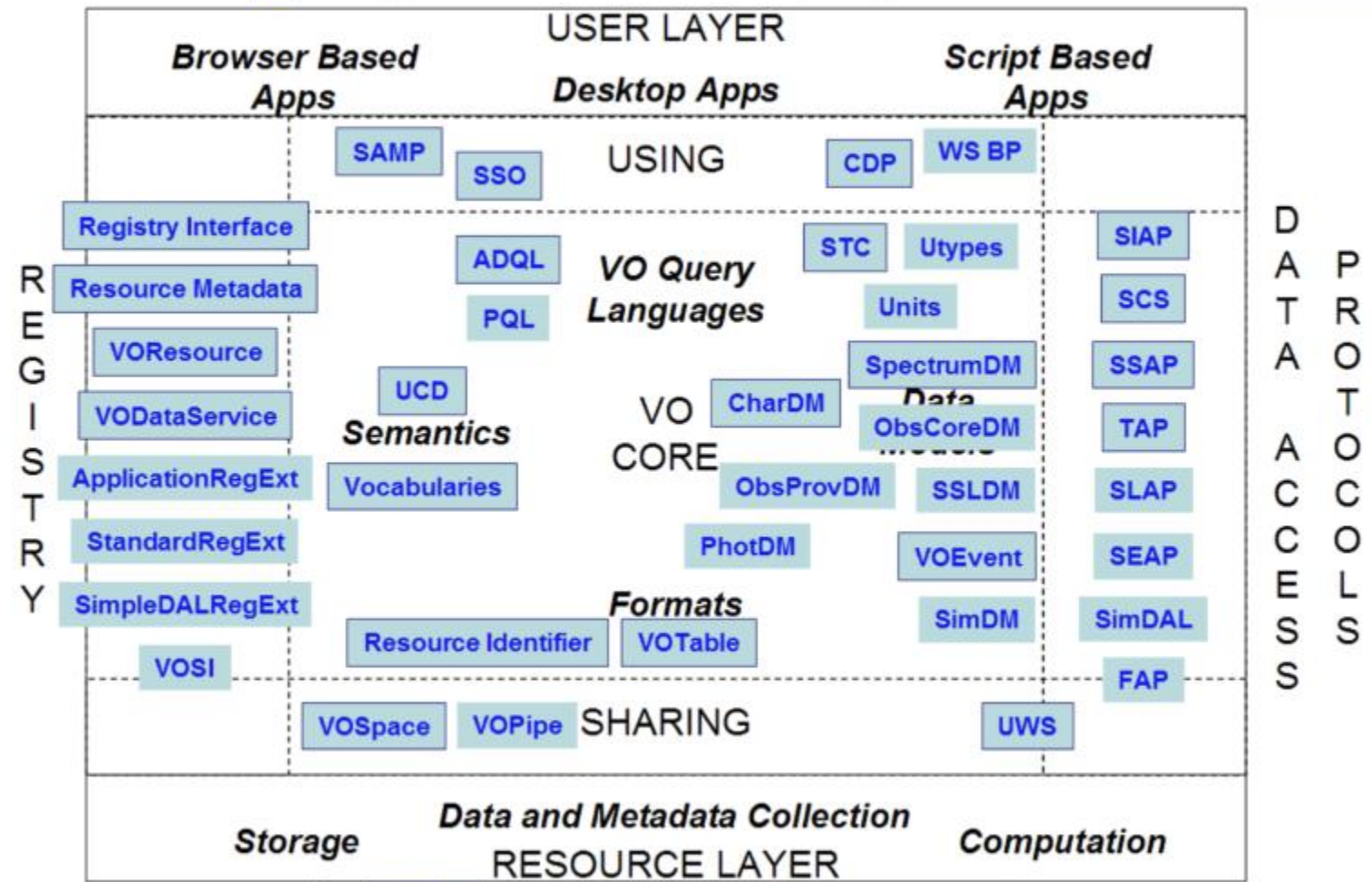
虚拟天文台技术栈

- 虚拟天文台（Virtual Observatory，简称VO）是一个国际性的天文学项目，旨在整合和共享全球范围内的天文数据和相关工具，以促进天文学研究和协作。它提供了一个统一的访问接口和查询工具，让天文学家能够方便地访问、获取和分析各种天文数据。
- 虚拟天文台的主要目标是解决天文数据的异构性和分散性问题。天文学领域存在着大量不同来源、不同格式和不同存储位置的数据，使得数据的获取和分析变得困难。虚拟天文台通过建立统一的数据模型和标准接口，使得天文学家可以直接访问和查询各个数据中心和观测项目的数据，而无需关心数据的具体来源和存储方式。

LEVEL 2
All standards



REC
InProgress



20101004
IVOA Architecture



PROVIDERS



Figure 3: IVOA Architecture Level 2

Topcat & Aladin

The screenshot displays the TOPCAT software interface, which is used for astronomical data analysis. It features a central workspace with several overlapping windows:

- Table Access Protocol (TAP) Query:** A window for defining TAP queries to access data from various sources.
- Table Browser:** A window showing a table of astronomical objects with columns for RA, DEC, and other parameters.
- Match Tables:** A window for defining matching criteria between different tables.
- Function styleDistanceDegree:** A window for defining custom functions for data processing.
- Plane Plot (1) and (2):** Two scatter plots showing data points in different planes, with axes representing various astronomical parameters.
- Table Columns Dialog:** A window for selecting and configuring the columns to be displayed in the plots.
- Table Browser (Bottom):** A window showing a table of objects with columns for RA, DEC, and other parameters.


The screenshot displays the ALADIN software interface, which is used for visualizing astronomical data. It features a central workspace with several overlapping windows:

- Available data:** A list of available data sources, including DSS, SDSS, 2MASS, WISE, GALEX, PLANCK, AKARI, XMM, Fermi, Gaia, Simbad, HED, Tycho, SNCat, and GaiaAlerts.
- Command:** A field for entering search commands to filter the data.
- Frame:** A dropdown menu for selecting the coordinate system (ICRS).
- Projection:** A dropdown menu for selecting the map projection (Gnomonic).
- Star Atlas:** A large central window showing a star atlas with various data overlays, including a color-magnitude diagram (CMD) and a histogram plot.
- Aladin Sky Atlas - v10.0:** A window displaying the Aladin logo and a welcome message.
- Aladin is developed by Pierre Famae, Thomas Boch, Anne-Cécile, François Bonnardel and Chaitra, 2017 Université de Strasbourg/CNRS - by CDS - Distributed under GNU GPL v3.**



Python 简史



- Python是一种高级编程语言，由Guido van Rossum于1991年创建。它的设计目标是简单、易读和易于理解，强调代码的可读性和清晰的语法结构。
 - Python的发展历史可以分为以下几个阶段：
 - 创始阶段（1991–2000年）
 - 发展阶段（2000–2008年） 2.0
 - 进化阶段（2008–2019年） 3.0
 - 当代阶段（2019年至今） AI
- 

Python天文软件包

- <http://www.ascl.net/>



ASCL.net
Astrophysics Source Code Library

Making codes discoverable since 1999

Search Site Search

Home About Resources Browse Submissions News Forum Dashboard

Welcome to the ASCL

The Astrophysics Source Code Library (ASCL) is a free online registry for source codes of interest to astronomers and astrophysicists, including solar system astronomers, and lists codes that have been used in research that has appeared in, or been submitted to, peer-reviewed publications. The ASCL is indexed by the [SAO/NASA Astrophysics Data System](#) (ADS) and Web of Science and is [citable](#) by using the unique ascl ID assigned to each code. The ascl ID can be used to link to the code entry by prefacing the number with ascl.net (i.e., [ascl.net/1201.001](#)).

Most Recently Added Codes

2023 Jun 10

[[ascl:2306.024](#)] [COpops: Compute CO sizes and fluxes](#)

[Zagaria, Francesco](#); [Facchini, Stefano](#); [Miotello, Anna](#); [Manara, Carlo F.](#); [Toci, Claudia](#); [Clarke, Cathie J.](#)

COpops computes semi-analytically the CO flux of a disc (given initial conditions and age) under the assumption of LTE and optically thick emission. It then runs disc population synthesis using observationally-informed initial conditions. CO fluxes is one of the most easily accessible observables for studying disc evolution; COpops is a faster alternative to running computationally-expensive thermochemical models for hundreds of discs and is accurate, recovering agreement within a factor of three.

[[ascl:2306.023](#)] [RELAGN: AGN SEDs with full GR ray tracing](#)

[Hagen, Scott](#); [Done, Chris](#)

RELAGN creates spectral models for the calculation of AGN SEDs, ranging from the Optical/UV (outer accretion disc) to the Hard X-ray (Innermost X-ray Corona). The code is available in two languages, Python and Fortran. The Fortran version is written to be used with the spectral fitting software XSPEC ([ascl:9910.005](#)), and is the preferred version for analyzing X-ray spectral data. The Python version provides more flexibility for modeling. Whereas the Fortran version produces only a spectrum, the Python implementation can extract the physical properties of the system (such as the physical mass accretion rate, disc size, and efficiency parameters) since these are all stored as attributes within the model. Both versions require a working installation of HEASOFT ([ascl:1408.004](#)).



AstroPy

- Astropy是一个由Python编写的开源软件包，提供了一套丰富的工具和库，用于天文学数据分析、模拟和可视化。
- 历史：
 - 2011年：Astropy项目启动，旨在为天文学家提供一个统一的Python工具集。
 - 2013年：发布了Astropy的第一个稳定版本（v0.2）。
 - 2015年：发布了Astropy的重要版本升级（v1.0），引入了许多新特性和改进。
 - 2018年：Astropy发布了v3.0版本，其中包括对天体坐标和单位的重大改进。
 - 至今：Astropy继续发展，每年发布几个稳定版本，不断增加新功能和改进现有功能。

AstroPy 特点

- **协同发展**：Astropy是一个开源项目，吸引了来自全球天文学和计算科学领域的贡献者。它遵循开放、透明和协作的原则，社区成员共同努力推动软件包的发展和维护。
- **统一接口**：Astropy提供了一套统一的接口和数据结构，用于处理各种天文数据，包括天体坐标、天体图像、光谱、时间序列等。这使得天文学家可以使用相似的语法和工具来处理不同类型的数据。
- **坐标和天体测量学**：Astropy包含了强大的坐标转换和天体测量学功能。它支持多种常用坐标系统（如赤道坐标和银道坐标），并提供了坐标变换、坐标偏移和坐标查询等功能。
- **物理单位**：Astropy具有灵活的物理单位系统，允许用户在计算中使用物理量和单位，并自动处理单位转换和错误检查。它支持各种天文和物理学单位，并提供了对单位的数值计算和比较的支持。
- **文件格式支持**：Astropy支持常见的天文数据文件格式，如FITS（Flexible Image Transport System），VOTable（Virtual Observatory Table），ASCII表格等。它提供了读取和写入这些文件格式的函数和工具，使天文学家能够方便地处理和分析数据。
- **可视化工具**：Astropy集成了多个可视化工具，包括Matplotlib和Bokeh等，以便于用户生成高质量的图形和图像。这些工具支持各种绘图类型，包括曲线图、散点图、等高线图等。
- **社区支持和文档**：Astropy拥有一个活跃的社区，并提供完善的文档和教程，帮助用户入门和解决问题。社区通过邮件列表、论坛和GitHub等渠道提供支持和反馈。

Data structures and transformations

- Constants ([astropy.constants](#))
- Units and Quantities ([astropy.units](#))
- N-Dimensional Datasets ([astropy.nddata](#))
- Data Tables ([astropy.table](#))
- Time and Dates ([astropy.time](#))
- Time Series ([astropy.timeseries](#))
- Astronomical Coordinate Systems ([astropy.coordinates](#))
- World Coordinate System ([astropy.wcs](#))
- Models and Fitting ([astropy.modeling](#))
- Uncertainties and Distributions ([astropy.uncertainty](#))

Files, I/O, and Communication

- Unified File Read/Write Interface
- FITS File Handling ([astropy.io.fits](#))
- ASCII Tables ([astropy.io.ascii](#))
- VOTable XML Handling ([astropy.io.votable](#))
- Miscellaneous: HDF5, YAML, ASDF, Parquet, pickle ([astropy.io.misc](#))
- SAMP (Simple Application Messaging Protocol) ([astropy.samp](#))

Computations and utilities ¶

- Cosmological Calculations ([astropy.cosmology](#))
- Convolution and Filtering ([astropy.convolution](#))
- IERS data access ([astropy.utils.iers](#))
- Data Visualization ([astropy.visualization](#))
- Astrostatistics Tools ([astropy.stats](#))

Nuts and bolts

- Configuration System ([astropy.config](#))
- I/O Registry ([astropy.io.registry](#))
- Logging system
- Python warnings system
- Astropy Core Package Utilities ([astropy.utils](#))
- Astropy Glossary
- Optional Packages' Glossary

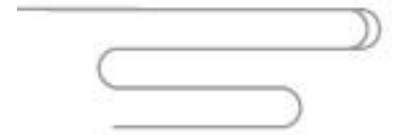


Coordinated Packages

The following table lists all current Astropy coordinated packages. They are determined from the [json file](#), which is the actual authoritative registry.

<https://www.astropy.org/affiliated/registry.json>

asdf-astropy	Website	Repository	PyPI							
	ASDF format support for astropy.									
	Maintainer(s): William Jamieson , Brett Graham , Nadia Dencheva , and Perry Greenfield									
	Functionality	General package	Astropy integration	Good	Docs	Good	Tests	Good	Development	Good
	Python 3	Yes								
astropy core package	Website	Repository	PyPI							
	A common core package for Astronomy in Python.									
	Maintainer(s): Astropy Coordination Committee									
	Functionality	General package	Astropy integration	Good	Docs	Good	Tests	Good	Development	Good
	Python 3	Yes								
astropy-healpix	Website	Repository	PyPI							
	A BSD-licensed HEALPix implementation for Astropy									
	Maintainer(s): Thomas Robitaille and Leo Singer									
	Functionality	General package	Astropy integration	Good	Docs	Good	Tests	Good	Development	Heavy development
	Python 3	Yes								
astroquery	Website	Repository	PyPI							
	Tools for querying online astronomical data sources.									
	Maintainer(s): Adam Ginsburg and Brigitta Sipőcz									
	Functionality	General package	Astropy integration	Good	Docs	Good	Tests	Partial	Development	Good
	Python 3	Yes								
ccdproc	Website	Repository	PyPI							
	Package to do basic CCD data reduction.									
	Maintainer(s): Matt Craig									
	Functionality	General package	Astropy integration	Good	Docs	Good	Tests	Good	Development	Good
	Python 3	Yes								
photutils	Website	Repository	PyPI							
	Photometry and related image-processing tools.									
	Maintainer(s): Larry Bradley and Brigitta Sipőcz									





Python & Astronomy & AI





人工智能在天文学研究中有许多令人瞩目的应用，下面列举一些亮眼的例子：



1. 天体目标识别和分类：人工智能可以通过训练模型来自动识别和分类天体目标，如星系、恒星、行星等。它可以辅助天文学家进行大规模的天体目标筛选和分类，加快数据分析的速度和准确性。
2. 引力透镜探测：引力透镜现象在天文学中起着重要的作用，但传统方法中的筛选过程费时费力。利用人工智能技术，可以加速和自动化引力透镜的识别，有助于寻找更多的引力透镜事件和研究暗物质等重要天文学问题。
3. 天体光谱分析：人工智能可以用于天体光谱数据的分析和解释。通过训练深度学习模型，可以自动识别和量化光谱中的特征、线性和谱线参数，加快光谱数据处理和天体物理参数测量的速度。
4. 星系分类和红移估计：通过机器学习和深度学习技术，可以对大量的星系图像和光谱数据进行分类和红移估计。这有助于理解星系演化和宇宙结构，同时也为宇宙学研究提供了重要的工具和方法。
5. 天文图像处理：人工智能可以用于天文图像的处理和增强，例如去噪、图像重建、图像拼接等。这些技术可以提高天文图像的质量和分辨率，帮助天文学家获得更清晰和详细的图像信息。
6. 天文数据挖掘和模式识别：人工智能可以帮助天文学家从大规模的天文数据中发现隐藏的模式和关联。通过数据挖掘和机器学习算法，可以识别出天文学中的新现象、异常事件或潜在的新发现，推动天文学的前沿研究。

这些仅是人工智能在天文学研究中的一些亮眼应用，随着技术的不断发展和创新，人工智能将继续为天文学研究带来更多的突破和进展。



谢 谢

