天文API和NADC API服务体系

樊 东 卫
fandongwei@nao.cas.cn
中 国 虚 拟 天 文 台
国家天文科学数据中心
中国科学院国家天文台

背景与核心问题

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

01

数据密集型科学发现范式的确立

天文学已全面进入数据密集型科学发现范式，大型观测设备年归档数据量达PB级，且需经过标准化校准、级联处理等环节方可形成科研可用产品。

02

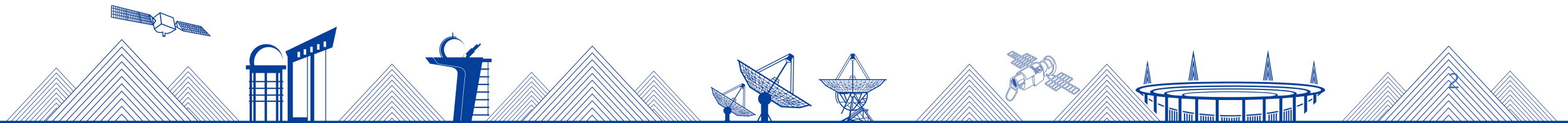
传统数据交互模式的效率瓶颈

传统数据交互依赖“手动下载-格式转换-本地适配”三步流程，严重制约科研效率提升。

03

核心问题：API技术赋能天文数据服务

如何通过API技术实现天文数据的标准化调用、轻量化访问与智能化复用，降低科研人员、程序对数据的使用门槛？



API技术演进

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

01

工具化阶段：系统功能集成的初步探索

核心目标为**系统内部功能集成**。
以CORBA、SOAP为代表的复杂协议，服务于企业内ERP、CRM等系统的对接，解决了早期系统间功能整合的需求。

02

平台化阶段：跨系统交互的标准化实现

核心目标为**跨系统标准化、便捷交互**。
RESTful API、OpenAPI规范成为基石，支撑互联网平台开放其服务能力

03

生态化阶段：数字资产复用的全面推进

核心目标为**数字资产轻量化复用**。
GraphQL、gRPC等技术为全行业数字化生态构建提供支持，促进了数字资产在不同场景下的高效复用。

04

智能化阶段：人机协同的高效实现路径

核心目标为**人机、机机间的高效协同**。
AI+API、MCP Server等技术成为典型代表，应用场景涵盖数据密集型科学研究、大模型数据交互等，推动API进入智能化协同新阶段。

国际知名的天文数据中心

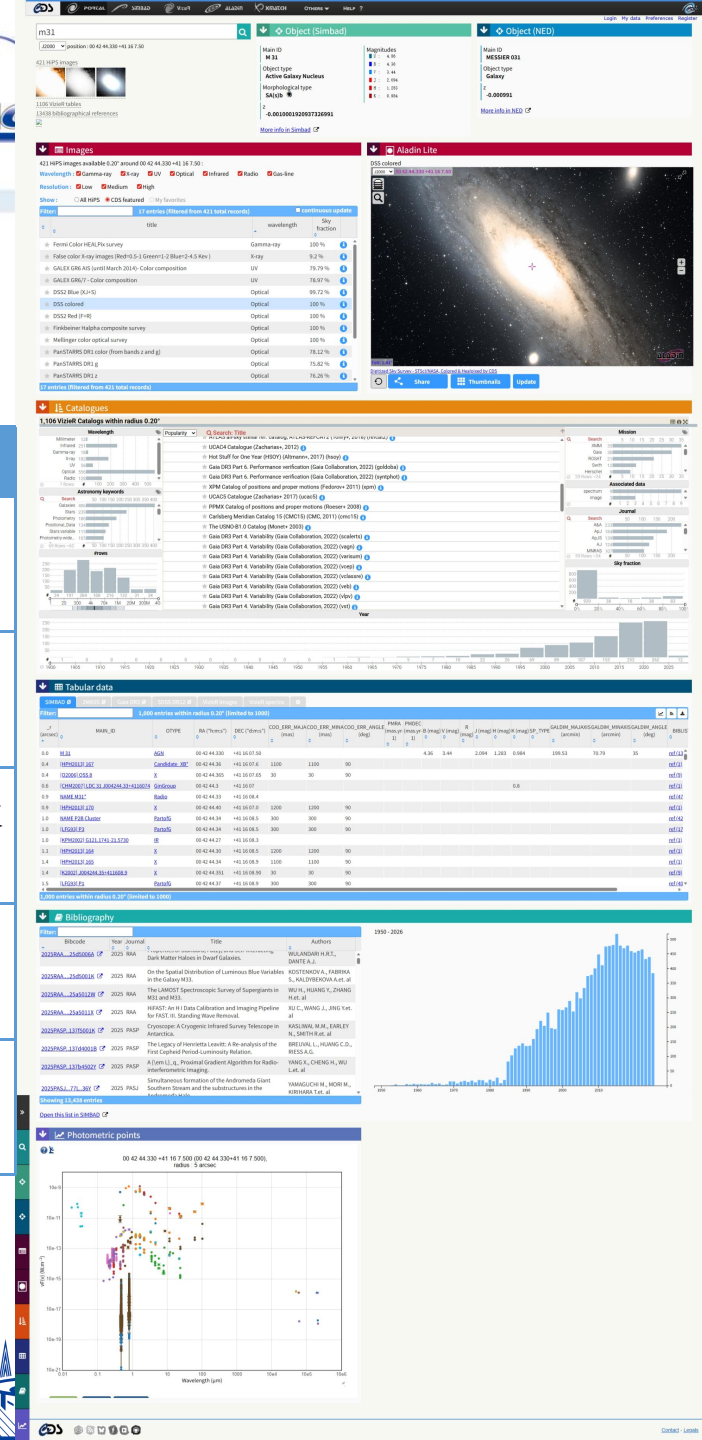
National Astronomical Data Center
国家天文科学数据中心

数据中心名称	所属机构 / 国家	核心定位
MAST（空间望远镜科学数据档案）	NASA / 空间望远镜研究所（STScI）	光学 / 紫外 / 近红外空间望远镜数据中枢
IRSA（红外科学档案中心）	NASA/IPAC	红外 / 亚毫米波观测数据专属归档与分析
HEASARC（高能天体物理科学档案研究中心）	NASA / 戈达德太空飞行中心	高能天文（X 射线、伽马射线）数据核心库
ADS（天体物理数据系统）	NASA / 哈佛大学	全球天文文献与引文数据集成平台
CDS（斯特拉斯堡天文数据中心）	法国斯特拉斯堡大学	天体物理文献与基础数据整合
ESO Science Archive	欧洲南方天文台（ESO）	陆基大型望远镜高分辨率数据档案
ESA Space Science Data Centre	欧洲空间局（ESA）	空间探测任务数据（盖亚、普朗克等）枢纽

CDS 核心服务总览

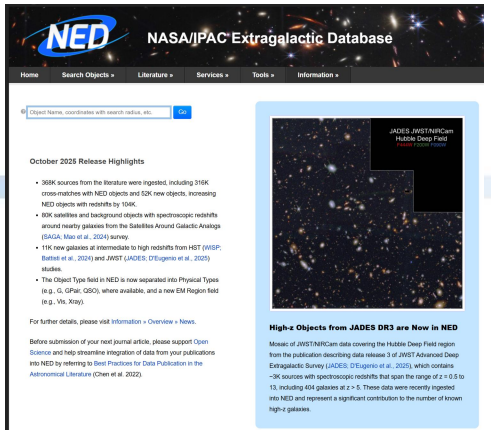
- 法国斯特拉斯堡天文数据中心
- The Strasbourg astronomical Data Center，简称 CDS

服务	一句话定位	开放接口	返回格式	科研场景
SIMBAD	天体“身份证”+文献库	TAP/SCS/Datalink	VOTable CSV JSON	查名称、坐标、分类、参考文献
VizieR	2 万+ 已发表星表仓库	TAP/SCS	VOTable CSV FITS	多表联合、测光误差、样本构建
Aladin	交互式多波段天图	SIA/HiPS/JS 插件	FITS PNG JPEG	图像叠加、3D 视场、出版级裁图
XMatch	秒级交叉证认引擎	HTTP POST API	CSV VOTable JSON	百万行坐标一次性匹配
Portal	一站式总入口	Web 界面	——	集中跳转各工具 **调用API实现综合服务的典范**

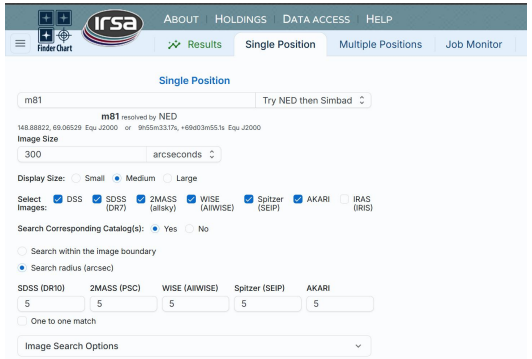


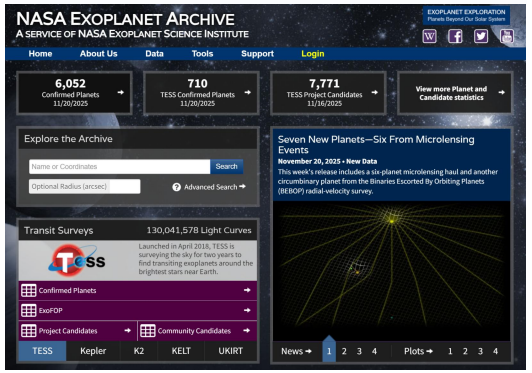
IPAC核心服务总览

- IPAC (Infrared Processing and Analysis Center) **红外处理与分析中心**是美国宇航局（NASA）设在加州理工学院的科学中心。









服务	一句话定位	开放接口	返回格式	科研场景
NED	河外天体“百科全书”	HTTP GET / VO	XML / HTML / VOTable	查河外源红移、SED、跨波段光度
IRSA (Gator)	NASA 红外/亚毫米波总库	TAP / SCS / API	IPAC Table / FITS / CSV	2MASS/WISE 数据检索、全天红外源筛选
Finder Chart	多波段图像切片工具	Web 界面	FITS / JPEG / PNG/ VOTable	观测辅助、快速生成多波段对比图
Exoplanet	系外行星官方档案馆	TAP / API	JSON / CSV / IPAC Table	行星参数统计、光变曲线分析
Montage	科学级图像拼接引擎	Python Library	FITS / HDF5	图像拼接、重投影(Reprojection)、背景平整

ADS（SciX）

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

- 由NASA资助、哈佛大学运营的 **全球最大天文/天体物理文献与引文数据库**，也是天文科研领域的 **学术基础设施**

服务	一句话定位	开放接口	返回格式	科研场景
ADS Search	全球天文文献与引文一站式检索	Web界面/GET / POST	JSON / VOTable	文献发现、坐标-作者-标题组合查询
ADS Metrics	论文/作者/期刊层面计量指标	Web界面/GET / POST	JSON	h-index、被引曲线、合作网络
ADS Export	批量导出指定文献元数据	Web界面/GET / POST	BibTeX / AASTeX / RIS / CSV	一键生成参考文献、批量建库
ADS Libraries	个人/共享文献库管理	Web界面/GET / POST	JSON	建专题库、团队共享、自动更新
ADS Journals	期刊与卷期号快速查询	Web界面/GET / POST	JSON	特刊检索、期刊级趋势分析

astropy/astroquery

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

- Astroquery 是一套用于查询天文网页表单和数据库的工具。
- Astroquery 将 NASA ADS、MAST、IPAC IRSA、法国 CDS 等全球主流天文数据中心的 API 接口，整合为标准化的 Python 函数，无需用户手动编写 API 请求代码，即可实现跨平台数据一键检索与分析。

- 另有两个软件包与 Astroquery 具备互补功能：pyvo 是 Astropy 附属软件包，而 Simple-Cone-Search-Creator 可用于生成符合国际虚拟天文台联盟（IVOA）标准的锥状搜索服务。这些软件包更侧重于通用虚拟天文台的检索与查询，而 Astroquery 则拥有针对特定网络服务的接口。

These others are functional, but do not follow a common & consistent API:

- ALFALFA Queries (astroquery.alfalfa)
- CosmoSim Queries (astroquery.cosmosim)
- Exoplanet Orbit Database (astroquery.exoplanet_orbit_database)
- Fermi Queries (astroquery.fermi)
- JPL Horizons Queries (astroquery.jplhorizons/astroquery.solarsystem.jpl.horizons)
- JPL SBDB Queries (astroquery.jplsbdb/astroquery.solarsystem.jpl.sbdb)
- LAMDA Queries (astroquery.lamda)
- NASA Exoplanet Archive (astroquery.ipac.nexsci.nasa_exoplanet_archive)
- OAC API Queries (astroquery.oac)
- OGLE Queries (astroquery.ogle)
- Open Exoplanet Catalogue(astroquery.open_exoplanet_catalogue)
- SDSS Queries (astroquery.sdss)

There are also subpackages that serve as the basis of others.

- WFAU Queries (astroquery.wfau)

Available Services

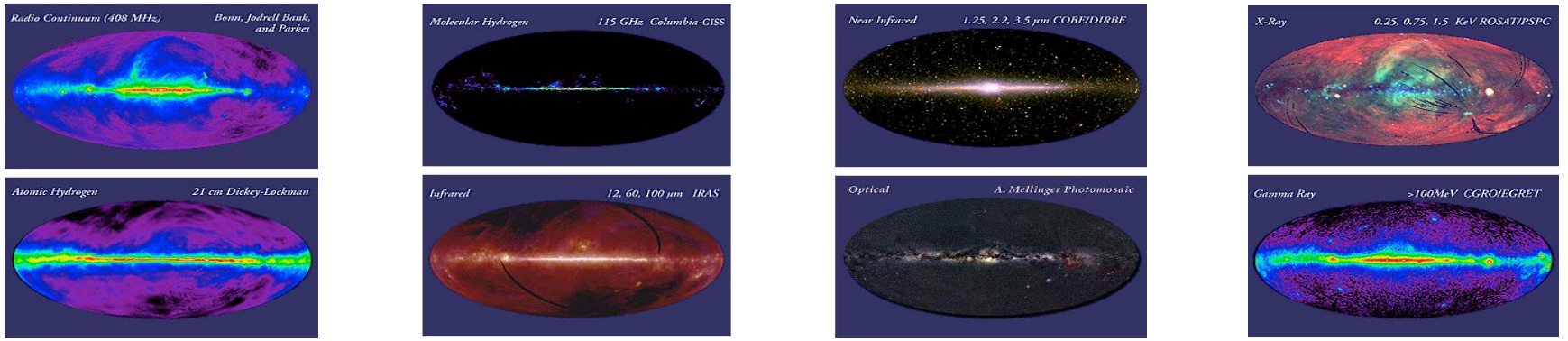
The following modules have been completed using a common API:

- ALMA Queries (astroquery.alma)
- Atomic Line List (astroquery.atomic)
- Besancon Queries (astroquery.besancon)
- CADC (astroquery.cadc)
- CASDA Queries (astroquery.casda)
- Cologne Database for Molecular Spectroscopy (CDMS) Queries (astroquery.linelists.cdms)
- ESA EUCLID Archive (astroquery.esa.euclid)
- ESA Herschel Science Archive (astroquery.esa.hsa)
- ESA HST Archive (astroquery.esa.hubble)
- ESA Integral Science Legacy Archive (ISLA) (astroquery.esa.integral)
- ESA ISO Archive (astroquery.esa.iso)
- ESA JWST Archive (astroquery.esa.jwst)
- ESA XMM-Newton Archive (astroquery.esa.xmm_newton)
- ESASky Queries (astroquery.esasky)
- ESO Queries (astroquery.eso)
- FIRST Queries (astroquery.image_cutouts.first)
- Gaia TAP+ (astroquery.gaia)
- GAMA Queries (astroquery.gama)
- Gemini Queries (astroquery.gemini)
- HEASARC Queries (astroquery.heasarc)
- HiPS2fits Service (astroquery.hips2fits)
- HITRAN Queries (astroquery.hitran)
- IRSA Moving Object Search Tool (astroquery.ipac.irsa.most)
- IRSA Dust Extinction Service Queries (astroquery.ipac.irsa.irsa_dust)
- IRSA Image Server program interface (IBE) Queries (astroquery.ipac.irsa.ibe)
- IRSA Queries (astroquery.ipac.irsa)
- JPL Spectroscopy Queries (astroquery.linelists.jplspec)
- MAGPIS Queries (astroquery.magpis)
- MAST Queries (astroquery.mast)
- CDS MOC Service (astroquery.mocserver)
- Minor Planet Center Queries (astroquery.mpc/astroquery.solarsystem.MPC)
- NASA ADS Queries (astroquery.nasa_ads)
- NED Queries (astroquery.ipac.ned)
- NIST Queries (astroquery.nist)
- NVAS Queries (astroquery.nvas)
- SIMBAD Queries (astroquery.simbad)
- Skyview Queries (astroquery.skyview)
- Splatalogue Queries (astroquery.splatalogue)
- SVO Filter Profile Service Queries (astroquery.svo_fps)
- UKIDSS Queries (astroquery.ukidss)
- Vamdc Queries (astroquery.vamdc)
- VizieR Queries (astroquery.vizier)
- VO Simple Cone Search (astroquery.vo_conesearch)
- VSA Queries (astroquery.vsa)
- xMatch Queries (astroquery.xmatch)

虚拟天文台

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

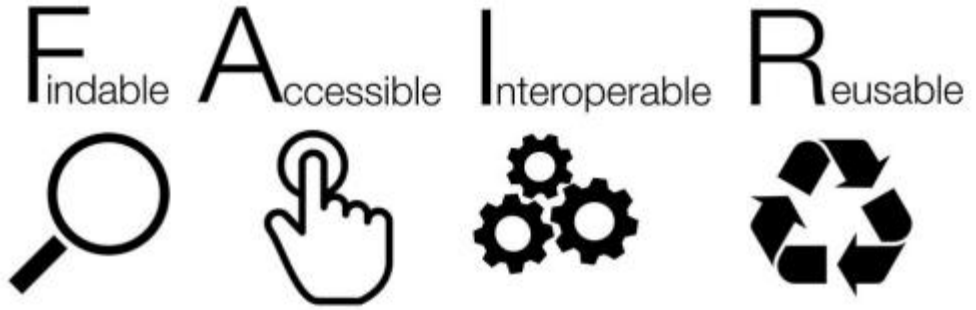
- 利用先进信息技术无缝、透明地连接全球研究资源，形成数据密集型网络化天文学研究与应用平台
- 数据发现 — 高效访问 — 数据融合x互操作 → 数字宇宙

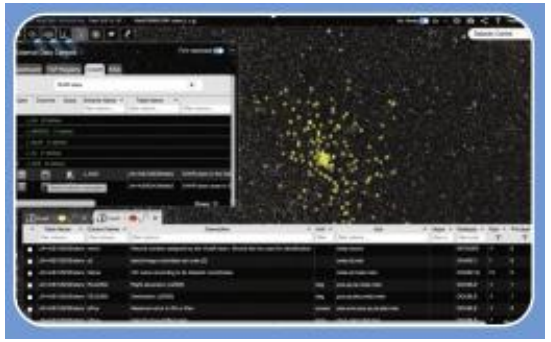


虚拟天文台的目标

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

- 为天文学提供符合FAIR原则数据管理框架
  - 异构天文数据之间的互操作性标准
  - 数据中心的发布工具
- 通过虚拟天文台实现新的科学发现
  - 融合多源异构的天文数据集
  - 提供数据发现和数据访问工具
  - 提供数据分析和可视化工具
- 实现全球天文学家间的广泛合作
  - 国际虚拟天文台联盟（IVOA）
  - 成立于2002年，中美英法等24个国家和国际级成员
  - 协调不同VO项目间的研发活动
  - 保证VO各系统间的互操作性







IVOA Organization

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

IVOA-IAU Liaison Group

Media Group

Executive Committee

Committee on Science Priorities

Technical Coordination Group

Standards & Processes Committee



Working Groups

- Applications
- Data Access Layer
- Data Models
- Grid and Web Services
- Registry
- Semantics

Interest Groups

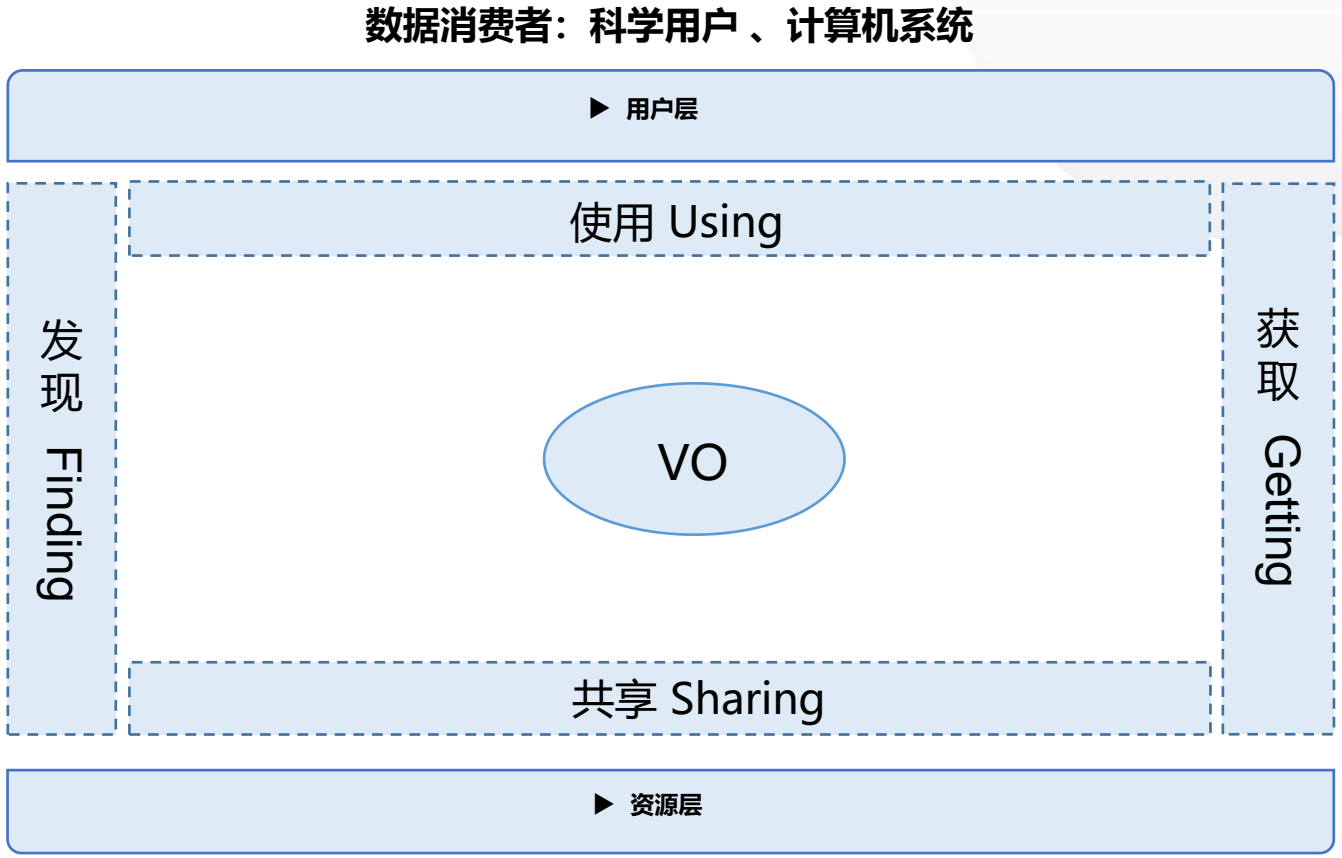
- Data Curation & Preservation
- Operations
- Theory
- Radio Astronomy
- Solar System
- Time Domain
- Education
- Knowledge Discovery

虚拟天文台体系架构

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

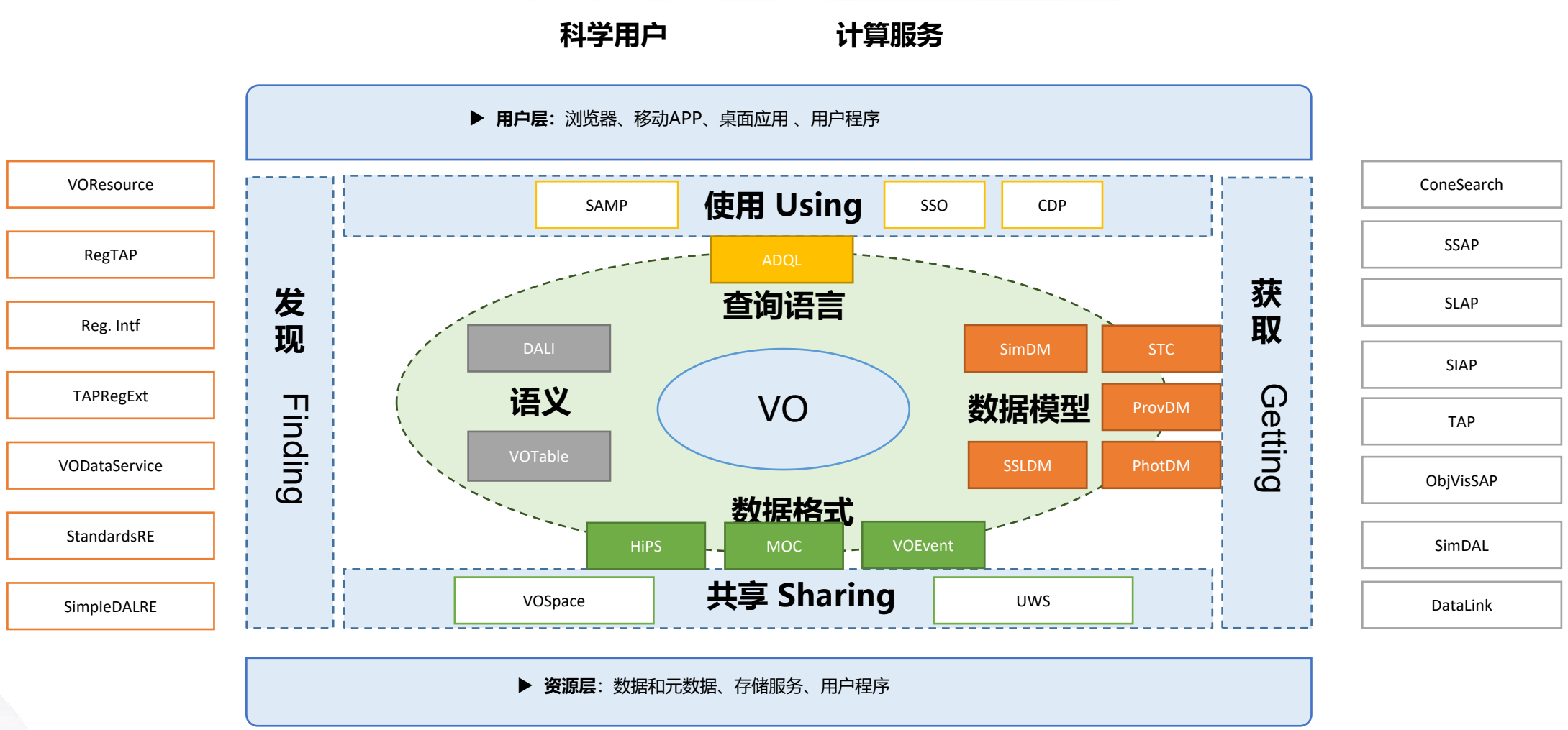
VO 0级体系架构，阐述VO工作原理

- 以无缝透明的方式将资源层和用户层连结起来
- 四项要素：
  - 让用户能够发现这些数据集和服务（Findable）
  - 使用它们进行科学研究和科普教育等工作 (Accessible)
  - 通过制定技术标准，将不同来源的数据组合起来 (Interoperable)
  - 支持新的科学发现 (Reusable)



虚拟天文台体系架构

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



数据访问类标准（I）

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

- 简单锥形检索协议（Simple Cone Search），定义了如何在天球上检索一个小圆范围内的数据的接口。锥形指的是这个小圆与球心形成的锥形体。锥形检索的参数为小圆中心点的位置坐标以及小圆半径的弧度。

- 简单图像访问协议（Simple Image Access），定义了如何在数据集中检索、访问和获取图像数据的接口。图像数据可以是二维或者多维的。多于二维的数据一般还包含有其他物理参数，比如光谱、时间等,这类数据也一般被称为数据立方体（data cube）数据。

DAL	DALI - Data Access Layer Interface	1.1
	DataLink	1.1
	Simple Cone Search	1.03
	SIA - Simple Image Access	2.0
	SLAP - Simple Line Access	1.0
	SSA - Simple Spectral Access	1.1
	STC-S: Space-Time Coordinate Metadata Linear String Implementation	1.0
	TAP - Table Access Protocol	1.1
	TAPRegExt - A VOResource Schema Extension for Describing TAP Services	1.0
	ADQL - Astronomical Data Query Language	2.1
	SimDAL - Simulation Data Access Layer	1.0
	VOEvent Transport Protocol	2.00
	SODA - Server-side Operations for Data Access	1.0
	Object Visibility Simple Access Protocol	
	EPN-TAP: Publishing Solar System Data to the Virtual Observatory	2.0
	LineTAP: IVOA Relational Model for Spectral Lines	1.0

数据访问类标准（II）

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

- 表格访问协议（Table Access Protocol，TAP），表格访问协议是当前虚拟天文台中最重要的访问协议之一，由于大量的天文数据是以表格形式存储的。表格访问协议可以涵盖简单锥形检索访问协议、简单光谱访问协议等应用。表格访问协议设计了一套完整的表格元数据体系，通过其访问接口乃至虚拟天文台注册服务，可以对外提供完整的数据访问服务。鉴于数据检索结果可能较大、检索时间较长等问题，表格访问协议还支持两种访问模式：同步访问和异步访问。目前，已经有大量的数据集支持了表格访问协议。

- ADQL（The Astronomical Data Query Language）基于SQL92语法研发，可以沟通传统关系型数据库与天文数据的存取需求，在一些复杂的数据检索场景下，ADQL的灵活性是其一大优势。一些虚拟天文台的数据访问服务，比如TAP检索服务，其内置支持以ADQL语言进行数据检索。

天文信息[illegible]@中国科学院[illegible]

NADC的API实践

NADC API服务体系建设目标与架构

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

核心定位：推动天文数据服务“新四化”

支撑China-VO发展，聚焦**易用化、FAIR化、VO化、科学平台化**建设，打造LAMOST数据API服务标杆，破解天文数据“存易取用难”问题。

服务对象：覆盖多元科研主体与场景

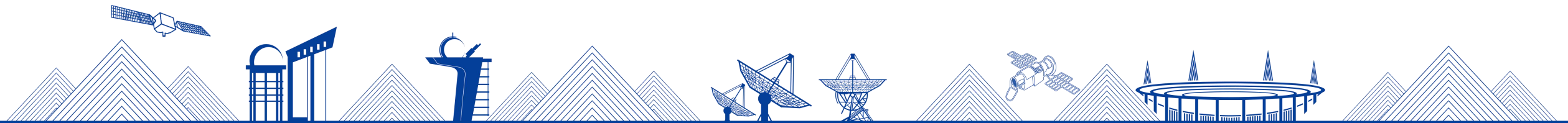
面向个人研究者、科研团队及开发者，支持桌面应用、Python程序、AI智能体及大模型等多类调用场景，满足不同层级数据使用需求。

建设原则：四维驱动保障服务质量

遵循IVOA标准实现接口规范化，通过细粒度权限控制确保数据安全，以低代码设计与完善文档提升易用性，同步适配新观测设备保障可扩展性。

技术路线

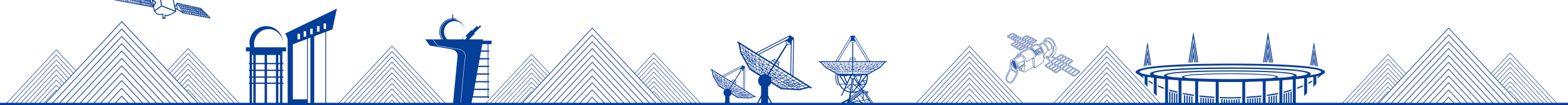
- 采用 RESTful 架构
  - 遵循 RESTful 设计原则，实现资源的统一接口访问，提高接口的可读性和可维护性
- 兼容 OpenAPI
  - 按照 OpenAPI 规范定义和文档化 API，方便开发者理解和使用
- 集成 AstroQuery
  - 将 AstroQuery 融入 API 体系，利用其已有的天文数据查询功能，丰富 API 服务内容
- 打造MCP服务、AI智能体（见允飞报告）



哪些系统提供API

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

- LAMOST
- EP
- 天地一体化
- NADC AI
- NADC Query
- 数据资源
- NADC SIAP
- 望远镜申请 TAP
- 每个服务系统的日志API（内部使用）
- ……

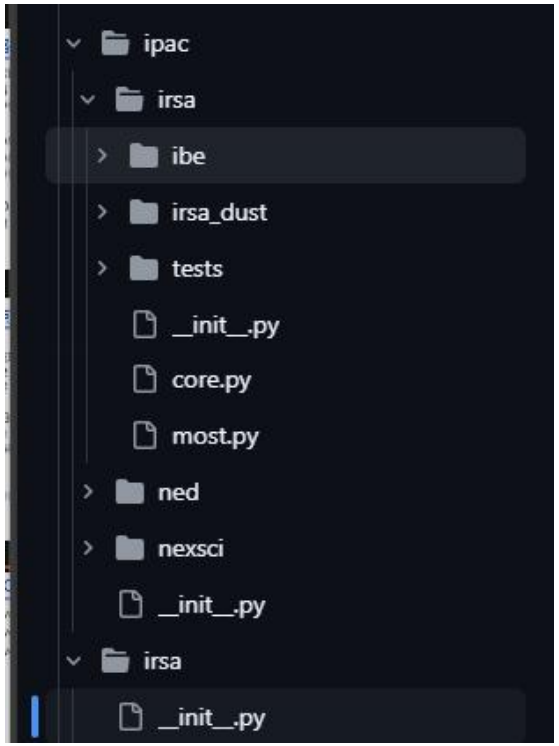


AstroQuery模块考虑

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

- astroquery.chinavo
- astroquery.chinavo.lamost
- astroquery.chinavo.ep
- astroquery.chinavo.query

- ipac.irsa
- ipac.ned
- ipac.nexsci



- 外边还有一个irsa包，不过，引用的其实是ipac.irsa

https://github.com/astropy/astroquery/blob/main/astroquery/irsa/__init__.py

LAMOST数据发布系统对IVOA标准的实现

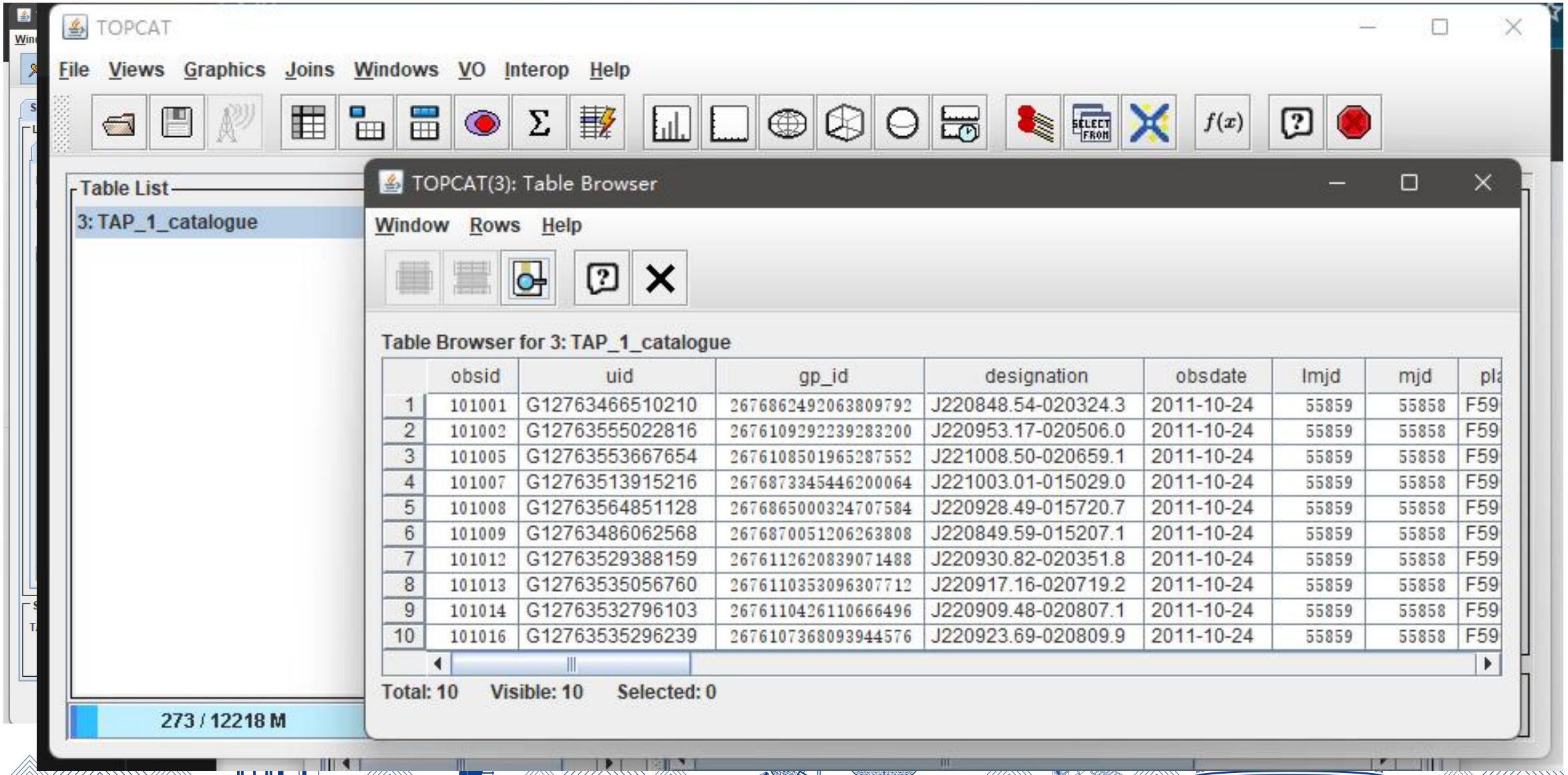
National Astronomical Data Center
国家天文科学数据中心

- LAMOST数据发布系统当前实现的IVOA标准包括
  - VOTable
  - ADQL - Astronomical Data Query Language
  - UWS - Universal Worker Service
  - Simple Cone Search
  - SSA - Simple Spectral Access
  - TAP - Table Access Protocol
- 这些实现以ConeSearch、SSA、TAP等Service形式向用户提供服务
  - 并且加上了鉴权机制，以适配LAMOST的数据政策



TAP - Table Access Protocol

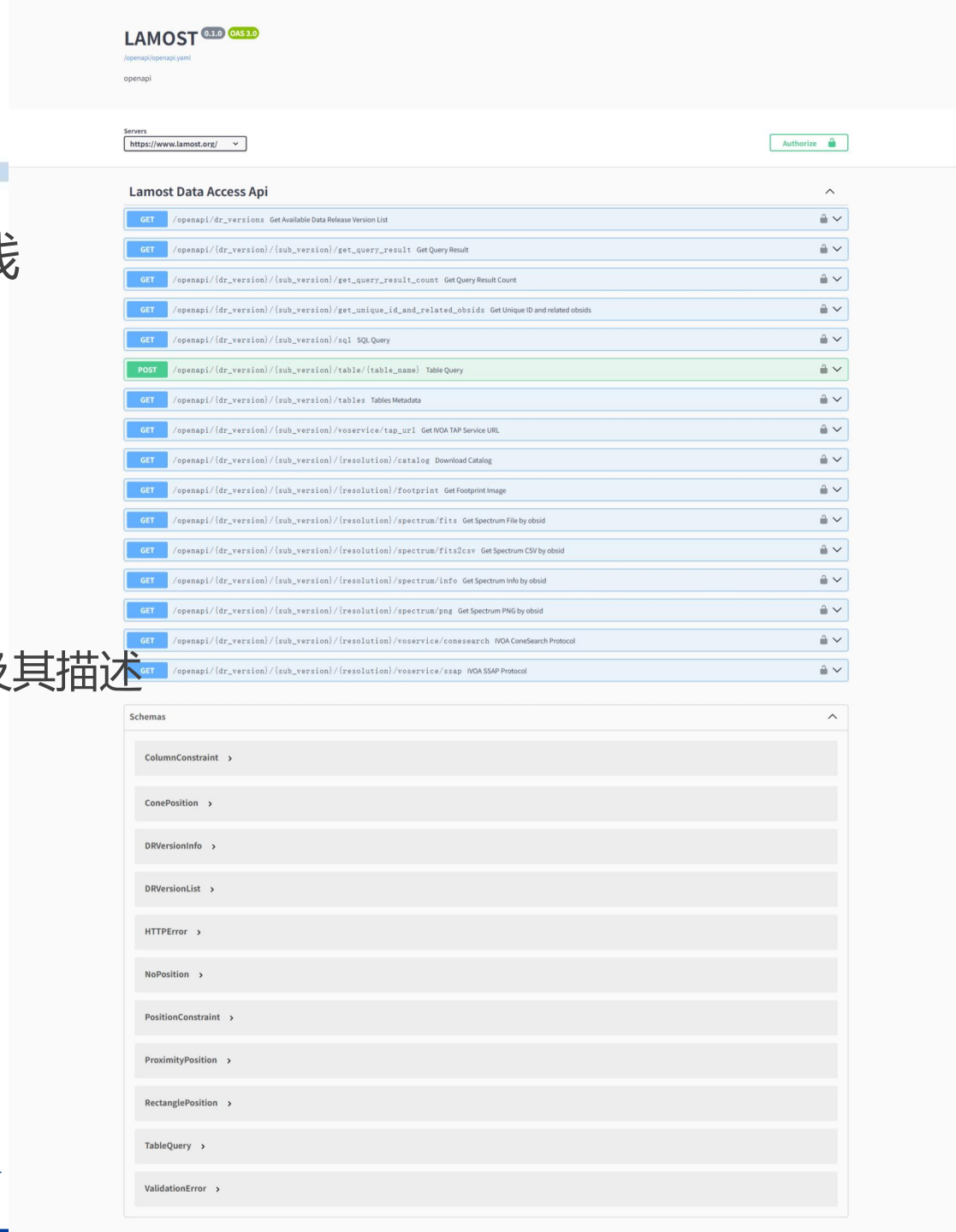
National Astronomical Data Center
国家天文科学数据中心



	obsid	uid	gp_id	designation	obsdate	lmjd	mjd	pl
1	101001	G12763466510210	2676862492063809792	J220848.54-020324.3	2011-10-24	55859	55858	F59
2	101002	G12763555022816	2676109292239283200	J220953.17-020506.0	2011-10-24	55859	55858	F59
3	101005	G12763553667654	2676108501965287552	J221008.50-020659.1	2011-10-24	55859	55858	F59
4	101007	G12763513915216	2676873345446200064	J221003.01-015029.0	2011-10-24	55859	55858	F59
5	101008	G12763564851128	2676865000324707584	J220928.49-015720.7	2011-10-24	55859	55858	F59
6	101009	G12763486062568	2676870051206263808	J220849.59-015207.1	2011-10-24	55859	55858	F59
7	101012	G12763529388159	2676112620839071488	J220930.82-020351.8	2011-10-24	55859	55858	F59
8	101013	G12763535056760	2676110353096307712	J220917.16-020719.2	2011-10-24	55859	55858	F59
9	101014	G12763532796103	2676110426110666496	J220909.48-020807.1	2011-10-24	55859	55858	F59
10	101016	G12763535296239	2676107368093944576	J220923.69-020809.9	2011-10-24	55859	55858	F59

OpenAPI Implementation

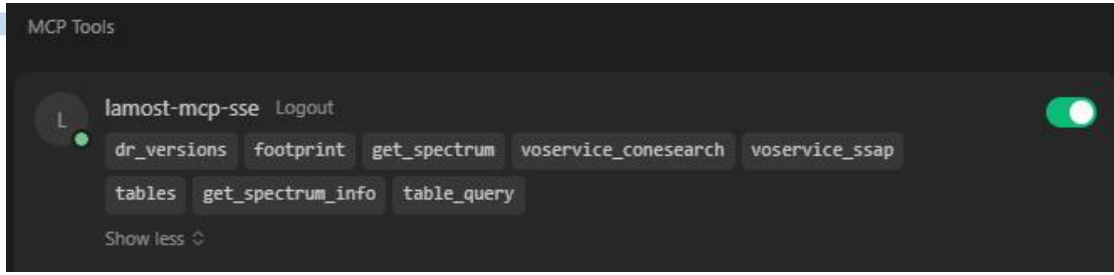
- https://www.lamost.org/openapi/docs 已上线
- Token
  - 国际开放数据不需要Token
  - 国内开放数据使用Token授权
- 当前提供16个接口
  - dr_versions：取得当前所有数据版本
  - tables：取得当前数据版本所有数据表名、字段名及其描述
  - table/{table_name}：检索特定数据表
  - sql ：提交sql在线检索
  - catalog：下载星表
  - spectrum：下载光谱
  - info：光谱基本参数
  - ……



基于OpenAPI构建MCP Server

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

- 在大模型、编译器中调用LAMOST数据服务
- 直接通过自然语言查询信息及数据







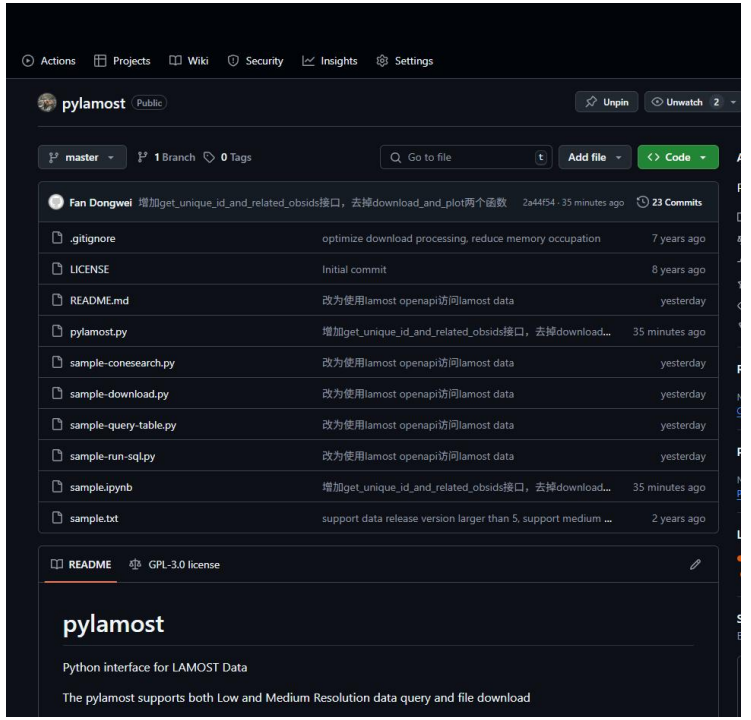


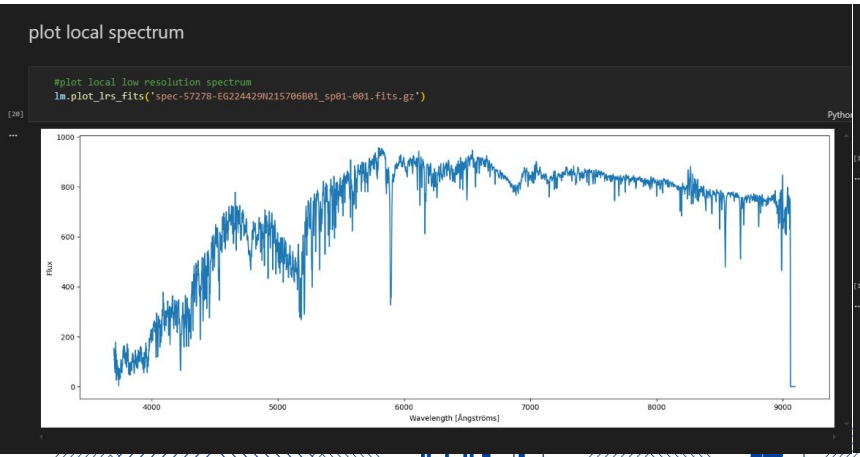
基于OpenAPI完全重构pylamost

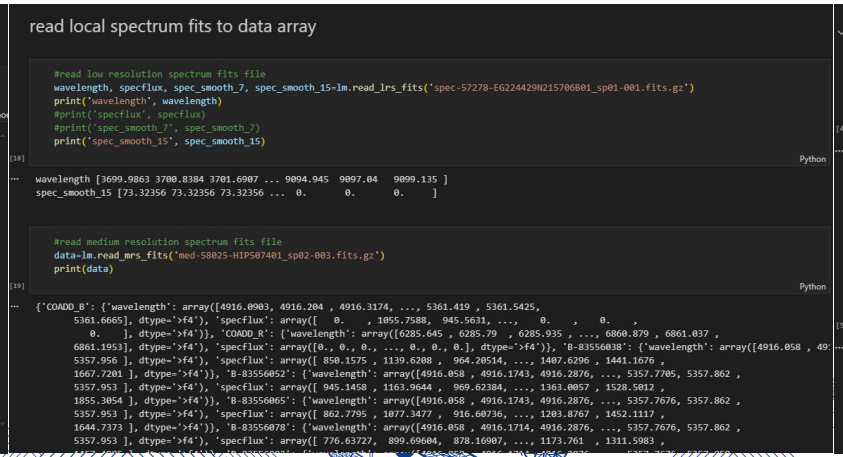
National Astronomical Data Center
国家天文科学数据中心

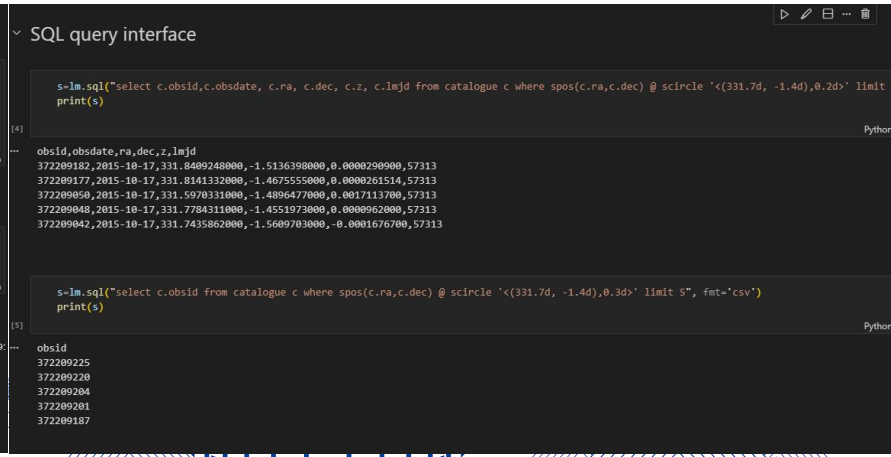
- pylamost 是一个可以直接在python中调用的LAMOST数据访问包
- https://github.com/fandongwei/pylamost
- 通过pylamost可直接调用数据发布系统相关功能
  - IVOA数据访问协议
  - 表格检索
  - SQL检索
  - ……
- 另外提供FITS文件解析、绘图等功能
- 参看sample.ipynb中的例子

将进一步扩展为 astroquery.chinavo.lamost







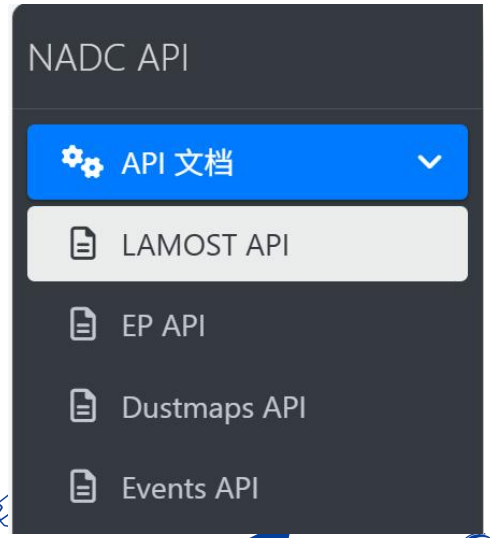


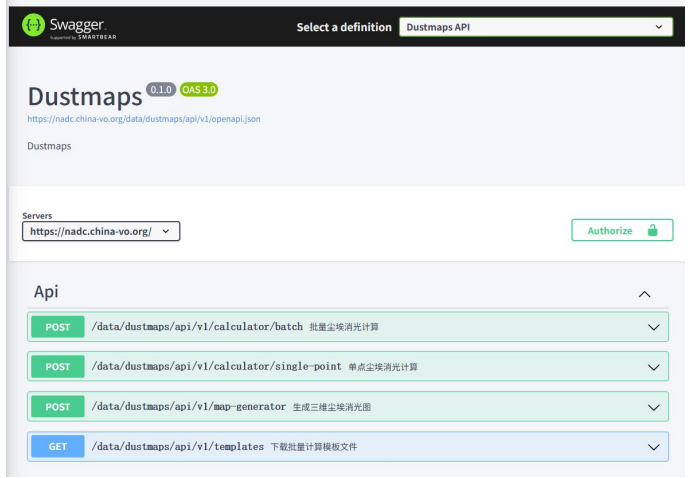
NADC API服务

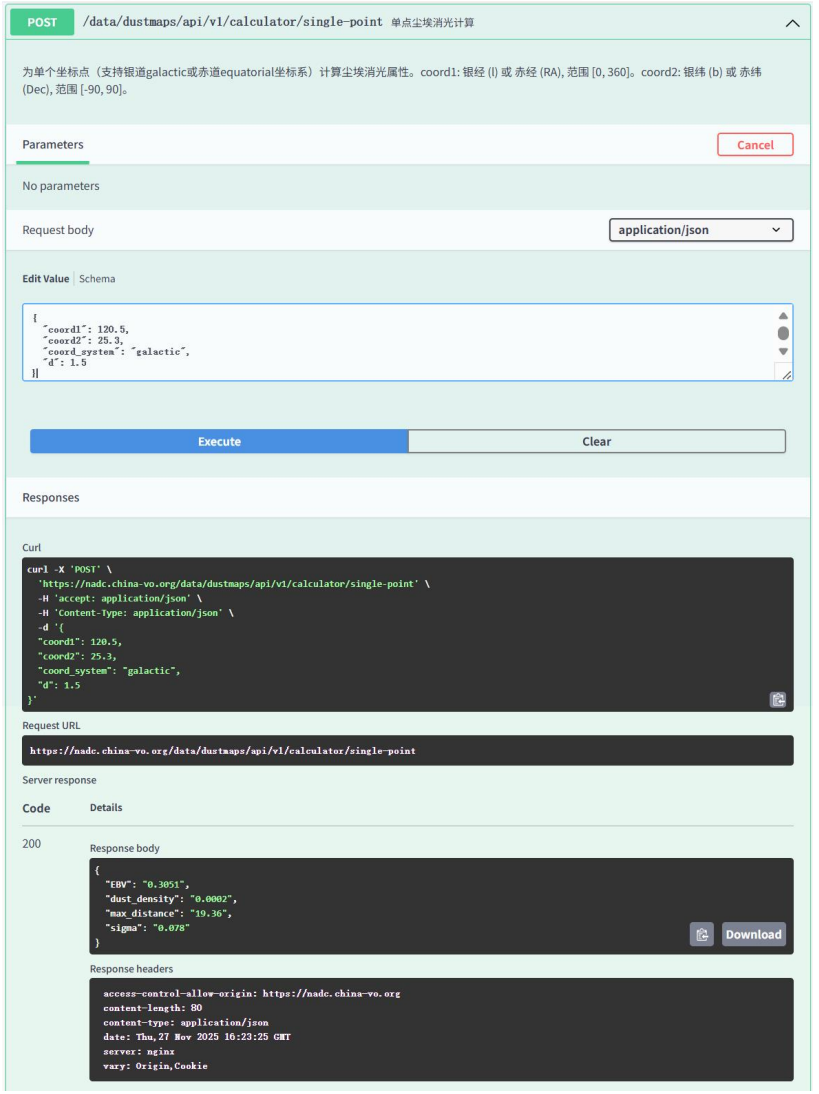
National Astronomical Data Center
国家天文科学数据中心

- https://nadc.china-vo.org/api

- NADC目前在NADC Data（新版测试中）、EP时域信息中心、Dustmaps、Events等平台上也已经实现了OpenAPI



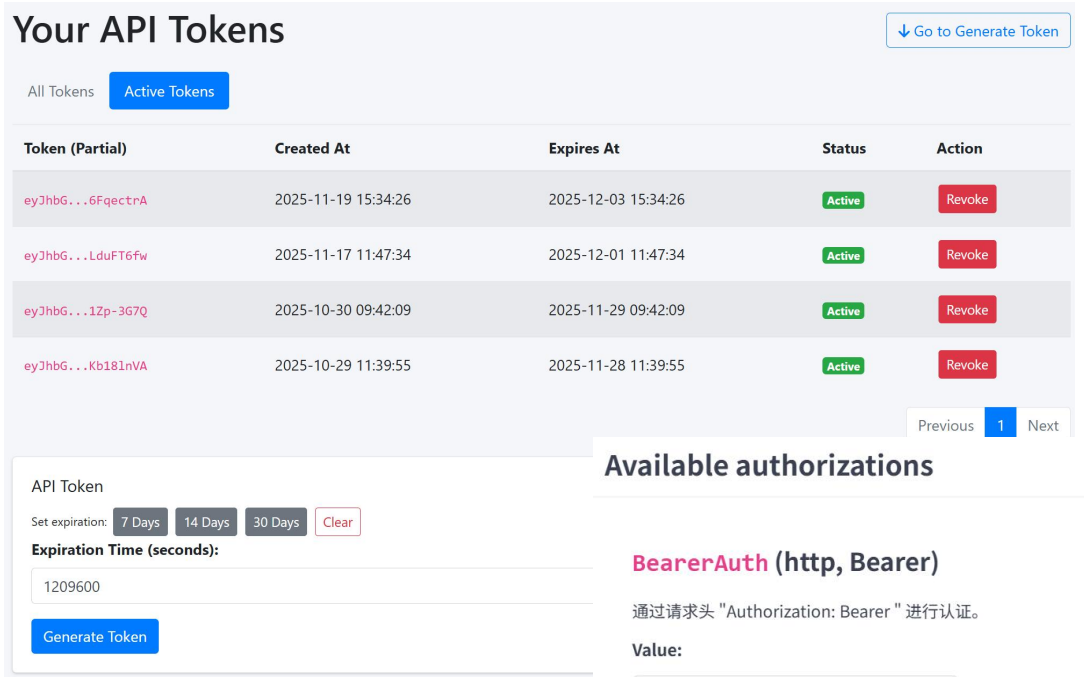


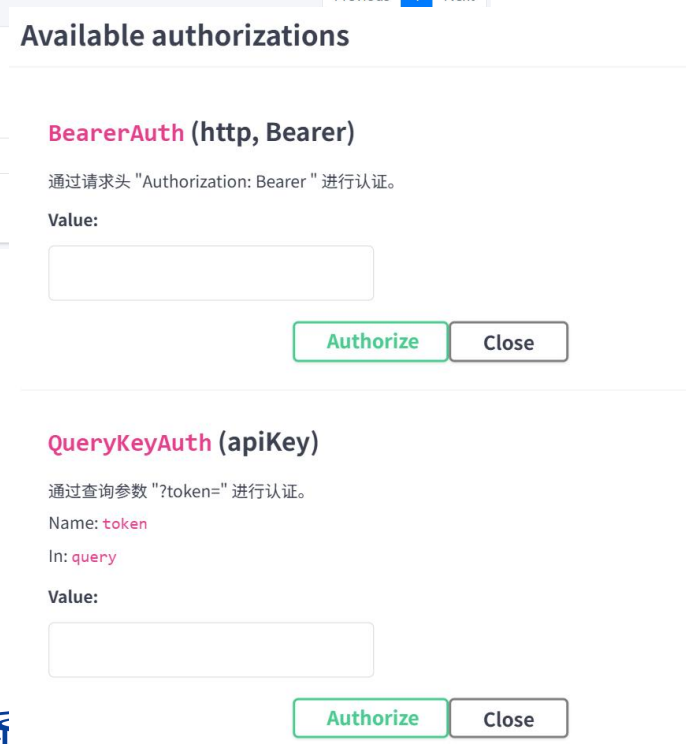


NADC API服务-鉴权方式

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

- 在多个系统并存的情况下，用户统一认证及鉴权就成为一个大问题
- NADC内部开发了China-VO Base基础开发框架，简化鉴权
- 用户可以访问和登录NADC API平台来管理token
- 支持使用统一token通过请求头和请求参数鉴权





进一步的工作

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

- 完善统一鉴权，并更新到各个数据应用系统
- 新版NADC Data系统上线
- 打造astroquery.chinavo
- 开放测试（请大家多多支持）