
分类号: _____

学校代码: 11078

UDC 密级: 密级:

学号: 2111219007

广州大学学位论文

(终稿论文)

基于 WWT 的天文探究性学习资源的实例研究 — 动因、设计 and 应用前景

关凯莹

学科专业: 天体物理

研究方向: 活动星系核物理

论文答辩日期: 2015 年 6 月 9 日

指导教师 (签名): _____

答辩委员会主席 (签名): _____

答辩委员会委员 (签名): _____

**Case Studies on Inquiry-based Learning
Resources with WorldWide Telescope
–Motivation, Design and Prospect**

A Thesis

Submitted for the Master's Degree

By

Kaiying Guan

Supervisor

Prof. Hongguang Wang

Prof. Feipeng Pi

Center for Astrophysics

Guangzhou University

June 2015

摘要

观测技术的进步导致天文数据大量累积,天文学界在将数据用于学术研究的同时也开始推动将天文数据带到教育和科普中。我们的调查显示广东中学的天文教学方式仍然以知识讲授为主,科普以天文观测、天文摄影等传统活动为主,结合天文数据和天文研究前沿的探究性活动十分缺乏。

万维望远镜(WWT)是微软研究院近年推出的天文数据可视化软件,能够将全球顶级望远镜的观测数据做成宇宙漫游节目,在中小学天文教育中有广阔的应用前景。目前国内外基于WWT的可视化节目以天体图像和天文知识呈现为主,体现探究性学习的节目源还比较少。鉴于中小学天文教育中对探究性学习资源的迫切需求以及WWT在这方面潜在的优势,本论文研究如何利用WWT进行天文探究性学习教学资源开发,重点对其中两个关键问题进行实例研究,即(1)如何利用WWT将外源天文数据进行可视化,(2)如何配合探究性学习教学环节的需要设计交互性的探究性学习节目,并将真正的科学问题融入到教学中。

对于第一点,我们选择脉冲星数据作为实例,阐述了利用WWT对脉冲星数据进行分层可视化的方法,并探讨了如何设计相应的探究性学习内容。这可以作为利用外源天文数据可视化进行探究性学习节目设计的一般性例子。

对于第二点,我们分别以多波段蟹状星云图像以及天体三角视差和距离测量为实例,阐述了如何配合探究性学习教学中的背景知识呈现、设问、分组探究、讨论与结论等环节,设计交互性的探究性学习节目。与传统的三角视差与天体距离测量的教学设计不同,本实例引入了依巴谷天体测量卫星真实的事例和数据,与WWT可视化技术结合,使学习者能够了解真正的天文观测中是如何测定天体的三角视差和距离的,将目前中学天文教学中被孤立的三角视差、天体周年运动和天球坐标系等知识点有机地结合起来。

本论文是将天文研究前沿数据和方法与中小学天文探究性学习教学资源开发相结合的有益尝试,其中理念和技术对开发系统性的教学资源有借鉴意义。

关键词：天文教育、天文科普，万维望远镜，探究性学习，数据可视化

Abstract

Thanks to the advance of observational technology, huge amount of astronomical data have been accumulated. The astronomical community is not only using the data in academic research, but also broadening its application in education and outreach. Our survey shows that the astronomical teaching modes in Guangdong high schools are mainly knowledge-based, while the inquiry-based learning is very rare.

WorldWide Telescope is a new tool developed by Microsoft for visualization of astronomical data. With its capability of facilitating the design of astronomical program, it is quite promising to be a widely used tool in astronomical education for teenagers. So far, most of the WWT visualization programs are of the type of presenting images and knowledge, while few are the resources of inquiry-based learning. Regarding to the urgent need of inquiry-based learning resources for high schools and the advantages of WWT, we are devoted to develop this kind of resources with WWT. We focus on two key issues: (1) how to visualize the external astronomical data that are not integrated into WWT, and (2) how to design interactive visualization programs incorporating real astronomical researches.

As for the first point, we choose pulsar data as a case study. The visualization method of pulsar data with WWT and the design the inquiry-based learning program are presented, which serves as a typical example of inquiry-based learning programs with visualization of external data.

As for the second point, multiwavelength data of the Crab Nebula and the celestial trigonometric parallax and the distance measurement are chosen as case studies. We mainly focus on how to design interactive programs corresponding to the major steps of inquiry-based learning, e.g. background knowledge presentation,

observation and inquiry, team work, discussion and conclusion. Unlike the traditional content in the teaching of parallax and distance, we introduce real research cases with Hipparcosastrometric data in the design in order to relate the traditionally isolated knowledge of parallax, annual motion of the earth and celestial coordinates with real researches.

This work is meaningful to the future development of inquiry-based learning resources with WWT.

Key words : astronomical education, astronomical outreach, WorldWide Telescope, inquiry-based learning, data visualization

目录

第一章 绪 论	1
1.1 选题目的.....	1
1.2 研究内容与论文结构.....	2
1.3 研究背景.....	3
第二章万维望远镜	9
2.1WWT 的产生背景.....	9
2.2WWT 的特点.....	10
2.3WWT 在天文探究性学习的作用.....	12
2.4WWT 开展的天文科普教育活动.....	13
2.5WWT 在中国的发展及其天文科普教育活动.....	15
第三章基于 WWT 的脉冲星数据可视化	18
3.1 脉冲星数据.....	18
3.2 可视化实现途径.....	19
3.3 可视化过程.....	20
3.4 可视化结果.....	23
3.5 探究性学习内容的设计.....	26
3.6 本章小结.....	27
第四章基于 WWT 的天文探究性学习教学资源的设计	28
4.1 关于设计的基本出发点.....	28
4.2 实例 1—蟹状星云探索.....	29
4.3 实例 2—三角视差和天体距离测量.....	34
4.4 本章小结.....	51
第五章总结与应用前景	52
参考文献	54
附录广东省中学天文教育现状调查结果	57
攻读学位期间发表的学术论文及作品	63
致谢	64

Contents

CHAPTER 1: INTRODUCTION.....	1
1.1 RESEARCH PURPOSE.....	1
1.2 CONTENT	2
1.3 BACKGROUND.....	3
CHAPTER 2: WORLDWIDE TELESCOPE.....	9
2.1 THE BACKGROUND OF WWT.....	9
2.2 THE FEATURES OF WWT.....	10
2.3 WWT'S ROLE IN ASTRONOMICAL INQUIRY-BASED LEARNING	12
2.4 ASTRONOMICAL EDUCATION AND OUTREACH PROJECTS BASED ON WWT	13
2.5 THE DEVELOPMENT OF ASTRONOMICAL EDUCATION AND OUTREACH FOR WWT IN CHINA.....	15
CHAPTER 3: VISUALIZATION OF PULSAR DATA WITH WWT	18
3.1 PULSAR DATA	18
3.2 VISUALIZATION APPROACH.....	19
3.3 VISUALIZATION PROCESS.....	20
3.4 VISUALIZATION RESULT.....	23
3.5 THE DESIGN OF INQUIRY-BASED LEARNING MATERIALS.....	26
3.6 SUMMARY	27
CHAPTER 4: CASE STUDIES ON ASTRONOMICAL INQUIRY-BASED LEARNING RESOURCES.....	28
4.1 BASIC CONSIDERATIONS	28
4.2 CASE 1-THE CRAB NEBULA.....	29
4.3 CASE 2-TRIGONOMETRIC PARALLAX AND DISTANCE MEASUREMENT	34
4.4 SUMMARY	51
CHAPTER 5: SUMMARY AND PROSPECTS OF APPLICATION.....	52
REFERENCES	54
APPENDIX: THE RESULT OF THE SURVEY ON GUANGDONG HIGH SCHOOL ASTRONOMICAL EDUCATION	57
PUBLICATIONS.....	63
ACKNOWLEDGEMENT	64

第一章 绪 论

1.1 选题目的

随着天文大数据时代的到来,天文数据与教育科普的结合与应用逐渐被重视。过去国内大部分的天文课堂教学倾向于知识的传授,多数的天文活动以天文户外观测和摄影为主,中学生或天文爱好者较少有机会接触到天文数据,而专业的科学研究的学术性对公众而言显得比较枯燥和专业性强。因此,将天文科研和天文数据通俗易懂地进行教育和科普非常有必要。

面对海量数据,需要有称手的工具,才能促进天文数据在教育中的应用。微软研究院于 2008 年公布万维望远镜 (WorldWide Telescope,简称 WWT)。与其他天文科普软件相比,WWT 最大的优势在于其强大的数据“后台”,天文科学数据不再是高高在上,而是通过 2D 和 3D 的画面呈现给用户。在天文教育和科普方面,WWT 具有华丽的界面和漫游功能,漫游支持节目源的制作和播放。

我们经过调查,发现广东中学的天文教育和科普实践活动多数在天文观测和摄影层次,关于天文数据和天文前沿发展的探究性活动较少;不少中学拥有天文台,但天文台闲置情况较多;参与调查的教师表示开展的活动多数会使用到望远镜。考虑到广东中学天文教育科普现状,综合 WWT 的科普和数据优势,我们尝试将天文数据带入到中学天文探究性学习教学资源的发展中。以此为选题的原因是目前借助 WWT 平台和天文数据进行青少年天文探究性的活动还是比较稀缺,尽管已经有针对小学生的天文教学课程开发的项目,以及零散的中学 WWT 教学资源,但涉及科学研究问题的中学教学资源仍然缺乏。

本论文研究课题是广州大学天文探究性学习教育项目中的一个方向,另一个

方向是与澳洲联邦科学与工业组织（CSIRO）联合开展的 PULSE@Parkes 项目。该项目利用澳大利亚 Parkes 天文台的 64m 射电望远镜，组织广州市的中学生进行远程观测，获取脉冲星的一手观测数据来研究脉冲星的距离和辐射特征。本课题中利用 WWT 进行脉冲星空间分布数据的可视化，对开展 PULSE@Parkes 项目能起到很好的辅助作用。

本课题也是为了将来基于科技馆的天文探究性活动做探究性的研究。2014 年广州大学为广州市科协提供了天文展馆的改造方案，新馆有望在 2016 年建成，展馆用地面积 400 平方米，计划投资 300 万，将建设成以天文数据与前沿科普结合为特色的青少年动手平台。届时，天文馆场馆将设有天体奥秘区、探索宇宙的工具区、多功能厅区、天文数据实验平台区、WWT 展厅、科技书刊和电子信息阅览区。其中，WWT 展厅采用弧幕设计，将用于 WWT 作品展示和青少年探究性活动。

1.2 研究内容与论文结构

探究性学习是指学生在课堂或活动中主动探索问题^[1]。这意味着学生需要利用科学观测或从其他外部途径获取的数据来解决问题。学生在探索的过程中，教师或者科学家给予适当的指导，在师生互动的过程中培养学生科学研究素养和实践能力。

本论文重点进行天文探究性学习的资源开发环节的研究。WWT 包含了许多重要天文观测数据库，但仍有不少数据未被内置进去。怎样使用外源数据是天文探究活动中很可能遇到的问题。解决了这个问题，将给 WWT 应用带来很大的自由度。另外两个重要问题是如何结合探究性学习与教学环节来设计交互性的 WWT 探究性学习节目，以及如何将真实天文研究问题融入到特定知识点的教学中，从而体现探究性。

本文针对这三方面的关键问题，选取脉冲星数据作为外源数据结合 WWT 进行探究性活动的实例，选取三角视差探究活动作为探究性学习与教学环节结合的实例进行研究。

论文结构如下：绪论、万维望远镜简介、借助 WWT 平台的脉冲星数据可视化、基于 WWT 的天文探究性活动设计和探究性活动设计的应用前景。在绪论中，1.3 节介绍国内外天文探究性学习的发展情况和趋势。第二章主要概括了 WWT 的功能和优势，随后对 WWT 在国内外的的发展情况作了简要的阐述，最后综合介绍利用 WWT 开展天文活动的例子。第三章介绍了脉冲星数据在 WWT 上的可视化过程。包括数据的来源、处理和可视化步骤操作以及可视化结果等过程，体现了天文数据与科普软件的结合。论文第四章介绍如何在三角视差等探究性活动中体现探究性学习教学的环节，以及如何将依巴谷天文卫星实际的观测数据融入到探究环节中。第五章讨论所设计的天文探究性活动的应用前景，对全文进行总结。

1.3 研究背景

1.3.1 天文探究性活动的发展趋势

探究活动的优势在于通过探索过程帮助学生理解知识。探究性活动更能锻炼学生的动手和解决问题的能力。在参与探究过程中，既能学习专业知识，又能锻炼组织和解决问题的能力，有利于学生继续科研学习或研究工作。探究性活动是开放性的思考环境，有助于激发学生的探究热情和积极性。传统教学中，学科之间多数是相互独立的。如英语只能从英语课堂中学习，计算机知识只能从计算机课堂学习。然而，在现代的教育中，一个知识或技能的习得可能是多个学科交叉作用的结果。过去几十年，在国际上天文探究性学习逐渐被带入到中学课堂中。随着社会和技术的发展，天文研究和中学课堂相结合的形式越来越多样化。

望远镜技术的发展改变着天文教育和科普方式。数码相机和天文 CCD 的广泛使用意味着即使是中学也能利用望远镜得到更多的天文数据。中学天文台为学生提供观测时间申请,使他们能近距离或远程遥控操作望远镜进行观测,并对得到的观测数据进行科学研究。

网络的诞生、计算机技术的发展、分析天文数据的软件诞生和硬盘的性能与容量的提高等,为远程观测提供了基础。在这样的条件下,一些专业的天文台开发了适合青少年参与的天文研究项目,使得青少年能借助网络平台与天文台合作开展相应的天文探究性课题。不管是对前人工作的检验还是全新的研究项目,青少年的研究结果都对科学研究有一定的参考价值。典型的例子是星系动物园项目¹,天文学家将斯隆数字巡天数据中的星系数据在网络上开放,利用全球网民的力量对星系进行简单的分类,不但充分利用了网络资源的力量,还大大减轻了科学家的工作量,其中不乏青少年和天文爱好者的贡献。星系动物园的实践也表明,普通人参与的项目也能做出可靠的科学研究,充分体现了探究性活动对科研的价值和贡献^[2]。另外两个典型的青少年天文探究性项目是澳大利亚麦考利大学的“成长空间”项目²和联邦科学与工业研究组织的 PULSE@Parkes 项目³。前者利用开放的 2 米级光学望远镜指导中学生开展星云光谱观测和分析,目前侧重于中学天文师资的培养。

以上所述的此类项目只是利用了某个望远镜的数据,天文学早已进入多波段观测时代,且各波段顶级望远镜数据开放程度之高,可谓各学科之最。因此,如何将全波段的数据有效地用于天文教育和科普成为近十年来的发展趋势。WWT 正是在这样的背景下应运而生,也为天文探究性活动和资源开发提供了利器。

¹星系动物园项目:

http://www.galaxyzoo.org/?utm_source=Zooniverse%20Home&utm_medium=Web&utm_campaign=Homepage%20Catalogue

²成长空间项目: <http://physics.mq.edu.au/astrophysics/space2grow/>

³ PULSE@Parkes 项目: <http://www.atnf.csiro.au/outreach/education/pulseatparkes/index.html>

1.3.2 国内外天文探究性活动实例

探究性活动概念提出至今，在中学的实践越来越多。全球有多个国家利用天文数据进行教育科普的活动。下面将具体列举个别具有代表性的例子。

阿雷西博远程指挥中心（The Arecibo Remote Command Center，简称 ARCC）是 2005 年美国成立的面向中学生和大学家的科学研究和教育基地。ARCC 使用阿雷西博天文台的 350 米单口径射电望远镜、澳大利亚 Parkes 天文台 64 米射电望远镜和美国绿岸望远镜的天文数据来开展教育科普项目。项目包括使用望远镜进行实时实地观测、体验射电科研工作过程和对观测数据进行科学处理与研究。如利用观测数据进行搜寻银河系中脉冲星项目和 21 世纪天文大使的夏令营项目^[3]。

戈德斯通苹果谷射电望远镜（Goldstone Apple Valley Radio Telescope）是由美国国家航空航天局的喷射推进实验室（NASA，the Jet Propulsion Laboratory）和路易斯教育研究中心（The Lewis Center for Educational Research）共同运营的线上开放项目，项目利用使用 34 米射电望远镜进行射电天文基础知识和射电望远镜操作等天文研究活动。

布拉德福德自动望远镜（Bradford Robotic Telescope，简称 BRT）于 2002 年至 2004 年被改建成远程观测的开放式的英国中学天文教育设备。天文台通过网络接受中学或公众的观测申请，并在一到两个晚上的时间内返回观测照片。同时 BRT 还提供教学和科普素材，教师可通过官网获取相关的资料，或者直接参与到项目中。项目还会为教师提供天文教学培训^[4]。

查尔斯史都大学远程望远镜项目（Charles Sturt University RemoteTelescope Project，简称 CSURTP）使中小學生可以通过网络进行远程观测，并对获取的数据进行处理，主要的参与者来自加拿大和澳大利亚。相应的，项目为教师和学生提供远程使用望远镜的教学材料，例如“时空穿梭”课程，提供了远程观测的基础知识和操作指导。“眼睛观测”课程则为师生参与研究性课

程提供教育评估^[5]。

福克斯望远镜项目 (Faulkes Telescope Project, 简称 FTP) 是 2003 年建立的英国天文教育项目, 主要为英国中学提供望远镜观测。之后与 ESA 合作开展小行星观测课程^[6]。

动手天文 (Hands on Universe, 简称 HOU) 是美国 NASA 于 90 年代建立的天文动手教育项目, 后发展成为向全球开放的青少年天文探究项目 (Global Hands-on Universe), 指导中学生利用 NASA 的天文望远镜观测数据搜寻小行星和彗星等太阳系小天体。项目还向教师提供天文探究性活动培训和教学素材^[7]。

中国动手天文 (China HOU) 是国际动手天文组织的子组织, 中国于 2005 年加入国际动手天文组织, 率先把动手天文教学的模式带到中国, 建立基于互联网的远程动手天文教学活动平台, 开设包含天文基础知识、望远镜观测和数据分析等内容的天文课程。China HOU 在国家天文台支持下与中学开展课堂实践活动, 如北京 101 中学远程动手教学天文台项目^[8]。

夏威夷师生天文研究项目 (Hawaii' Student/Teacher Astronomy Research, 简称 HISTAR) 中, 教师和学生被组织到夏威夷大学进行为期一周的天文科学研究集训, 旨在通过动手探索活动帮助中学生或教师掌握一定的天文背景知识。

国际小行星搜寻活动 (International Asteroid Search Campaign, 简称 IASC) 是多个天文组织联合开展的国际天文活动, 指导国际学生对天文观测数据进行处理分析, 包括小行星搜寻和近地天体观测等^[9]。中国的学校于 2008 年加入。

微型天文台 (MicroObservatory) 是由美国哈佛大学史密松天体物理中心建立的一系列 6 英寸自动望远镜。微型天文台天文教育, 如“利用在线望远镜探究科学前沿”, 是指导学生通过真实望远镜获取数据并探测系外行星的天文教育项目^[10]。

毗斯迦山天文研究所 (Pisgah Astronomical Research Institute) 拥有多

个光学和射电望远镜，主要用于科学研究和天文教育项目。天文教育方面有两个主要的中学项目，分别是空间科学实验室项目 (SSLP) 和杜克大学天才计划 (Duke TIP)。

脉冲星搜寻合作实验室 (Pulsar Search Collaboratory, 简称 PSC) 项目前三年是由美国国家射电天文台 (NRAO) 和西佛吉尼亚大学共同资助运行，现在在志愿者资助下运作^[11]。项目从绿岸望远镜的 1500 小时观测数据中取出 300 小时用于教育研究。项目持续一年，处理数据之前教师和学生需参加特定的培训和学习，之后教师在学校指导学生数据对数据进行脉冲星搜寻研究，最后在研讨会上展示成果。

学生在线探索脉冲星 (PULsar Student Exploration online at Parkes, 即 PULSE@Parkes) 由澳大利亚联邦科学与工业组织 (CSIRO) 的澳大利亚望远镜国家中心 (ATNF) 建立^[12]，鼓励中学生利用 Parkes 射电望远镜进行观测研究。项目中有 42 颗脉冲星供选择，学生可控制望远镜观测脉冲星，然后对数据进行分析并测定脉冲星的距离。

中国虚拟天文台 (China-VO) 是结合天文观测数据与研究的综合性天文平台。其中包括青少年探究性项目，如 China-VO 平台向中学开放 LAMOST 科普观测申请的项目。另外一个结合时代特点的天文教育科普活动，是利用 WWT 开展天文教育科普活动。

以上所列活动仅是天文动手实践活动的一部分，综上所述，国际上已有许多天文机构利用天文数据进行教育科普活动，这已经成为当今天文教育发展的潮流，国内正处于发展的初级阶段。

1.3.3 广东中学天文教育现状

在我们开展广东省内中小学天文教育和科普活动中，包括广东省中小学天文

奥赛，指导学生天文社团活动等，我们了解到目前省内中小学天文教学和课外活动的方式仍然以天文知识讲授和星空观测等方式为主，与天文信息技术结合的探究性活动仍很缺乏。

为了深入了解情况，2013年我们对广东中学天文教育科普的现状进行了问卷调查。调查对象主要来自在广东中小学天文奥赛表现活跃的参赛学校指导老师。调查以网络调查问卷的形式进行，共收到41份有效调查问卷。我们分别对中学天文教学资源 and 实践活动进行调查。调查结果显示，教学设备上，约70%的中学拥有望远镜，但不少调查者反馈其中学的天文台或望远镜被闲置。天文软件方面使用Stellarium的最多，WWT使用较少；约一半教师使用数码相机，但CCD使用较少。教材方面，以自编讲义、已出版的天文教科书为主。在实践活动方面，约85%被调查者反映与天文新发现或新研究进展有关的材料的比重小于20%，分层次的天文活动，即针对一般爱好者的活动和探究性的活动，53.66%的教师表示以前者为主，后者为辅，探究性的活动比重小于30%。详细的调查结果将在附录叙述。调查结果与我们之前了解的情况一致。

此前，2012年广州大学地理研究生邓璐兵曾以广东省第八届中小學生天文奥赛辅导教师为调查对象对中学天文教育现状进行调查^[13]。调查结果显示在中学天文教学资源和设备方面，多数的教师使用多媒体辅助教学，天文教学基础设备和课程资源仍很缺乏。而一年后我们的调查情况也再次表明中学天文对设备和资源的利用率不高，但对天文软件的使用有所增加。其在教学方式方面的调查显示课堂互动和自主学习与小组研讨的情况较少，侧面反映出中学天文仍缺乏探究性的活动，这与我们对探究性活动的调查结果相符。

调查中反映出的天文探究性活动缺乏的原因是多方面的，中学天文教师自身的天文背景和培训不足是一个方面，而天文研究机构长期对天文教育资源，尤其是探究性教育资源的开发投入不足是另外一个重要原因。

第二章万维望远镜

目前，探究性活动的载体多种多样，WWT 是其中一种。使用 WWT 进行天文探究性活动的优势在于 WWT 的后台真实数据及其优秀的呈现效果。WWT 的交互式探索过程将会使得探究性活动变得更加有趣和直观，WWT 的数据处理设计则呈现科学研究过程，以达到探究性活动的最大价值。本章将详细介绍 WWT 的功能和天文科普优势，接着阐述 WWT 在中国的发展情况以及在国内用于探究性活动的实例。

2.1 WWT 的产生背景

在望远镜诞生之前，人类是通过肉眼来观察星空。1609 年，伽利略首次使用望远镜观测星空，使得人类能够看到除太阳月亮等之外的肉眼不可见的天体。后经开普勒、牛顿和卡塞格林等人的努力，光学望远镜先后经历了折射望远镜、反射望远镜和折返望远镜，光学望远镜的性能不断地改善，望远镜的角分辨率和成像质量不断提高，使得人类能看到星空更多的细节。照相技术的发展，使得观测图像得以保存下来，人类从单纯的肉眼观测发展到利用数据进行测量。随着光谱技术的发展，使得人类能了解更多的信息，20 世纪 30 年代观测从可见光波段拓宽到射电波段，诞生了射电天文学。光学波段和射电波段能穿透大气到达地面而被观测到，来自天体的红外、紫外和 X 射线等则会被大气阻挡，地面望远镜观测不到被屏蔽的波段。20 世纪 50 年代以后航空航天技术的发展给人类带来了更宽阔的视野，使得人类站到地球之外观测到被地球大气屏蔽的波段，由此人类进入了全波段的观测时代^[14]。观测技术的不断发展使得观测数据大量地产生。

天文数据的迅速增长无疑是有利于天文科学研究的发展，加之云计算技术的诞生、超级计算机的快速处理能力和 PB 量级数据的储存能力的出现，使得天文

数据能更有效地被利用^[15]。然而，天文数据仅仅被科学家利用未免有被束之高阁的感觉，普通公众无法接触到真实的天文数据，天文数据和天文教育科普之间形成了断层，使得公众对天文科学研究缺乏真正的认识，也无法体验到科学研究当中的真实过程^[16]。近 20 年来，不同的力量在推动天文数据的开放，其中既有专业的天文研究机构，也有掌握信息技术优势的 IT 业巨头。科学家们对数据公开的需求，以及大型天文设备建设后的国际合作方式，使得建立公开的虚拟天文数据平台有了驱动力。由多国天文研究机构合作的国际虚拟天文台联盟（简称 IVOA）于 2002 年成立，致力于天文科学研究在全球的合作和发展，吸引越来越多的国家加入，中国虚拟天文台（China-VO）也加入了国际虚拟天文台联盟。China-VO 的成立，为中国与国际天文接轨搭建了有效的桥梁。虚拟天文台将天文数据实时连接起来，充分有效地实现数据资源的整合和利用，为全球用户提供了统一的服务^[17]。虚拟天文台为天文科研所服务之外，还在天文教育和科普活动中起到了重要的作用。虚拟天文台利用其丰富天文数据和科学技术，为公众获取天文真实数据和进行天文探索活动提供服务，公众不再需要到单个实体的天文台进行观测来获取专业的天文数据，而是能通过网络来控制 and 获取数据。

许多大型天文项目的数据公开，使 IT 界的商业公司整合数据资源开发公众数据应用平台成为可能，在这种趋势下，微软研究院于 2008 年公开万维望远镜天文数据可视化软件，WWT 糅合了地面和空间望远镜的天文科学数据，向公众展示真实的宇宙，将天文数据与科普教育很好地结合起来，形成一个资源丰富功能强大的平台^[18]。

2.2 WWT 的特点

万维望远镜（WWT）是微软研究院推出的一款免费天文软件，可以说这是一架虚拟望远镜，WWT 集合了大量的真实天文数据，包括来自全球的地面和空

间主要望远镜的天文数据，如斯隆数字化巡天望远镜、哈勃空间望远镜和钱德拉 X 射线天文台等^[19]。WWT 华丽的界面、丰富的科普资源和多项功能使之成为教育和科普的重要工具，为教师开展常规天文教育和科普活动提供了丰富的资源，而 WWT 特有的漫游功能，更是强大的教学工具。教师能制作或指导学生制作漫游片来进行教学和演示，同时在 WWT 上还能进行天象模拟，把过去或即将发生的天象搬到屏幕上，还原真实的天象发生过程。WWT 的华丽可视化效果有利于激发青少年的学习兴趣。

与普通天文科普软件相比，教师和青少年能轻松地通过 WWT 获取数据，包括太空图像、天文摄影照片和天体信息等数据，并能利用这些数据进行研究和学习。寻星镜显示器显示该目标的数据来源以及额外参考资料，只需轻轻点击鼠标就能通过网络获取相关的资源，以对其做进一步的探索。另外，图层管理器支持数据的添加，WWT 提供链接获取服务器提供的数据层，也支持用户新建自己制作的数据层。现代的天文教育和科普活动不再局限于传统的星空观测、天文摄影和天文奥赛等形式，而是能利用天文科学数据进行探究性学习。

WWT 的界面包括了探索、向导式漫游、搜索、社区、望远镜、显示和设置的功能栏，探索功能下的不同文件夹按不同分类标准将天文数据进行分门别类，实现天文观测图像的轻松访问。鼠标能对目标进行放大、缩小和旋转等操作。向导式漫游是 WWT 特有的天文教育和科普功能，拥有幻灯片的播放功能，用户可以根据自己的需要使用文字、图片、声音或音乐等进行漫游制作，用户可以上传和下载漫游进行分享交流。向导式漫游功能栏下收藏了全球优秀的漫游，下载后能进行播放和编辑。社区为用户提供了资源共享和信息交流的平台。WWT 在国内推广之后，在中国科学院国家天文台和亚洲微软研究院的支持下，WWT 北京社区成功上线，为全国 WWT 用户提供了技术支持、共享的资源和前沿发展信息等。望远镜功能则通过 ASCOM 控件实现与真实望远镜的连接，从而达到远程遥控望远镜的目的。此外，WWT 的底层数据还支持用户进行搜索，支持坐标和名

称等多种搜索方式，为用户探索宇宙提供了便利的条件。

WWT 提供不同模式的切换，包括地球、行星、太阳系、星空、全景和新增的沙盘模式，不同的模式下能实现不同的功能^[20]。在 WWT 任一模式下，都支持数据层的添加，图层管理器控制了星座、网格、二维和三维太阳系等图层的选择，另外，用户通过添加新的数据层能实现外部数据的导入。

至 2015 年初，微软研究院公布实现 WWT 部分开源^[21]，并放出部分的程序代码，可以预见开源后 WWT 的功能将不断改进，功能将更加强大。

2.3 WWT 在天文探究性学习的作用

数据的开放性、易操作性和优秀的可视化效果使得 WWT 在青少年天文探究性学习中发挥巨大的作用。

从教师的角度来看，WWT 能提供多种教学实现手段。过去教学上，PPT 起到了重要的作用。不同于 PPT，WWT 的二维和三维的数据层能达到更优秀更逼真的展示效果。WWT 的向导式漫游具有播放功能，提供了动态的教学模式，变静为动，漫游中可以加入文字、图片解说和音乐等效果，使得教学形式更加丰富和有趣^[22]。WWT 支持数据层的叠加，可以利用同一天体的不同波段的数据进行对比观察。WWT 还能实现天象模拟^[23]，将过去或即将发生的天象真实地呈现出来。WWT 拥有华丽的界面，在教学中能立刻吸引学生参与课堂教学。WWT 的开放数据平台可用于探究性活动，促进学生参与课堂教学，同时也将教师从课堂的主导角色换成辅助角色，学生成为课堂的主导，通过动手实践，将被动学习变为主动学习。

从学生的角度来看，WWT 海量的真实天文数据有利于学生进行自主的探索和学习。课堂教学由于受到时间的限制，所教授的知识有限，然而学生却能在课外时间利用 WWT 进行深度的学习。WWT 的数据提供了数据来源的链接、数据

信息和维基百科解释等参考资料，提供了深入探讨的途径。科学探索过程中，学生提出科学问题，寻找解决途径，对数据处理，最后解决问题。例如对猎户座大星云的探索，可从不同波段的数据对大星云进行对比和学习^[24]。学生在对真实数据的挖掘中学习科学地思考，接触到科学研究过程和方法，培养科学素养和创造能力，有助于形成批判性思维，为日后的学习或研究工作打下基础。

2.4 WWT 开展的天文科普教育活动

2.4.1 微软的 WWTA 项目

万维望远镜大使（WorldWide Telescope Ambassadors，即 WWTA）是由微软和哈佛大学合作开展的致力于天文教育科普的项目，项目团队成员有 WWT 科学工作者，也有哈佛大学的天文科学家和教师。WWTA 项目是寻找和培养天文教育课堂教师的计划，任何教师或对天文中学活动有兴趣的个人都能参与。教师利用 WWT 开展探究性活动或参与 WWT 开设的探究性活动，主动对学生进行指导，引导学生完成探究性活动。活动中，学生探索宇宙，锻炼动手能力，教师从中接受专业的天文教学指导，同时累积了开展天文活动的素材。WWTA 项目提供天文教学活动所需的专业天文指导和活动素材，帮助教师指导学生使用 WWT 进行探究性学习。WWT 的天文大使可以是中学教师，利用 WWTA 资源指导中学生参与天文教学活动；也可以是天文学家或者高校教师，通过加入 WWTA 项目，为参加活动的学生提供专业的指导。在 WWTA 推动下，许多的教师参与到科学探索活动中，如为期三天探究月相变化的课程活动，学生将在活动中通过物理和虚拟模型来理解月相的周期变化。也有科学教师带领自己的学生进入 WWT 小组进行探究学习，如 2010 年的米歇尔·巴特利组织六年级的学生参加 WWT 为期六周的 WWT 漫游制作天文科学活动^[25]。学生在米歇尔的指导下围绕主题以小组合作

的形式完成 WWT 漫游制作。WWTA 项目下类似的天文教育科普活动还有许多，例如探索地球昼夜变化、理解四季更替、认识宇宙的距离尺度和探索恒星演化等。WWTA 均为每个项目提供相应的指导手册^[26]。WWTA 活动反馈表明，学生在实践的学习效果高于传统教学的效果。歇尔·巴特利的学生则表示在参加完 WWT 漫游制作活动之后对天文和科学有更大的兴趣。WWTA 项目曾经对使用 WWT 学生进行调查，发现 99% 的学生表示使用 WWT 学习更有积极性^[27]。

2.4.2 其他天文组织的 WWT 项目

WWT on “FeTCH! WITH Ruff Ruffman”是 2008 年哈佛大学天文学教授阿莉莎·古德曼创建的利用 WWT 的显著特征来介绍多波段光谱的天文教育活动。活动是围绕光谱主题开展的一系列游戏，游戏中学生需要通过 WWT 学习多个波段的电磁光谱知识，用以辨认出使用光谱隐藏真实身份的恶魔大 Boss^[28]，以游戏的形式进行教学，极大地发挥了学生的积极性。

阿德勒夜晚 DIY 科学活动（ADLER AFTER DARK）是位于美国芝加哥的阿德勒天文馆在每个月开展一次的夜间 WWT 漫游 DIY 活动，活动提供简短的漫游教程，鼓励公众自由创作自己喜欢的漫游。活动开展中，天文学家则会在现场解答公众的问题并提供必要的帮助。在活动的尾声，天文馆会选出优秀的漫游在天文馆里播放，与公众进行交流。此外，天文馆会组织中學生参加类似的 DIY 活动，例如阿德勒天文馆女黑客（Girls do Hack event at the Adler Planetarium）和在芝加哥大学开展的拓宽视野活动（Expanding your Horizons at the University of Chicago）。阿德勒天文馆的 DIY 活动已超过千人参加，活动受到良好的效果^[29]。

WWT 和星团（WWT and Star Clusters）项目的目的是开发基于 WWT 的高中和大学天文课程。天文学家亚伦盖勒建立 WWT 可视化实验室，指导高中生和大学生通过 WWT 制作赫罗图来学习星团。课程活动显示学生在使用 WWT 获取科

学数据过程中表现出极大的兴趣和热情，学习到的知识也更多。

天文学的 101 位教授 (Astronomy 101 Professors) 项目是 WWT 联合克奈尔大学和哈佛大学的天文教授开展的整合 WWT 与传统大学天文教学课程资源的项目。将传统的天文课程与动手实践活动相结合，在三维交互可视化的环境帮助学生理解和更正对宇宙尺度的认识。项目包括了四个活动：三角视差和周围恒星的距离、视差法和星团距离、球状星团和银河系大小与哈勃定律和大尺度结构的测量^[30]。

WWT 与大学天文课程 (WWT in an Astronomy course)，2014 年芝加哥大学哥伦比亚学院的 Jim Sweitzer 教授在他的恒星和星系课程中使用 WWT 进行教学。课程鼓励学生利用 WWT 的天文数据进行探索，并制作 WWT 天文视频^[31]。Jim 教授表示会继续使用 WWT 进行教学，指导学生使用天文数据进行探索。

WWT 推出之后广受欢迎，在国外，中学、高校和其他组织陆续利用 WWT 进行天文教育科普活动，而以上的例子仅仅是其中的一部分。

2.5 WWT 在中国的发展及其天文科普教育活动

WWT 在 2008 年推出，同年，WWT 在中国天文信息研讨会上亮相，国家天文台赵永恒研究员在会议上介绍了 WWT，随后天文爱好者先后刊登了关于 WWT 的文章^[32]。同年 11 月，WWT 推出中文版。第二年在 China-VO 和微软研究院支持下，WWT 北京社区成功上线，为用户提供技术支持和资源下载。后越来越多的高校教师和研究员参与到 WWT 活动中。

2010 年举行首届 WWT 全国教师培训，来自全国的中小学、高校、研究员和其他天文组织的教师和爱好者参加了 WWT 的操作培训。WWT 培训开展顺利且得到教师们的好评，此后，全国 WWT 教师培训成为一年一次的惯例活动。

WWT 被越来越多的人熟知，特别是其独特的漫游功能，吸引了越来越多的

公众动手参与。亚洲微软研究院与 China-VO 于 2010 年共同举办了第一届漫游制作大赛。大赛指导参赛选手围绕宇宙、太空和地理以及环境等知识制作相应的漫游。去年第二届共享杯大学生科技资源共享与创新实践竞赛中，高校学生制作的漫游作品参加多媒体制作竞赛，并取得可喜的成绩。今年在国家天文台和中国天文学会普及工作委员会的推动下，将举行第二届 WWT 宇宙漫游制作大赛。2015 年春季，在广东天文学会的推动下，启动了广东省 WWT 漫游大赛。

2013，WWT 与天象厅结合，诞生了国内首座 WWT 互动式数字天象厅。重庆石新路小学在各大组织的支持下，完成圆顶的改造，建成国内第一座 WWT 天象厅。天象厅与 WWT 连接，通过 WWT 控制节目在球幕的播放，动动手指就能将宇宙展示在眼前，大大提高了学生的课堂积极性。互动式天象厅迅速引起其他学校的注意，2014 年 10 月，直径 4 米的 WWT 天象厅在北师大天文系落成，成为国内第二座 WWT 互动式天象厅，极大地推动了 WWT 的教学科普的发展。相信未来将会有更多 WWT 天象厅陆续建成。

在 WWT 教师培训之后，越来越多的教师在他们的课堂中使用 WWT，小至利用 WWT 辅助教学进行，大至使用 WWT 开展探究性活动。2014 年，建成天象厅的石新路小学进行了第一次天文实践课。学生在教师的指导下，以小组合作的方式完成火星探索任务，并制作火星漫游作为展示^[33]。

WWT 的天文实践活动取得良好的效果，吸引越来越多的教师投入到 WWT 天文科普活动中。如华中师范大学物理系乔翠兰老师为重庆石新路小学 WWT 天象厅编写了适合小学开展天文探究性活动的教材大纲。此外，乔老师将 WWT 带入到大学天文课堂中，利用 WWT 的科学数据在其大学天文课程中开展讲授、探究型和研究型三个层次的天文教学^[34]。

WWT 的可视化功能支持外部数据的导入，能很好地与天文数据融合。借助 WWT 的可视化功能，能实现天文数据与教育科普的结合。例如，在国家天文台和华中师范大学物理系联合指导下，万望辉同学利用 WWT 的可视化平台将中国传统星空

的数据呈现在 WWT 中。

WWT 在中国不断发展，引起了高校、中小学和其他天文机构的注意，将会有越来越多的高校或其他机构将其用于教育科普或科学研究中。

第三章基于 WWT 的脉冲星数据可视化

本章以脉冲星数据为例子,展示如何将脉冲星的数据按照其自转周期特性进行分层可视化,实现 WWT 的外源数据的导入与可视化。这里所谈的分层可视化是指按照自转周期大小的不同将脉冲星进行分类,在天球上将不同类别的脉冲星的空间分布用不同颜色或符号表示出来。论文详细阐述脉冲星数据的可视化步骤,包括数据的筛选、处理和可视化操作等,可作为其他天文科研数据可视化的范例,为青少年结合科研数据进行自主探索提供参考,实现探究活动的目的。

本章第 3.1-3.4 节的主要内容已发表在《天文爱好者》杂志(2014 年第 11 期, P81-85),第 3.5 节探究性学习内容的设计为新增内容。

3.1 脉冲星数据

1967 年贝尔和她导师休伊什发现历史上第一颗脉冲星,至今,短短 40 多年,脉冲星研究迅速发展。在人类发现第一颗脉冲星的 7 年后,天文学家在使用阿雷西博天文台望远镜进行观测时,探测到自转周期为 59 毫秒的脉冲星,其后的观测发现其脉冲周期也有周期变化,研究确认这是一颗双星系统中的脉冲星^[35]。1982 年,射电天文学家在第一颗脉冲星附近发现了第一颗毫秒脉冲星,自转周期约 1.5 毫秒,并命名为 PSR B1937+21。研究表明,脉冲星是一颗自转周期极快的具有强磁场的天体,多数脉冲星磁场强度在 10^7T 到 10^9T 的量级^[36]。自转周期范围从几十毫秒到十几秒,脉冲星周期性的信号类似我们看到的灯塔,因此科学家用灯塔模型来解释脉冲星的脉冲信号。脉冲星的射电辐射从两极的辐射束中辐射出来,只有当辐射束扫过地球时,探测器才能接收到脉冲信号,持续的观测得到周期性的脉冲信号。神秘的脉冲星吸引着天文学家孜孜不倦地对其进行研究,如脉冲星的辐射机制、物理起源和演化等科学研究,且不断地拓宽研究领域。天

文学家发现脉冲星在星际空间导航^[37]、精确计时和引力波探测方面起着重要作用^[38]。至今，发现的脉冲星已有 2000 多颗，多数的脉冲星位于银盘上，少数分布在球状星团。这样的描述过于抽象，而借助 WWT 的平台可以将脉冲星的分布形象地展示给公众，同时，也可以设计出适合探究性学习的内容。

ATNF (Australia Telescope National Facility) 脉冲星数据库是国际上最全的脉冲星数据库。现收录近 2400 颗星，并会不定期的更新。该数据库是由英国曼彻斯特大学和澳大利亚联邦科学和工业研究组织 (CSIRO) 基于曼彻斯特大学早期对脉冲星的研究建立。它收录了脉冲星名称、周期、距离和天球坐标等上百种参数^[39]。数据库提供多种访问方式，最直接的是网页访问提供在线查询和下载。

本次脉冲星可视化数据取自第 1.49 版的 2311 颗脉冲星，根据需要从 ATNF 数据库中获取这些脉冲星的名称 (J2000 历元)、天球坐标 (RAJ、DECJ、RAJD 和 DECJD)、周期 (P0) 和距离 (Dist) 的数据。

3.2 可视化实现途径

WWT 对外源数据有多种可视化方式，其中一种简便又实用的方式是 Excel 表格数据可视化 (WorldWide Telescope Add-in for Excel)。换言之，WWT Excel 可视化是利用 Excel 表格将数据添加到 WWT 中，再进行可视化。结果以数据层的形式出现在层管理器中，可以修改和保存。可视化之前，我们看到的是密密麻麻的数字型的数据，可视化的优势在于将枯燥的数据直观地呈现出来，以脉冲星数据为例，经过可视化的脉冲星分布情况直观地呈现在 WWT 界面中。

WWT Excel 可视化需要借助 Excel 控件的 WWT 可视化功能，因此，在利用 Excel 进行可视化之前，需要下载并安装 WWT Excel Add-In 控件。Excel 控件为 Excel 表格增加 WWT 工具栏，能实现选择可视化、管理数据层、观看示例和设置等 11

个小功能，以辅助完成数据的可视化。

3.3 可视化过程

3.3.1 数据处理

将下载的数据导入 Excel 表格中，去除误差栏的数据和因导入造成的空白行。数据表格的第一行是数据属性名称，每一列分别记录脉冲星的这些属性数据。统一数据表的格式，避免因表格的默认格式而造成数据的自动换算。使用数据筛选功能，分别检查每一列数据是否在其对应范围要求之内，特别是标志着脉冲星分布情况的天球坐标。由于 WWT 中赤纬以度作为默认单位，因此在数据中选择以度为单位的赤经赤纬 (RAJD 和 DECJD) 作为可视化的依据。利用 Excel 表格的筛选功能逐项确认 RAJD 和 DECJD 在 0-360 度和 ± 90 度以内、RAJ 和 DECJ 分别在 0-24h 和 ± 90 度内，同样方法确认周期在毫秒到秒级别的范围内。WWT 包含了千米、光年和秒差距等距离单位，为方便运用，天文研究中天体的距离常用秒差距做单位，结合 WWT 提供的距离单位，对 Excel 表格中脉冲星距离进行单位换算，将千秒差距换算成秒差距以适应 WWT 可视化。

将数据根据其自转周期进行分类，以 30 毫秒作为分类界限，30 毫秒以下的为毫秒脉冲星，以上为正常脉冲星（注：更严格的区分还需要结合年龄和表面磁场，这可作为以后的青少年探究性学习课题进行探讨），在新增的颜色栏中分别填上“Green”和“Yellow”，作为可视化的标记颜色。根据脉冲星所处位置将脉冲星分为球状星团脉冲星和非球状星团脉冲星。Pulsars in globular clusters 网站 (<http://www2.naic.edu/~pfreire/GCpsr.html>) 列出了公布的球状星团脉冲星列表，据此从脉冲星分布数据表中查找出球状星团脉冲星数据并形成独立数据表。

完成数据处理并分类后的表格如下。

表 3-1. 脉冲星分布数据表

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	0	NAME	RAJ (hms)	DECJ (dms)	RAJD (deg)	DECJD (deg)	PO (s)	DIST (pc)	Color
2	1	J0006+1834	00:06:04.8	+18:34:59	1.52000	18.58306	0.69374767047	700	Yellow
3	2	J0007+7303	00:07:01.7	+73:03:07.4	1.75708	73.05206	0.3158731909	*	Yellow
4	3	B0011+47	00:14:17.75	+47:46:33.4	3.57396	47.77594	1.240699038946	1820	Yellow
5	4	J0023+0923	00:23:16.89	+09:23:24.18	5.82037	9.39005	0.00305	950	Green
6	5	B0021-72C	00:23:50.35311	-72:04:31.4926	5.95980	-72.07541	0.00575677999551320	4000	Green
7	6	B0021-72D	00:24:13.87934	-72:04:43.8405	6.05783	-72.07884	0.00535757328486266	4000	Green
8	7	B0021-72E	00:24:11.1036	-72:05:20.1377	6.04627	-72.08893	0.00353632915276031	4000	Green
9	8	B0021-72F	00:24:03.8539	-72:04:42.8065	6.01606	-72.07856	0.00262357935251098	4000	Green
10	9	B0021-72G	00:24:07.9587	-72:04:39.6911	6.03316	-72.07769	0.0040403791435629	4000	Green
11	10	B0021-72H	00:24:06.7014	-72:04:06.795	6.02792	-72.06855	0.0032103407093484	4000	Green
12	11	B0021-72I	00:24:07.9330	-72:04:39.669	6.03305	-72.07769	0.0034849920616611	4000	Green
13	12	B0021-72J	00:23:59.40735	-72:03:58.7914	5.99753	-72.06633	0.00210063354535247	4000	Green
14	13	B0021-72L	00:24:03.771	-72:04:56.913	6.01571	-72.08248	0.0043461679994601	4000	Green
15	14	B0021-72M	00:23:54.4877	-72:05:30.741	5.97703	-72.09187	0.0036766432175977	4000	Green
16	15	B0021-72N	00:24:09.1865	-72:04:28.880	6.03828	-72.07469	0.0030539543462594	4000	Green
17	16	J0024-7204O	00:24:04.6512	-72:04:53.7552	6.01938	-72.08160	0.0026433432972417	4000	Green
18	17	J0024-7204P	00:24:05.67	-72:04:52.62	6.02363	-72.08128	0.003643021	4000	Green
19	18	J0024-7204Q	00:24:16.4891	-72:04:25.153	6.06870	-72.07365	0.0040331811845700	4000	Green
20	19	J0024-7204R	00:24:05.67	-72:04:52.62	6.02363	-72.08128	0.003480463	4000	Green

表 3-2. 球状星团脉冲星数据表

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1				(hms)	(dms)	(deg)	(deg)	(s)	(pc)		
2	#	NAME	PSRJ	RAJ	DECJ	RAJD	DECJD	PO	DIST	Color	
3	5	B0021-72J0024-72	0.016555	-72:04:3	5.9598	-72.0754	0.005757	4000	Red		
4	6	B0021-72J0024-72	0.016827	-72:04:4	6.05783	-72.0788	0.005358	4000	Red		
5	7	B0021-72J0024-72	0.016795	-72:05:2	6.04627	-72.0889	0.003536	4000	Red		
6	8	B0021-72J0024-72	0.016711	-72:04:4	6.01606	-72.0786	0.002624	4000	Red		
7	9	B0021-72J0024-72	0.016759	-72:04:3	6.03316	-72.0777	0.00404	4000	Red		
8	10	B0021-72J0024-72	0.016744	-72:04:0	6.02792	-72.0686	0.00321	4000	Red		
9	11	B0021-72J0024-72	0.016758	-72:04:3	6.03305	-72.0777	0.003485	4000	Red		
10	12	B0021-72J0024-72	0.01666	-72:03:5	5.99753	-72.0663	0.002101	4000	Red		
11	13	B0021-72J0024-72	0.01671	-72:04:5	6.01571	-72.0825	0.004346	4000	Red		
12	14	B0021-72J0024-72	0.016603	-72:05:3	5.97703	-72.0919	0.003677	4000	Red		
13	15	B0021-72J0024-72	0.016773	-72:04:2	6.03828	-72.0747	0.003054	4000	Red		
14	16	J0024-72J0024-72	0.01672	-72:04:5	6.01938	-72.0816	0.002643	4000	Red		
15	17	J0024-72J0024-72	0.016732	-72:04:5	6.02363	-72.0813	0.003643	4000	Red		
16	18	J0024-72J0024-72	0.016858	-72:04:2	6.0687	-72.0737	0.004033	4000	Red		
17	19	J0024-72J0024-72	0.016732	-72:04:5	6.02363	-72.0813	0.00348	4000	Red		
18	20	J0024-72J0024-72	0.016713	-72:04:4	6.01657	-72.0784	0.00283	4000	Red		
19	21	J0024-72J0024-72	0.016766	-72:04:3	6.03562	-72.0775	0.007588	4000	Red		
20	22	J0024-72J0024-72	0.01678	-72:03:5	6.04098	-72.0666	0.004343	4000	Red		
21	23	J0024-72J0024-72	0.016732	-72:04:5	6.02363	-72.0813	0.00481	2490	Red		
22	24	J0024-72J0024-72	0.016737	-72:04:4	6.02529	-72.0803	0.002352	4000	Red		
23	25	J0024-72J0024-72	0.016732	-72:04:5	6.02363	-72.0813	0.004771	4000	Red		

3.3.2 实现可视化

在 Excel 表格中打开脉冲星分布数据表，选择表格中的包括第一行数据属性

在内的所有数据，点击 visualize selection，对数据进行可视化选择，将数据与 Excel 表格中的 WWT 工具建立起关联。对已经选择的数据，可以进行显示范围（Show Range）或更新范围（Update Range）等操作。

Excel 表格中的 WWT 图层管理器与数据关联后，自动对已选择的数据进行辨认，对预设的参量名称能自动识别，并完成标签选择。而未被识别的参量需进行 WWT 标签匹配。绘图窗口的第一列为读取数据表中的第一行参量，即表示数据属性的名称。绘图窗口的第二列为 WWT 标签，三角形下拉列表列出了深度、高度、距离和坐标等 WWT 标签。我们可视化的依据是脉冲星的天球坐标，因此需分别对 RAJD 和 DECJD 选择 RA 和 Dec 标签，表示可视化将根据 RA 和 Dec 的坐标将数据标记在天球中。对距离选择 Distance 标签。剩下的其他参量仅用于分类和后期检验所用，在可视化过程中不起作用，因此不做设置。WWT 预设距离的单位有米、千米、天文单位和秒差距等，天文研究中常用秒差距作为距离单位。故数据表将脉冲星距离单位换算成秒差距，因此在绘图窗口下的距离单位，点击下拉列表，为距离单位选择秒差距标签。由于 WWT 中赤纬默认以度为单位，为方便可视化，我们选择赤经以度为单位做可视化，故对 RA 选择度为单位标签。

参数设置之后，可通过层和标识窗口对可视化效果进行设置。在层窗口中提供可视化透明度的更改，脉冲星分布数据可视化选择完全不透明。在标识窗口，选择显示的悬浮文字，修改显示比例因子。比例因子控制用于可视化显示的标识点的大小。在天球上，为避免因标记点太小而显示不明显，比例因子一般选择 12 及以上，比例因子属性在可视化之后仍能修改。

最后，在层名字框中输入名称为数据层命名。不可忽略的一步是对可视化选择参考系，参考系直接影响了可视化数据层的叠放位置以及数据在背景层中的显示效果。参考系中提供了地球、行星、太阳系和星空等参考系选择，这里脉冲星是基于星空的数据，因此选择 Sky 参考系。

完成一切设置之后，点击表格下的 View in WWT 即完成可视化，脉冲星的数

据将以颜色标记点的方式展示在天球上，而在 WWT 界面的图层管理器中对应参考系下能找到已命名的可视化数据层。右键数据层的属性，显示数据的参数设置，并可进行修改。

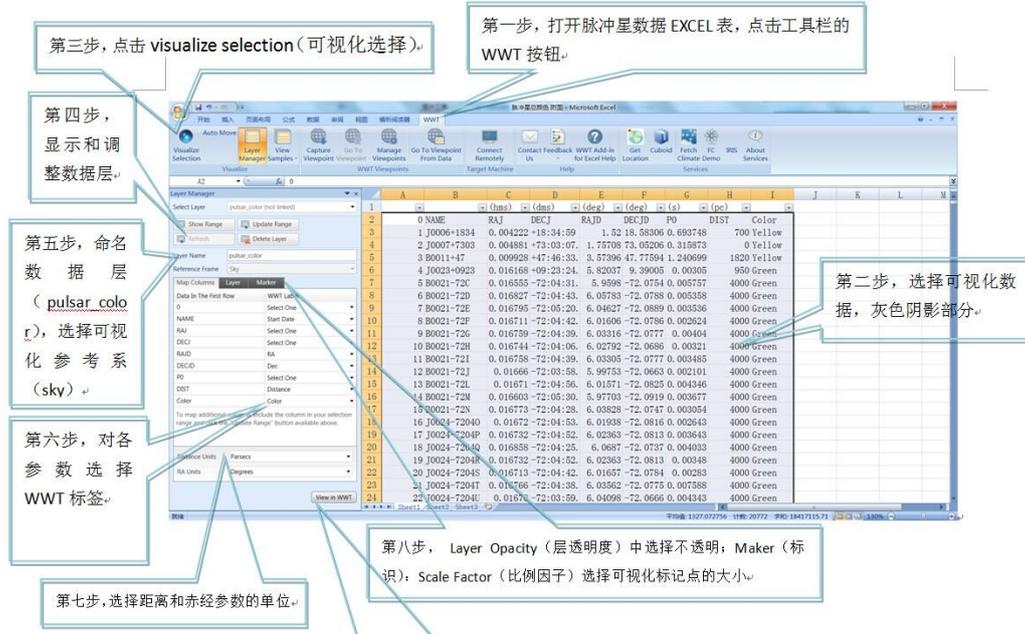


图 3-3. 简化的可视化步骤

此前，已对脉冲星数据进行分类，形成不同的数据表。同样的方法和步骤，对分类的脉冲星数据分别做可视化，分别得到正常脉冲星、毫秒脉冲星和球状星团脉冲星的可视化结果。

3.4 可视化结果

可视化之后，脉冲星数据的分布情况直接呈现在 WWT 中。利用 WWT 的寻星镜显示器对可视化的脉冲星数据进行检验，验证其位置是否在正确显示在天球对应位置中。寻星镜显示器显示背景星空中目标的赤经赤纬、星等和距离等信息，任意选择部分脉冲星，对比寻星镜显示器显示的赤经赤纬与脉冲星数据表中记录的

以时为单位赤经和以度为单位赤纬数据，检验脉冲星是否正确可视化在对应的星空中。检验结果显示，脉冲星分布数据正确可视化在 WWT 中。以下是脉冲星分布数据的可视化结果。

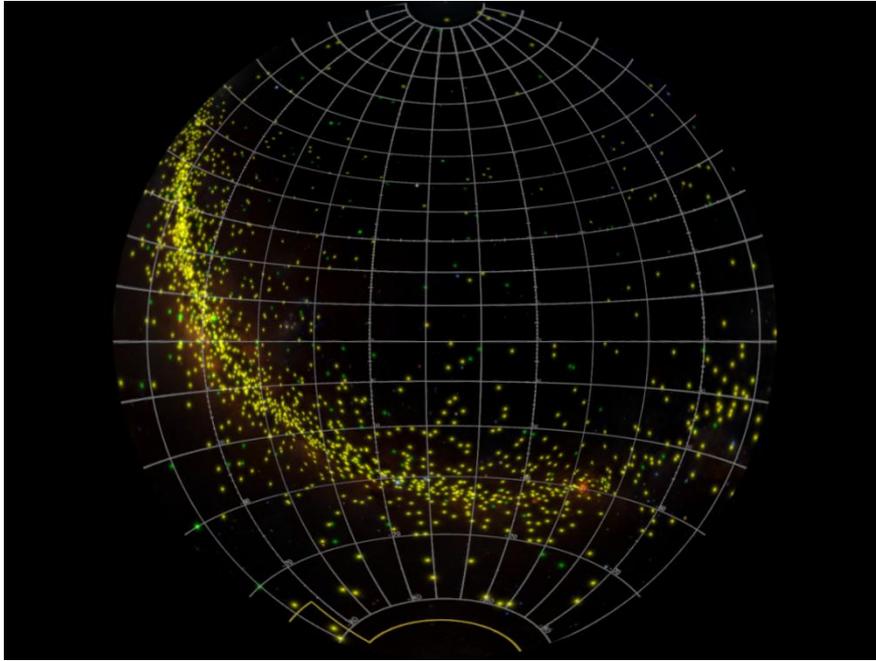


图 3-4. 脉冲星分布数据，黄色为正常脉冲星，绿色为毫秒脉冲星

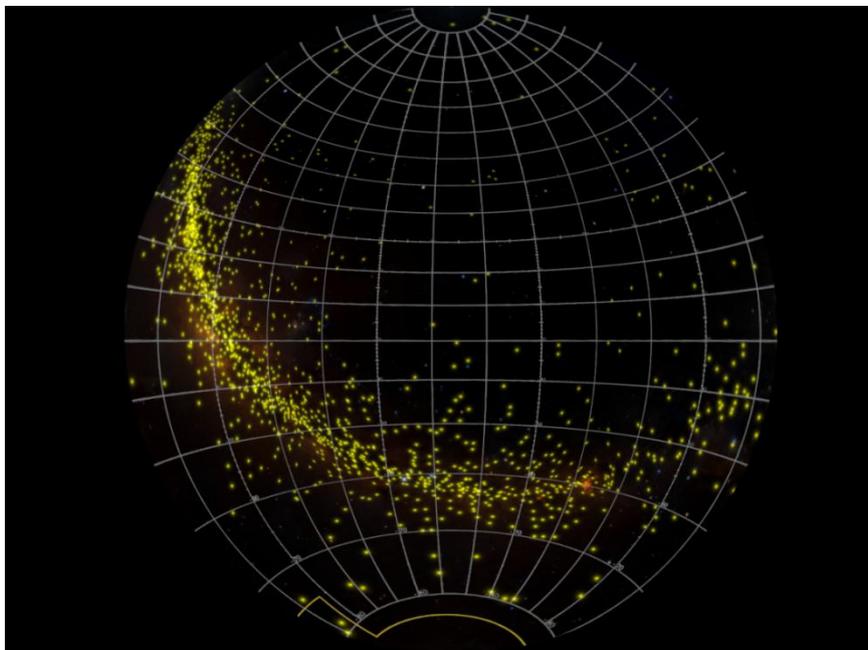


图 3-5. 正常脉冲星分布

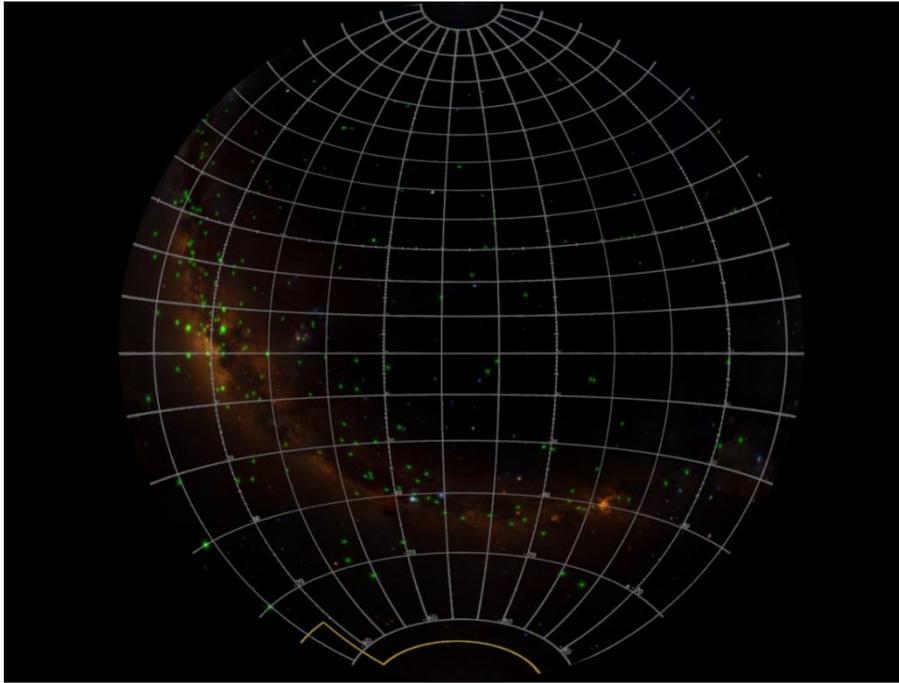


图 3-6. 毫秒脉冲星分布

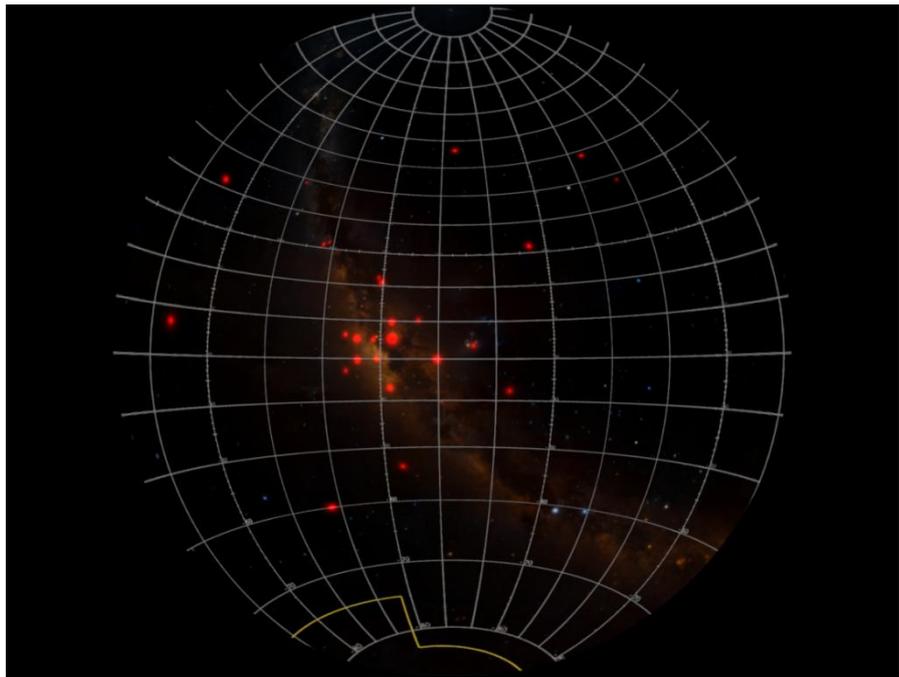


图 3-7. 球状星团脉冲星分布

从以上的可视化结果可以看出，正常脉冲星在数量上占了主导地位。从分布上看，整体上，脉冲星是沿银河带分布。脉冲星数据的分类可视化结果显示，正常脉冲星主要聚集在银河带上，分布较集中，而毫秒脉冲星的分布则要分散得多。

对比球状星团可视化结果，可以发现，球状星团脉冲星和毫秒脉冲星有较多的重叠部分，经检查列表，发现球状星团中的脉冲星多数是毫秒脉冲星，这也解释了正常脉冲星和毫秒脉冲星的分布差异。

3.5 探究性学习内容的设计

以上已对脉冲星空间分布作可视化，进一步地，我们可利用可视化结果设计探究性学习环节。本节我们将详细阐述基于脉冲星空间分布可视化结果的探究性学习教学资源的设计，内容将设计由浅到深的问题，引导学生进行探讨。

首先是基础探究问题：不同颜色脉冲星的空间分布差异在哪里？

在上一节结尾，我们简单地分析了按自转周期分类的脉冲星空间分布的差异，在实际的探究性学习教学活动中，教师可以不直接给出分布差异的结论，而是设计成探究问题，指导青少年对可视化结果进行观察，并分组讨论自转周期不同的脉冲星空间分布的差异及其原因。最后，教师组织青少年进行交流，得到结论。

接下来可以引导学生进行深层次的探究：按周期分类脉冲星分布具有某些特征，那么按其他参数分类，脉冲星的分布是否也会具有相似的分布？这实际上是引导学生思考不同物理参数是否有联系，而这一点需要学生通过观察得出。

这个环节的设计可选取脉冲星的距离、年龄、磁场、辐射功率等多个物理参量来分别进行探究，教师将学生分成若干小组，各小组对某一个或者某两个参数进行可视化。教师指导各小组分别从 ATNF 上获取脉冲星特性的数据，仿照本章第 3.3 节的可视化步骤，完成相应参数的可视化。各小组对各自可视化结果进行观察，探究其特性在空间分布的差异。教师组织各小组报告结果，并指导学生对各种结果进行综合分析，得到结论。

3.6 本章小结

本章介绍脉冲星分布数据的可视化过程，实现了外部天文数据与 WWT 的结合，展示了 WWT 的强大数据功能，为后续利用天文数据和 WWT 平台开展探究性活动提供了有利的途径。

与专业的科学研究不同，WWT 数据可视化结果清晰直观地呈现在星空，公众不需要专业的天文知识来解读可视化结果。脉冲星数据的可视化表明用于学术研究的天文数据也适用于教育和科普，对比专业学术型的研究，脉冲星在星空分布结果一致，明显 WWT 可视化呈现的结果更加直观，更容易被公众理解，因而更加适用于教育和科普。可视化的数据来自科学研究的天文数据，可视化的结果对科学研究具有参考价值，分层可视化显示了脉冲星分布的差异，对分布差异的探讨体现了科学探究的过程，可见天文科学数据可用于天文教育和科普中，进一步的还能对数据进行科学探究，体现了天文数据的科研意义。从学生层面看，表层的教育和科普能使得学生获取知识，而结合科学数据的探究性活动，不仅提高学生的参与积极性和热情，更提高学生的实践能力和科学探索能力。

综上，脉冲星分布可视化的例子，说明科学数据能很好地与教育科普相结合，可视化的过程为利用天文数据开展探究性活动提供了范例。

第四章基于 WWT 的天文探究性学习教学资源的设计

WWT 提供了天文数据的可视化途径,在此基础上,如何设计青少年天文探究性学习的节目资源需要作以下几方面的考虑。

4.1 关于设计的基本出发点

(1) 形式上的交互性。

在课堂上或课外活动中,师生共同参与的天文探究性学习的环节通常有提出问题、提出假设、验证分析和总结交流^[40],交互性是它的一个重要特征,因此在探究性学习节目的制作上需要适应这一需求。

(2) 内容上的探究性

探究是建立在观察以及一定的知识背景上的,因此在内容设计上应考虑尽量提供多种数据源,以便学生进行多角度的观察和比较分析。另外,应尽可能将真实的天文问题融入到学习内容中,使学习者在解决问题的过程中真正学到研究的方法和技能。

(3) 难度上的合理性

所设计的探究性活动应该是在青少年或天文爱好者的天文知识水平基础上稍微提高,确保内容在青少年的理解范围之内。一方面保证内容能被青少年或天文爱好者所理解,另一方面,青少年或爱好者能从探究中学习新的知识或技能。

基于以上几点考虑,本章以两个具有代表性的课题作为探究实例,阐述如何设计探究性的教学节目。第一个课题是使用 WWT 探索蟹状星云多波段图像的差异及其原因。这个实例能体现如何设计开放性的节目。第二个课题是学习三角视差和如何测量天体距离。这个实例能体现如何将真实的天文问题与中学天文教学知识点结合。

4.2 实例 1—蟹状星云探索

本实践项目包含三个环节，WWT 基本操作、蟹状星云图像的调取和呈现以及探究性学习。它即可用于师生共同完成的探究式课堂教学或课外活动，也可作为学生个人或小组式学习的项目。由于这个项目只用到 WWT 内置数据库中的数据呈现，因此技术上比较简单，适用于中小学天文教学。在第三个环节，由于其开放性，可根据中学生和小学生各自不同的天文知识基础来引导探究。时间上，完全可以在 40 分钟一节课内完成。与传统基于 PPT 和视频等多媒体手段的探究性活动不同，WWT 的优势是本身就集成了多波段的天文观测数据，使这类探究性活动的资源开发和使用提供了很大的便利。

1. WWT 基本操作

参与者在进行探究性活动之前首先需要了解 WWT 的功能和掌握一些简单而必备的操作。作为介绍性的入门，这一环节没有涉及太深的知识点，主要对 WWT 的功能和使用作介绍，包括 WWT 的工具栏的功能、图层的使用以及背景的切换操作等，再提供线索指导参与者对目标进行操作，使得参与者掌握简单的 WWT 操作，也为探索活动提供知识储备。学习或熟悉新事物的最好办法就是亲手操作和实践，所以学习和熟悉 WWT 的一个办法就是让参与者动手去玩 WWT，使得用户能轻松地操作和使用 WWT。

具体步骤：

(1) 观看漫游。探究性学习节目是以卡米小分队的宇宙探索之旅来展开，每位参与者都是该探索队的队员。因此，探索小队需进入卡米分队漫游文件夹选择探索节目。打开“WWT 之蟹状星云探索”漫游，活动以任务的形式进行，首先对 WWT 做简要的介绍，接着提出问题，引导参与者思考，并带着问题进行探索以找到答案。漫游在关键位置设置文字提示，青少年根据提示理解任务，对漫游做相应的操作。同时教师或工作人员可做相应的提示。

(2) 介绍 WWT 的工具栏、图层和指向及其作用。WWT 上方是工具栏，包括了探索、向导式漫游、搜索、社区、望远镜、显示和设置等 7 个工具（见图 4-1），每个工具下均有一个下三角，点击会弹出相应项目下的工具。探索是这节活动的重点，旨在指导参与者利用探索工具找到目标天体。探索下有多个文件夹，每个文件夹分别收集着不同的天体图像，如星座、太阳系、全天和望远镜观测等图像。WWT 的搜索功能，提供了英文名称、J2000 历元的赤经赤纬、地平坐标高度角、银道坐标、黄道坐标和地球经度纬度的搜索方法，在不同指向中使用不同的搜索方式能快捷地找到目标。界面左边显示图层管理器，控制着图层的添加与隐藏；下方则是视场切换和信息显示工具，指向的操作控制视场的转换（见图 4-2）。



图4-1. WWT 上方工具栏，下方的略缩图表示探索按钮下的文件夹



图4-2. WWT 工具栏

2. 蟹状星云图像的调取和呈现

漫游提示提供三种寻找蟹状星云的方法，同时设定选择按钮，参与者选择不同的方法将进入不同的方法操作提示（见图 4-3）。漫游在需要操作的幻灯片设置停顿，给予参与者自由操作时间，参与者根据提示动手操作以了解各个功能。教师或工作人员指导参与者进行思考找到蟹状星云的方法。“WWT 之蟹状星云探索”漫游设置了寻找途径的引导，参与者在无教师或工作人员的指导下也能根据提示进行思考。

第一种是最直接但也比较费时的方法，需要通过探索的文件夹来寻找，参与者一个一个地打开文件夹，辨识出蟹状星云并点击将图像调选出来。文件夹中的每张图像都有名称，参与者打开文件夹之后能通过蟹状星云名称快速地辨别出蟹状星云的图像，也能通过略缩图显示的蟹状星云形状来辨认。点击图片即可在 WWT 中显示，此时，点击“显示”下三角，选择“将当前视图保存为图像文件”，在弹出窗口选择保存路径将得到的蟹状星云图像保存起来（见图 4-4）。

第二种方法，利用探索工具栏下的全天星座文件夹来查找蟹状星云。星座文件夹将全天星座分别显示，略缩图显示每个星座的边界和英文名称。漫游中提示蟹状星云所在的星座名称（金牛座，英文名 Taurus）。参与者打开星座（Constellations）文件夹，看到按照字母顺序排列的星座，点击白色的小三角展开叠起来的星座，找到并点击 Taurus，WWT 将转向金牛座。进入星座之前，应检查图层显示器，确保“星座”图层已勾选。WWT 下方会显示当前视场下的目标，在下方工具栏滚动滑动条或点击向右白色三角展开折叠的略缩图，直到看到蟹状星云的略缩图。点击显示蟹状星云视图。同样的方法将视图保存起来（见图 4-5）。

第三种方法，通过搜索功能来完成任务，此方法最快捷准确。在 WWT 工具栏点击“搜索”工具，在左上角的输入框输入“Crab Nebulas”，输入框下显示出搜索结果，直接点击结果的略缩图，或右键，选择“属性”-“显示对象”，结果将呈现在 WWT 上。最后，将结果的视图保存到指定的文件夹（见图 4-6）。



图4-3. 寻找蟹状星云的三种方法. 三个图分别是三个跳转链接



图4-4. 使用文件夹寻找蟹状星云的方法. 提供方法步骤，指导参与者动手参与

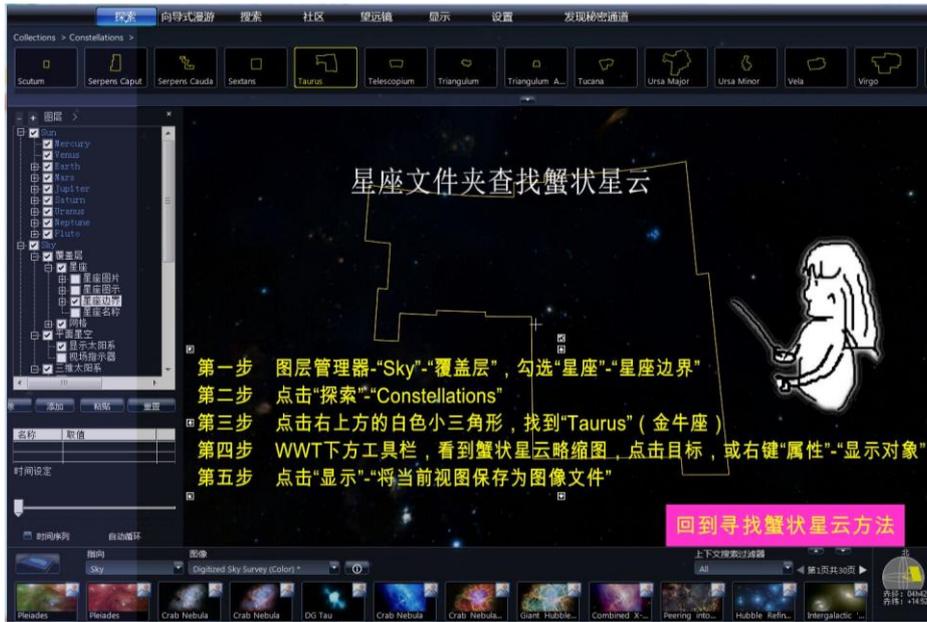


图4-5. 星座文件夹查找蟹状星云的方法



图4-6. 搜索工具寻找蟹状星云的方法

3. 基于多波段图像的探究性学习

WWT 中提供了由斯皮策、钱德拉和哈勃望远镜拍摄的蟹状星云图像，分别有红外波段、X-射线和光学波段等的图像。基于蟹状星云图像，漫游给出四个辅助的讨论问题：找到的蟹状星云图像分别是哪个波段的图像、不同波段的蟹状星云

图像有何不同、不同波段的蟹状星云图像分别使用什么望远镜拍摄、为什么需要使用不同望远镜（见图 4-7）？参与者根据操作提示寻找出对应的波段图像后，观察不同波段图像的差异，例如星云结构、亮度和颜色等，并思考引起差异的原因。很重要的一部分是教师根据提供的问题组织学生进行小组讨论。探索问题属于开放性问题，教师引导参与者针对问题进行科学思考，并通过 WWT 提供的图片来源来进行对比讨论，最后由参与者呈现各自的讨论结果。

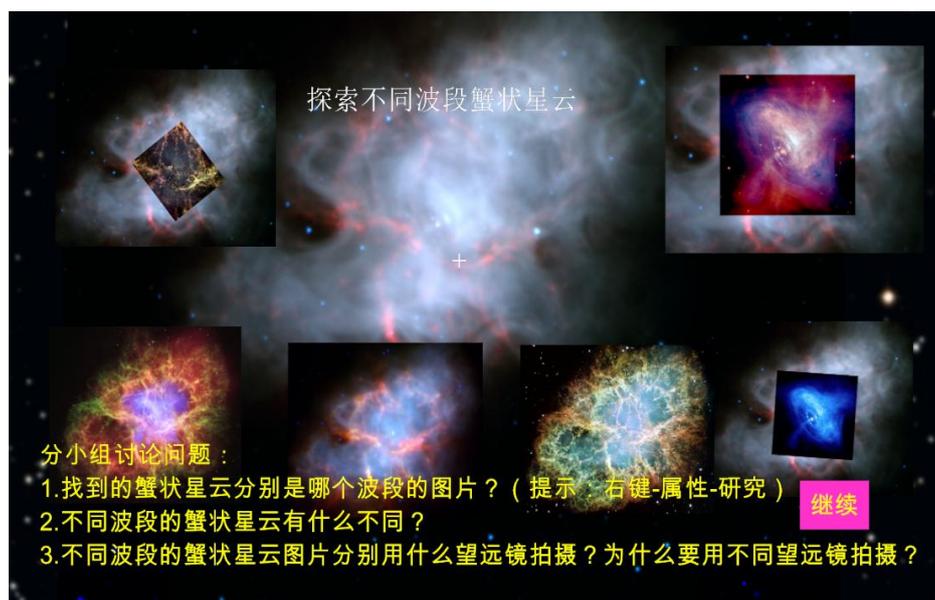


图4-7. 探索不同波段的蟹状星云的差异

4.3 实例 2—三角视差和天体距离测量

三角视差和天体距离测量是中学天文教学的基础知识点，在传统教学中，教师一般会讲授基本原理和公式，列举一些天体的三角视差和距离值，但极少和真正的天体三角视差测量结合。学习者（包括许多教师）并不知道三角视差测量的实际方法，以及它与天体周年运动、天球坐标等基本知识点的关联。

在本实例的设计中，我们重点引入了依巴谷对恒星测量的数据。结合 WWT

来设计探究环节。按循序渐进的原则，我们设计了三个环节。第一个环节是宇宙尺度探索，给予学习者一定的三角视差和天体距离的背景知识。第二个环节是依巴谷卫星实例分析，用于讲授如何从真实数据中得到三角视差。第三个环节是动手探究，提供不同情况下的真实数据，学生动手实践，学习测量三角视差，并分组讨论和展示成果。

4.3.1 宇宙尺度介绍

这一环节借助 WWT 的距离显示来展示宇宙的尺度，从地球出发，到太阳系和银河系，最后显示宇宙爆炸模型，随着尺度的放大，WWT 的距离显示相应的大小。天文上，对尺度的测量有不同的适用单位，有米 (m) 或千米 (km)、日地距离的天文单位 (AU)，光年 (ly) 和秒差距 (pc) 等。随着天文学的发展人类制定了适用范围不同的距离单位。不同单位适用于不同尺度的距离测量，各个单位之间能经过简单的关系相互转换。在漫游展示尺度变化的过程中，漫游会相应的对距离单位进行介绍，并给出转换关系，此时，需要参与者记下转换关系，以方便解答探索过程中的问题。最后是指导参与者利用距离单位换算关系来回答问题，过程涉及简单的数学计算，简单的计算过程能加强用户对天文距离的理解。宇宙尺度在天文教育科普中属于基础知识，熟知天文上使用的距离单位有助于参与者参与探索和研究工作。WWT 的优秀展现能力能给公众直观的视觉感受，在 WWT 中，宇宙尺度的大小将不再单纯地依靠数字和人类的想象力了，用户在 WWT 的动态的画面就能直观地感知宇宙尺度的大小。

具体步骤：

- 1、进入宇宙尺度探索。在 WWT 中打开“WWT 之宇宙尺度”的漫游。地球是人类所熟悉的星球，也是人类对宇宙认识的出发点，漫游进入太阳系指向，首先从地球出发，界面显示地球画面，界面上的数字和单位显示当前目标所在视差中的距离（见图 4-8），参考维基百科地球平均半径约 $6,372.797 \text{ km}^{[41]}$ ，故漫游中

显示地球平均直径 12745.594km (图 4-9)。此时参与者需记下地球直径, 作为探索过程中不同尺度大小的对比依据。

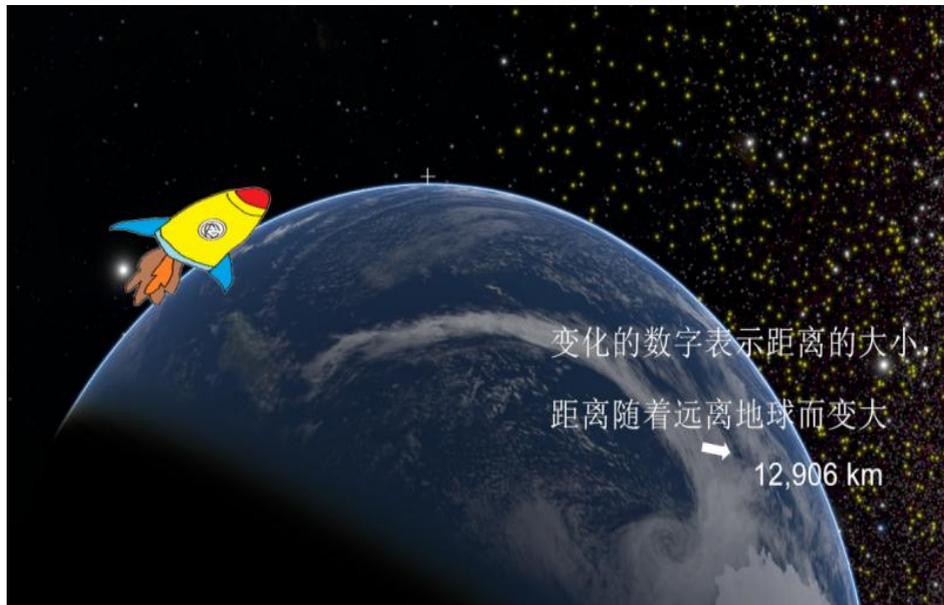


图4-8. 使用 WWT 的距离功能显示距离大小

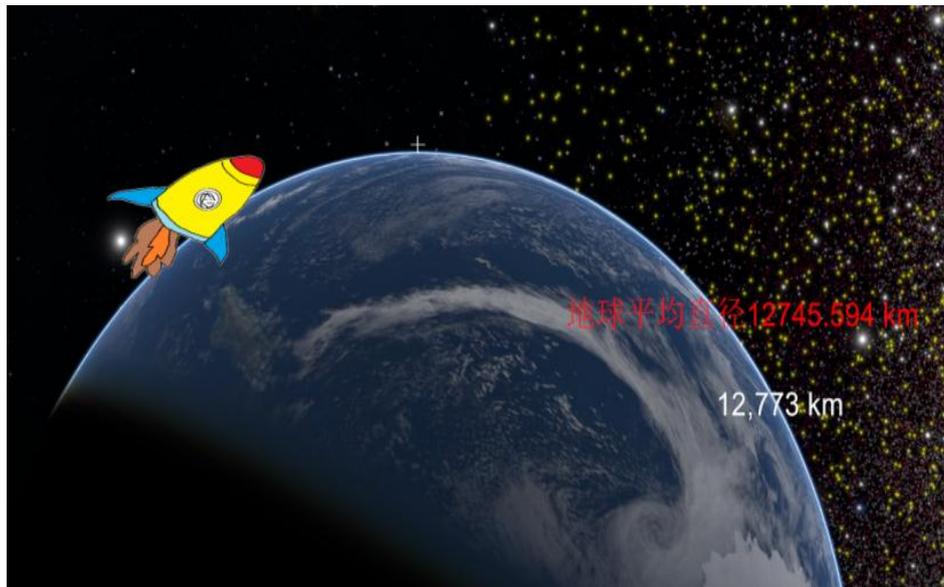


图4-9. 地球平均直径大小

2、天文单位。使用滚动鼠标的放大和缩小画面的功能, 不断地缩小目标, 使得漫游显示更大的视场。此时, 原本显示地球平均直径的数字也随着画面的转换相应地发生变化。缓慢播放时发现数字显示的数值越来越大, 说明 WWT 所呈现

的当前界面的视场在不断扩大。界面离开地球到达月球，显示到月球的距离（如图 4-10, 4-11）。接着画面转换到太阳系，此时显示的单位由千米变成天文单位（AU）。由于太阳系尺度远远大于地球尺度，继续使用 km 作单位将会出现很大的数字，因此天文学家制定以日地平均距离作为一个天文单位^[42]（见图 4-12）。漫游给出天文单位和千米的换算，参与者需记下此时的换算关系。

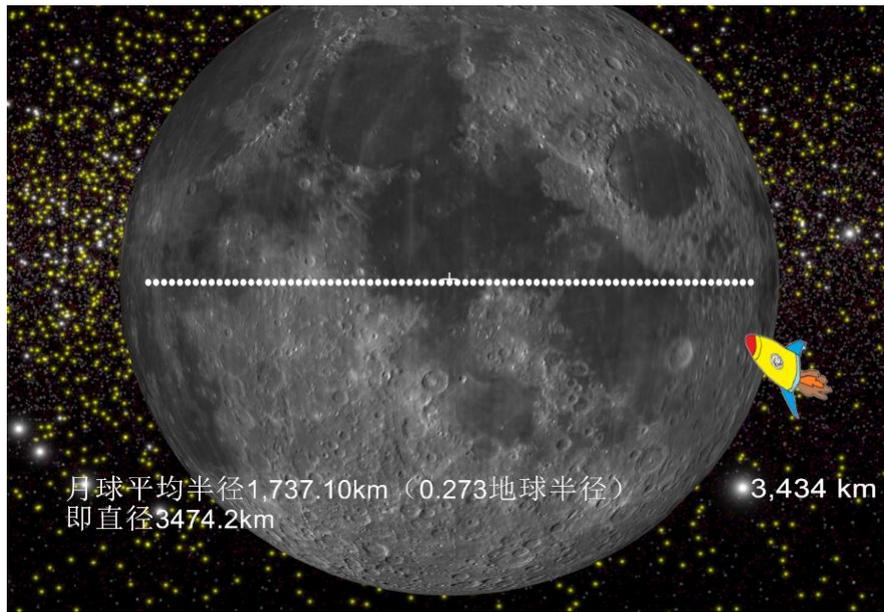


图4-10. 月球半径视图

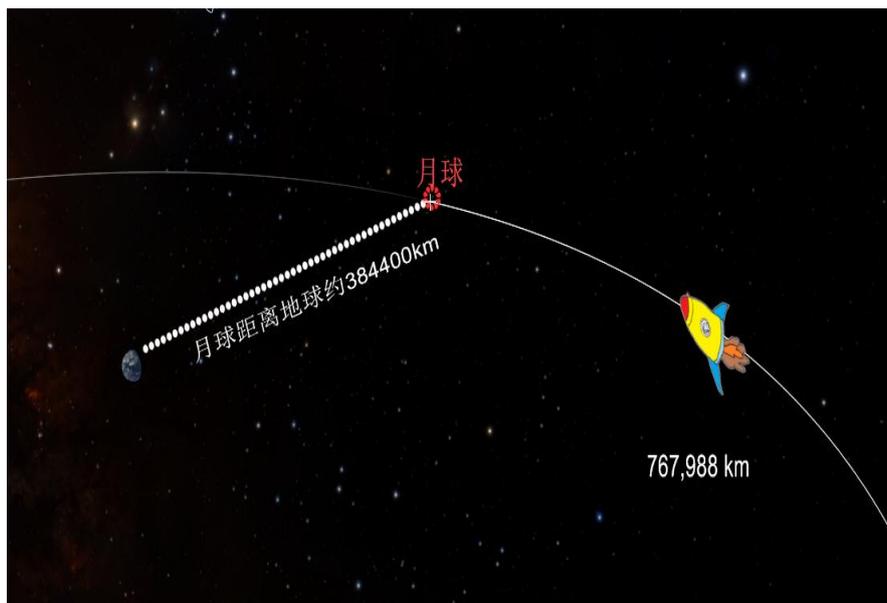


图4-11. 月球与地球的距离

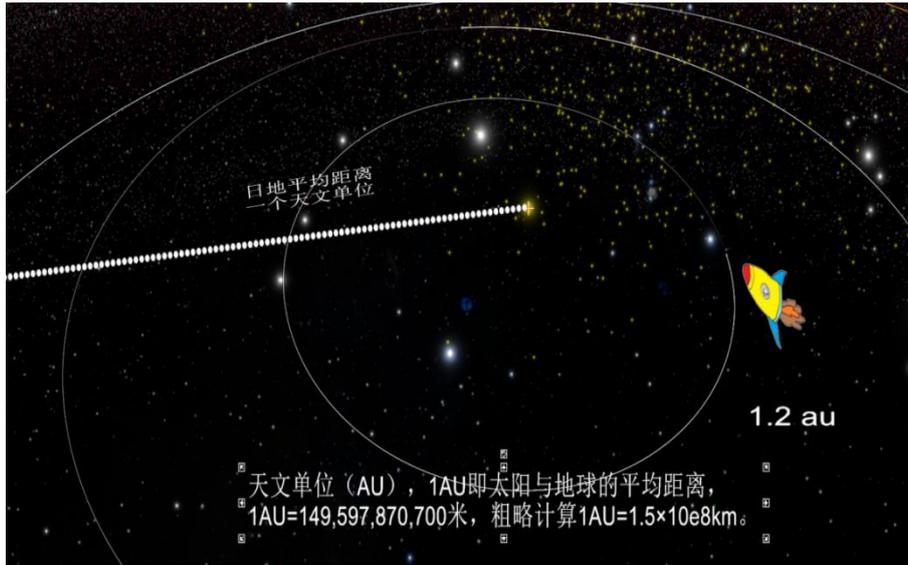


图4-12. 日地平均距离，又称为一个天文单位

3、光年。不断缩小画面，扩大视场，表示距离的数字在不断变大，界面呈现冥王星和海王星与太阳的距离（见图 4-13）。继续扩大视场，看到太阳系外围的星空，观察距离的数字变化，某个节点距离单位由天文单位变成光年（1y）。光年是指光在真空中一年时间内走的距离。此时画面上太阳系变成一个点，而其他类似从地球看到的星星一样的光点是星空的其他天体，包括恒星、星团或星系等。不断缩小画面，看到星空的天体也在移动，好像在离我们远去。最后，我们能看见银河系出现在界面中（见图 4-14）。记下此时显示的尺度大小和单位换算关系。

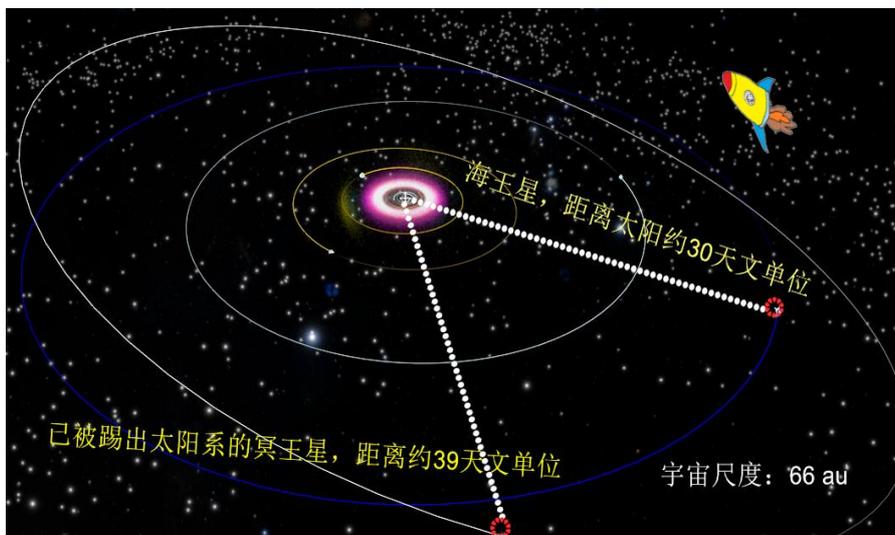


图4-13. 太阳系最远行星的距离

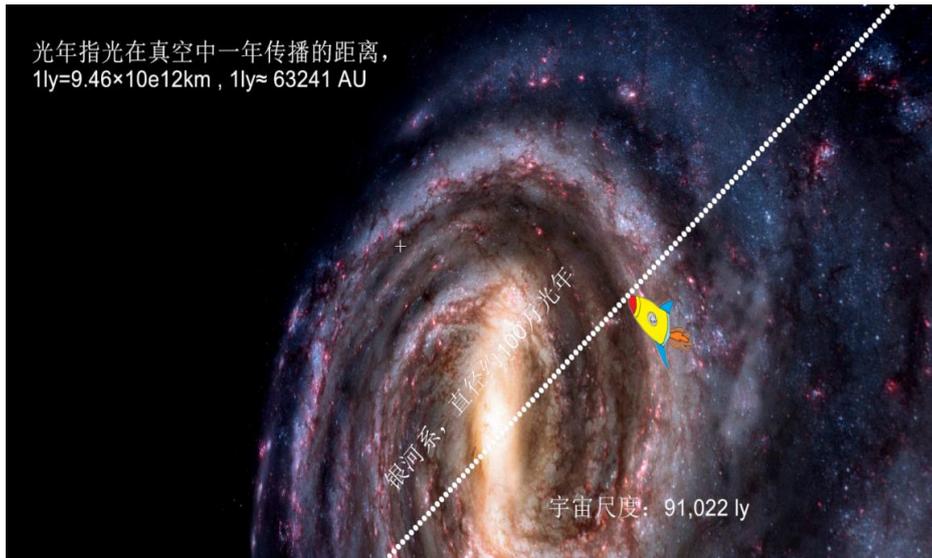


图4-14. 银河系直径视图

4、秒差距。漫游继续放大视场，银河系越变越小，星际间的微小光点随着界面远离参与者。观察显示距离的数字变化，此时画面显示的距离以秒差距做单位，银河系消失在黑暗背景中。秒差距是天文常用的距离单位。记下此时的单位换算关系。最后，看到由看起来像尘埃微粒的微小光点出现在界面中，且看起来像两个锥形连接在一起，这是天文学家提出的宇宙爆炸的模型，宇宙爆炸模型指宇宙起源于一点，爆炸之后从一点向后膨胀^[43]（见图 4-15）。此时的距离单位是兆秒差距。

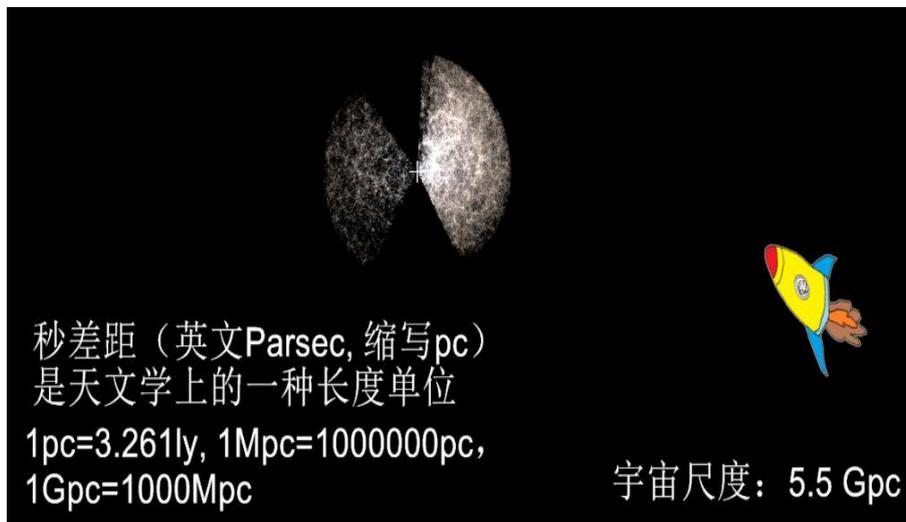


图4-15. 宇宙大爆炸模型

5、单位换算探究。观看宇宙尺度漫游之后，参与者对天文中使用的距离单位有基础的了解，在此基础上，利用观看过程记录的单位换算关系进行换算关系的探究。换算涉及简单的数学计算，难度属于较简单程度，旨在帮助参与者加深对几个常用天文距离单位的理解。参与者根据下表的换算关系，思考 137 亿光年与各个单位的换算关系，并根据表格完成下表中问号处的内容，将漫游的单位与数值正确连线（见表 4-1 和图 4-16）。

表4-1. 单位换算

以千米为标尺 (数量级)	单位	数值与单位换算	尺度内代表
10^4	千米	10000km	地球平均直径 12745.594 km
10^8	一个天文单位	1AU= 1.5×10^8 km	日地平均距离，一个天文单位
10^{12}	光年	1 光年 = 9.46×10^{12} km	银河系直径约 100 万光年
10^{19}	秒差距	1pc=3.2611y 1kpc=1000pc	大麦哲伦星系，距离我们 52kpc
?	?	?	可观测宇宙

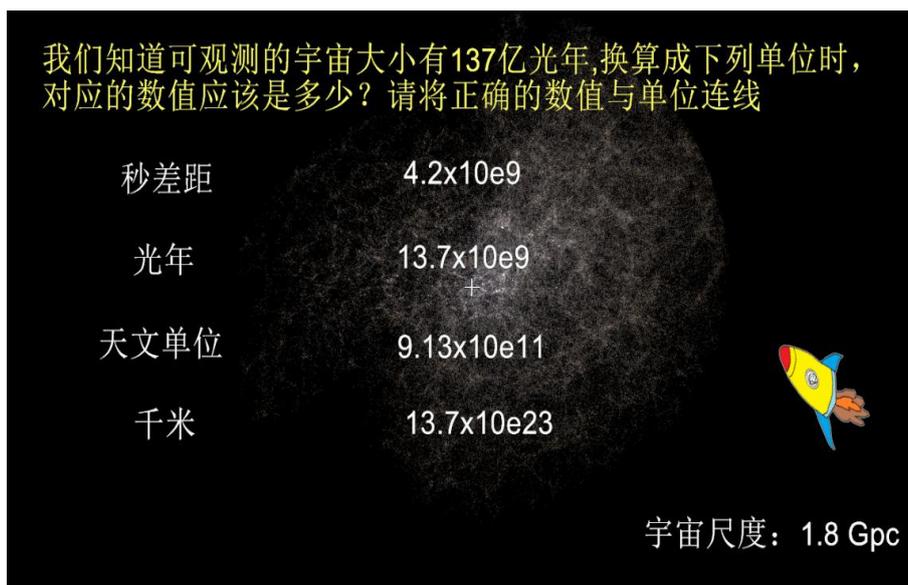


图4-16. 可观测宇宙大小

4.3.2 三角视差测量实例分析

三角视差方法是直接测量近距离天体的方法,适用范围约在千秒差距之内。三角视差测量是精确测量的基础,是在日地距离和天体上构建三角形以测定该天体的距离。因此测定天体距离之前得到该天体的视差,常用的是周年视差,指利用地球绕太阳公转,测定相隔半年的天体的视差,周年视差的基线是日地平均距离^[44]。理论上只需经过半年对同一天体进行测量得到视差,而实际观测中,天体在背景星空上的轨迹却不是均匀对称的,甚至可能会是看似直线的来回运动轨迹,原因是实际观测受到视差和自行的影响,且部分天体的视线方向与黄道之间存在一定的夹角。恒星随时间的变化其相对太阳系质心的位置发生变化,从而造成观测上的轨迹变化,在天文上称其为自行,自行是垂直于视线方向的运动。依巴谷卫星 1989 年升空对天体进行测量,1993 年发表了依巴谷星表和第谷星表。依巴谷星表列出了 118218 颗恒星的位置、视差和自行的数据^[45]。从依巴谷数据库可以查询和下载恒星位置、视差和自行等数据,得到恒星视差数据,运用三角视差方法便可测得该恒星的距离。

本环节，我们利用依巴谷的恒星视差和自行数据来探究三角视差。理论上，由三角视差能得到天体的距离，而实际观测中我们看到的多数是不对称和非均匀分布的轨迹，那么天文学家是如何利用实际观测轨迹和数据来测定天体的距离呢？三角视差活动设计将取依巴谷数据库中的恒星轨迹图来探索三角视差测距。活动先介绍三角视差概念以及测量天体距离的理论知识，列举几个具有代表性的依巴谷数据库中的恒星轨迹图，向参与者展示受到视差和自行影响的恒星的实际观测轨迹，进一步地，引导参与者利用三角视差知识和轨迹图进行天体距离测量的探究。最后，设计开放性思考，提供依巴谷数据库链接进行深入的探究。这样既达到了一般公众的科学探究目的，又能为有深究兴趣的公众提供继续探索的平台。

具体步骤：

1. 三角视差概念。三角视差是天体距离测量的基础方法。从不同位置分别看同一物体会导致物体在背景中的位置发生变化，称为视差。类似我们分别用左眼和右眼看同一物体，会发现物体在背景中的位置有微小的变化。实践活动首先以漫游的形式向参与者说明三角视差的理论知识。漫游将三角视差与人眼观测进行类比（见 4-17 和图 4-18），模拟分别用左右眼看同一物体的位置变化情况，帮助理解三角视差原理，再推广到从地球角度测量天体的三角视差方法（见图 4-19）。将三角视差运用到天体距离的测量中，以地球、太阳和天体构成的三角形为基础，日地平均距离为基线，阐述三角视差测量天体距离的方法，得到三角测距的公式（见图 4-20）。

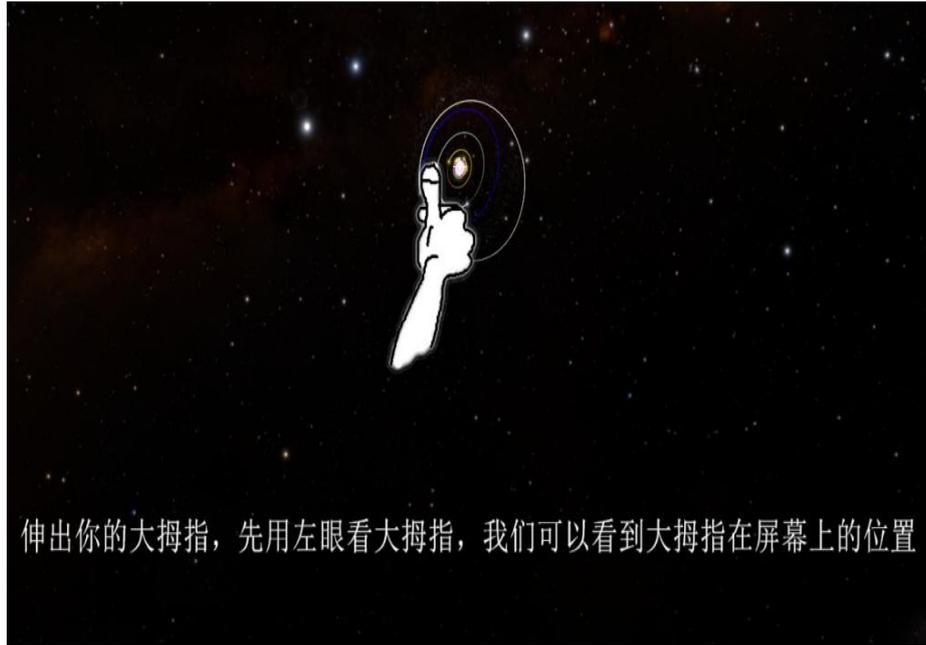


图4-17. 从左眼看同一天体在背景中的位置

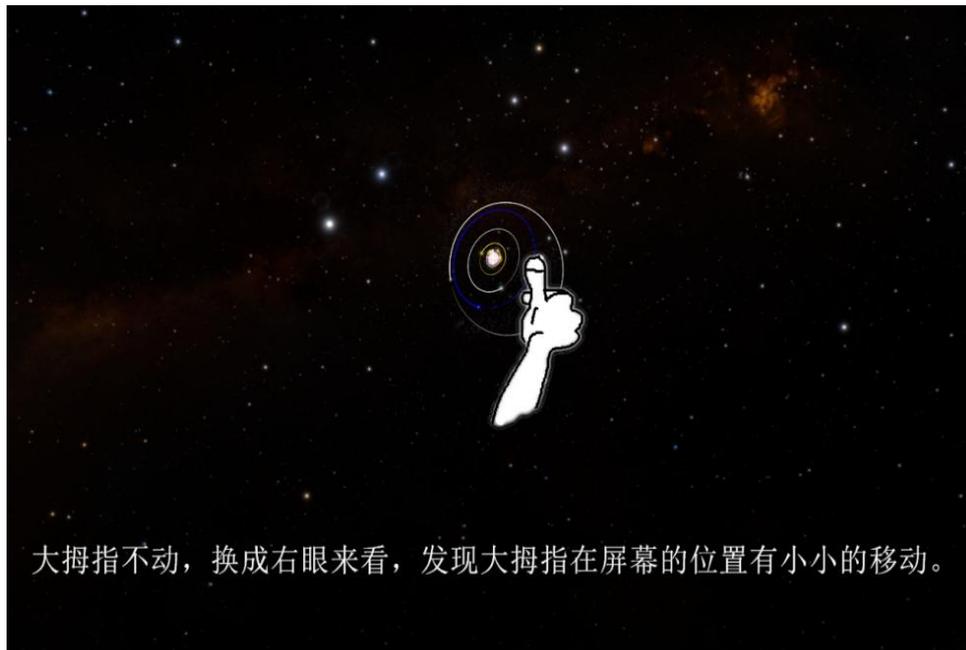


图4-18. 从右眼看同一天体在背景中的位置

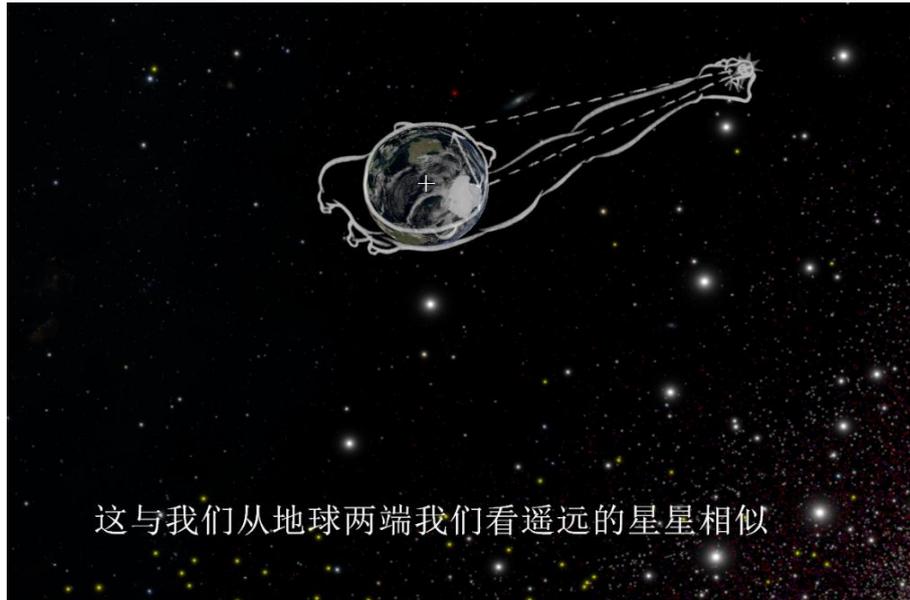


图4-19. 从人眼视差推广至地球的视差

为方便显示这里比例不是实际比例

$$d = \frac{a}{\sin p} \text{ 近似 } \sin p \simeq p$$

1弧度=206265"

$$d = \frac{206265}{p''} \text{ AU}$$

$$d = \frac{1}{p''} \text{ pc}$$

p 也称为周年视差

pc: 秒差距; 1 pc = 206265 AU

测出周年视差即能得到天体距离

图4-20. 三角视差公式

2. 三角视差测距。阐述三角视差之后，介绍天文上使用三角视差测量天体距离的方法，常用的方法是周年视差，即通过相隔半年在相同位置对同一天体进行观测，得到天体的视差。在地球上同一个地方对同一个天体观测，由于地球绕太阳公转运动，半年后，地球绕行到轨道的另一边，得到两点与天体的连线角度为两倍视差。将三角视差扩至以地球公转为基础的周年视差，公转轨道上两次测量点与天体构成夹角为该天体视差的两倍（见图 4-21 和图 4-22）。

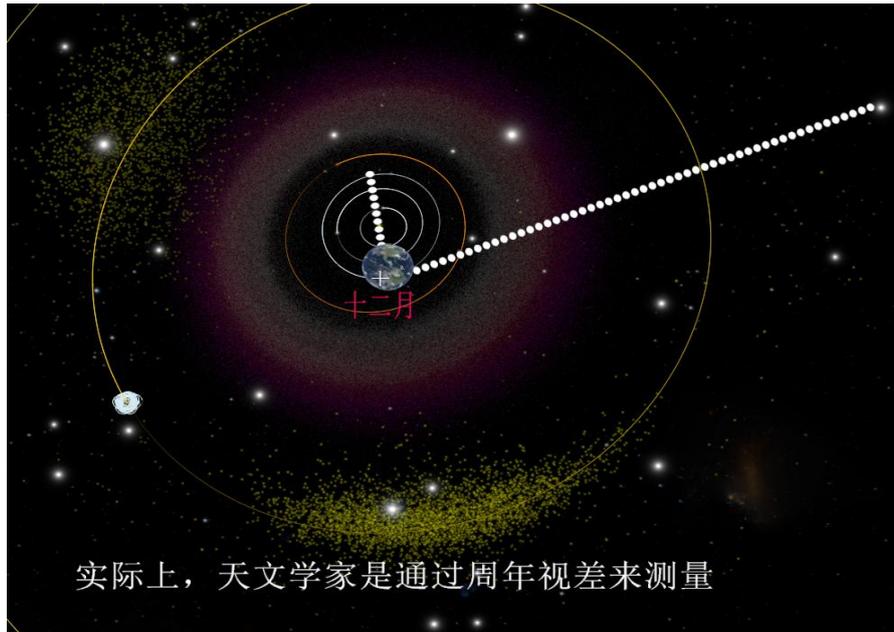


图4-21. 周年视差测距. 十二月对天体观测，得到天体在背景中的位置

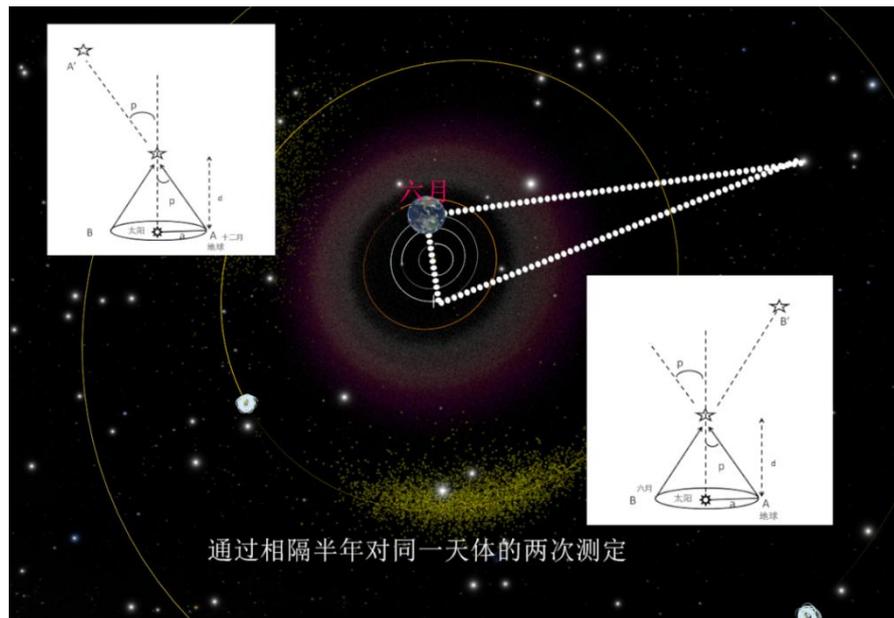


图4-22. 周年视差测距. 经过半年对同一天体进行测量，得到天体相隔半年的视差

3. 实际观测情况。经过一周年对同一天体进行观测得到天体的轨迹。理论上，在黄极方向上的天体的一年内的轨迹是一个圆，非黄极位置的天体一年内的轨迹应该是椭圆，在黄道面上的天体一年内的轨迹则看起来像一条直线（见图4-23）。在实际观测中，由于受到天体实际运动和地球公转运动的影响，得到的

天体的周年轨迹往往不是标准的圆、椭圆和直线，不过在下面的实例讲解中，这些细节的因素将被忽略，以求简明。图 4-24 呈现依巴谷数据库中取得的个别恒星的轨迹图，以便与理论轨迹作对比。

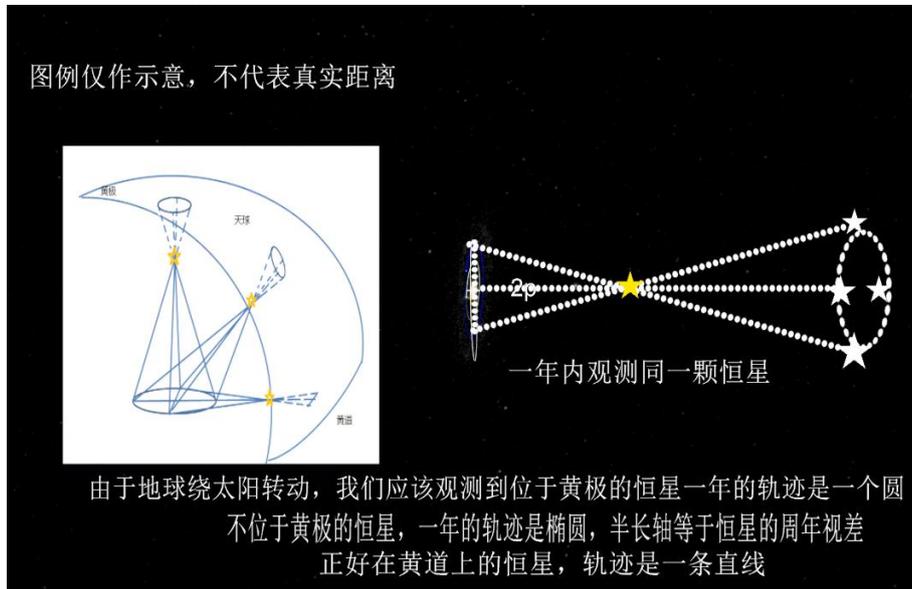


图4-23. 不同方向上连续一年对同一天体观测得到不同形状的轨迹

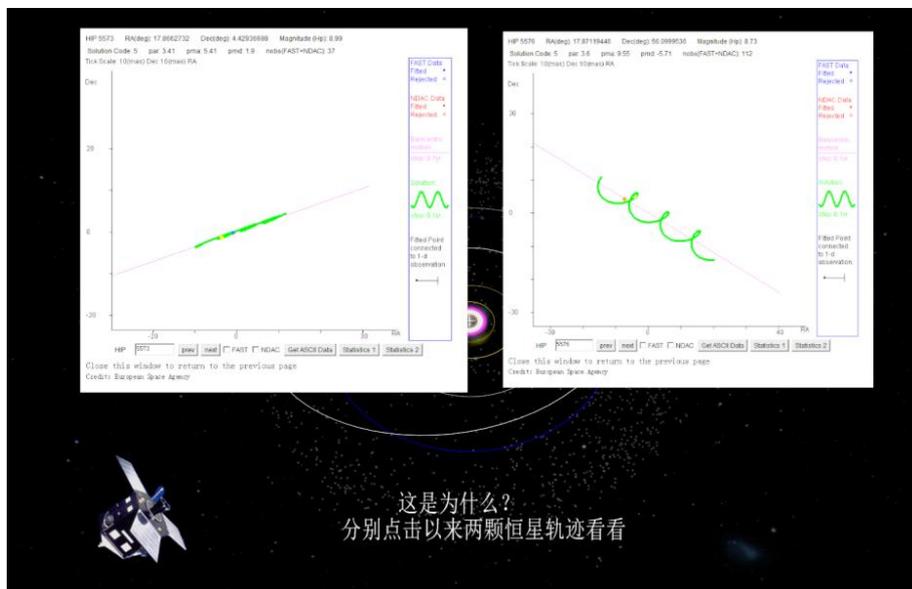


图4-24. 依巴谷卫星个别恒星观测数据

4. 解释实际观测的轨迹。理论上的观测应该得到的是圆、椭圆和直线，而依巴谷观测数据告诉我们实际观测得到的结果不是这样的。那究竟是什么导致了

观测结果与理论的不一样？这正是需要参与者思考的地方。主要的因素是视差和自行。故活动分两种因素来探讨两个因素对天体在天球上轨迹的影响，参与者选择不同的轨迹将分别进入不同的因素探究界面。视差的影响会导致原本标准对称的轨迹形状变得不对称。在不考虑视差的影响，看到的黄极附近的天体的轨迹是对称的螺旋线（见图 4-25），自行是恒星在垂直视线方向上的运动，是恒星相对太阳质心的运动，因此会造成恒星轨迹的运动，使得原本是圆或椭圆的轨迹变成螺旋线（见图 4-26），而直线变成在看似直线的范围内来回运动（见图 4-27）。参与者分别探讨视差和自行对天体轨迹的影响，加深视差和自行的理解，认识实际观测轨迹。

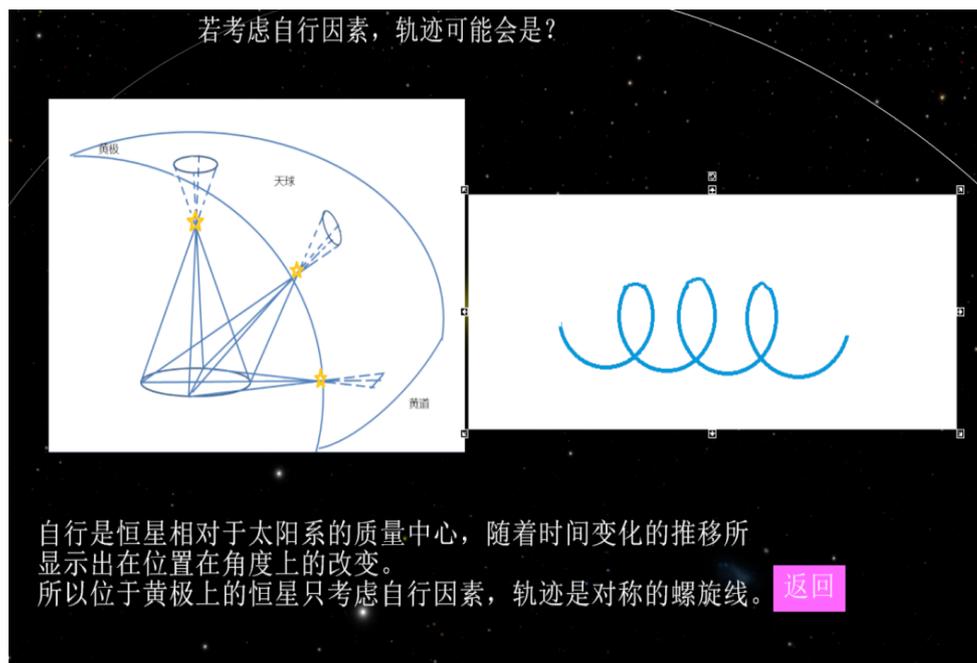


图4-25. 天体的自行运动使得观测轨迹变成螺旋线

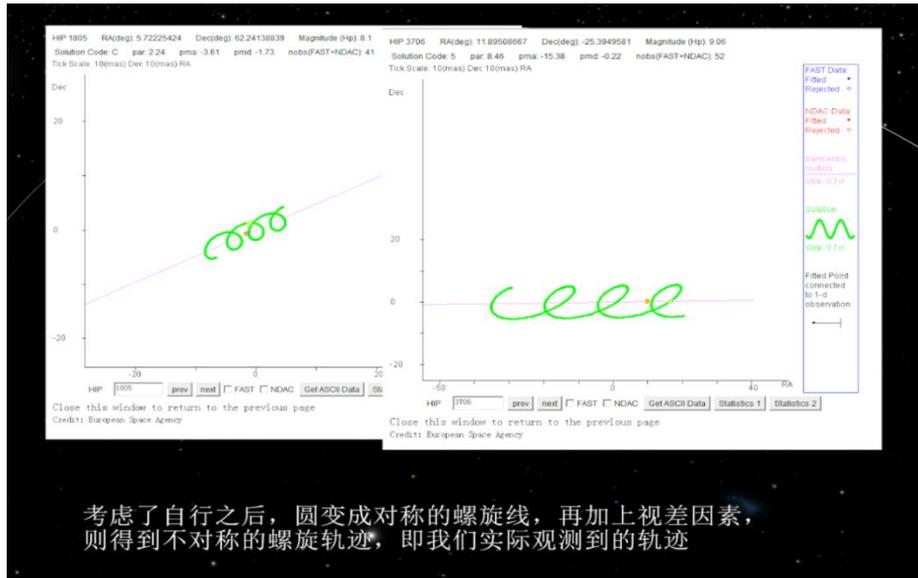


图4-26. 依巴谷卫星对某天体的观测，视差和自行的共同作用使得天体的观测轨迹变成非对称的螺旋线

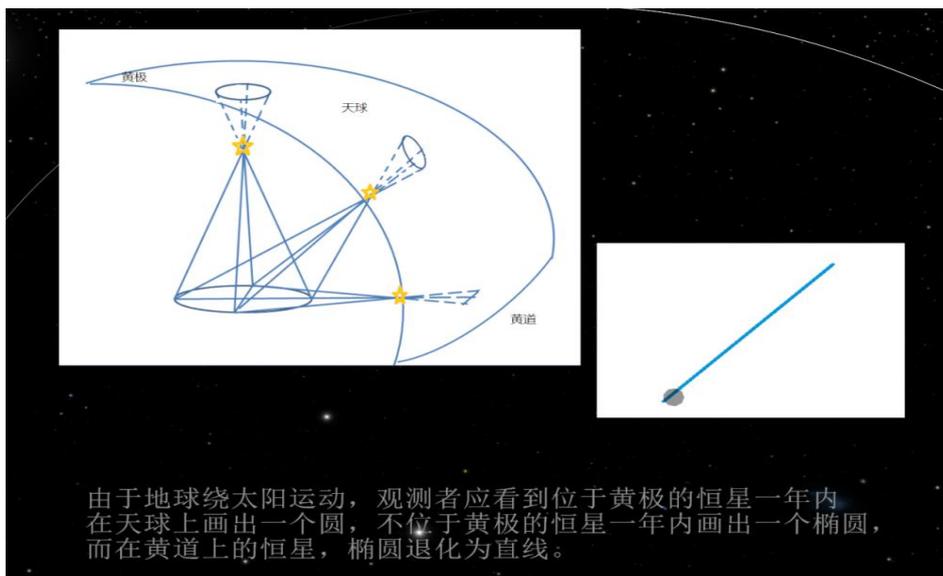


图4-27. 看似直线的轨迹，由于视差和自行造成黄道附近的恒星的观测轨迹在近似直线的轨迹内来回运动

4.3.3 探究环节

指导学生分组进行探究活动，使用依巴谷数据库来获取恒星的视差，并推算

其距离。轨迹图的横坐标和纵坐标分别是 RA 和 DEC，即天球坐标系的赤经和赤纬。指导参与者对轨迹进行测量，得到该恒星的视差。最后，参与者查找三角视差公式，计算得到该天体的距离（见图 4-28）。将得到的结果与依巴谷数据给出的天体距离进行对比，看看是否相符，范例如图 4-29 至 4-31。

1838年贝塞尔确定天鹅座61的视差为0.314 arcseconds,
实践:

1、使用右侧的依巴谷恒星列表链接,找到天鹅座61的视差?
(天鹅座61在依巴谷列表中序号为104214)

+

2、计算出天鹅座61的距离。

使用依巴谷恒星列表
找到天鹅座61的视差

图4-28. 计算天鹅座 61 距离的探索, 提供依巴谷数据库链接

范例

1、从依巴谷数据库获取天鹅座61的视差

2、pma和pmd分别表示天体在赤经和赤纬上的自行分量,故可求得该天体的自行 $a=5280.7\text{mas}$,再求得经过半年,天体的实际位移即AC约为 3210.14mas ,

+

由 $AC=2r+a/2$,可得出 r ,约为 284.9 ,与 R 比较,可得半长轴为 $r=284.9\text{mas}$,即视差 $p=r=284.9\text{mas}$

由 $d=1/p$ 可得到天体距离 d ,约等于 3.5pc ,再检验计算结果。

天鹅座61参考资料

HIP 104214 RA(J2000) 316.7191205 DEC(J2000) 52.7443688 Magnitude(J) 11.54
Position Angle 5 Jul 2007 15 pm 4:05:1 pm 3:20:3 pm 10:47:47(DEC) 34
100 km 1000mas Dec 1000mas RA

Close this window to return to the previous page
Contact: Support@Open-Mip.com

棕色点表示天鹅座61的自行
绿色线表示天鹅座61的实际观测轨迹

图4-29. 从依巴谷数据库获取天鹅座 61 的观测轨迹

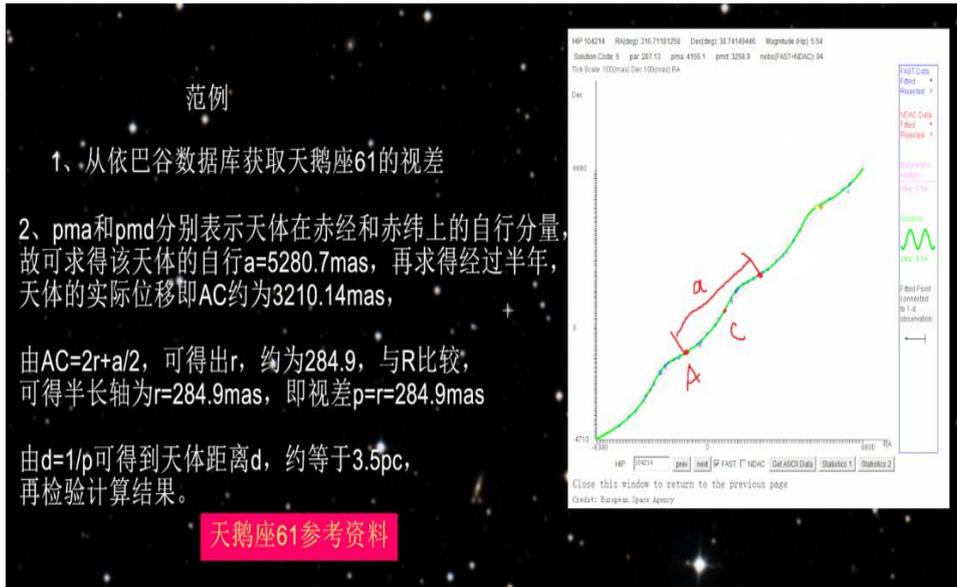


图4-30. 对轨迹图测量得到天鹅座 61 视差值

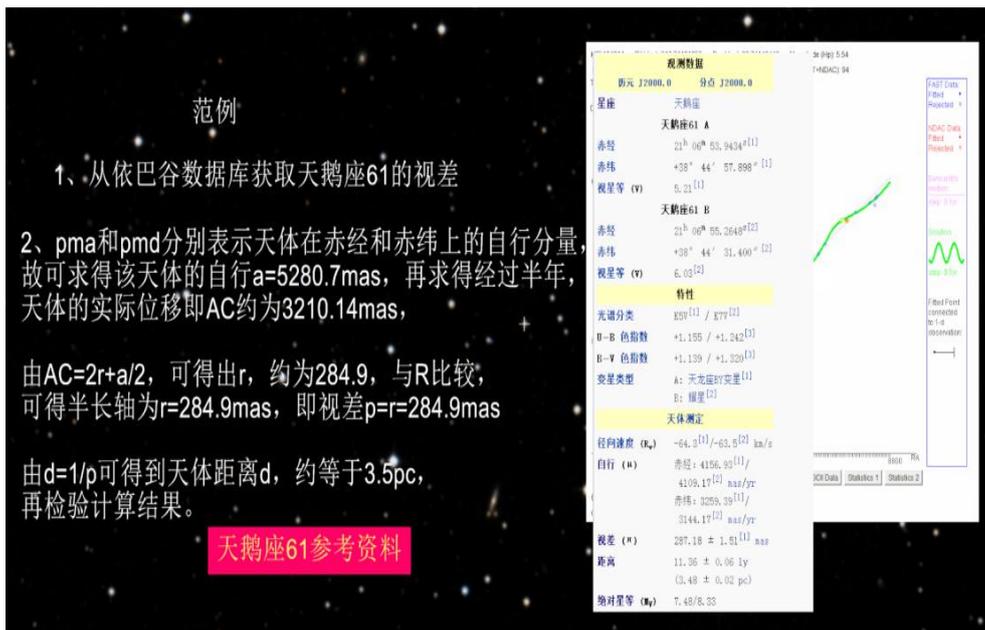


图4-31. 由视差计算天鹅座 61 的距离，将计算结果与参考资料进行对比

针对各组研究过程中出现的问题，教师组织讨论。为了满足有更高需求的学生，我们也提供依巴谷数据库链接为课后学生进一步的研究提供参考。

4.4 本章小结

本章详细描述了基于 WWT 而设计的两个天文探究性学习活动。活动的宗旨是为青少年提供参与和体验科学研究过程的平台。两个探究性学习活动的设计分别能帮助初学者了解 WWT 的功能、直观地了解宇宙尺度和理解三角视差的实际应用。探究性学习活动在 WWT 上进行，两个活动均做成互动式的漫游，即使没有教师或工作人员的辅导，参与者也能根据漫游的文字提示来完成探索。WWT 的优秀展示能力为参与者提供了优良的视觉感受，探究性学习活动的互动操作，将枯燥的数据和科研过程转而变得有趣起来。参与者在学到知识的同时，相信也对所学知识有更深刻的理解，也有利于提高参与者的科学素养和探究能力等。

两个探究性学习活动均设计了动手操作的环节，结合了知识的介绍和讲解，指导学生对内容和问题进行探讨。探索的过程设计了必要问题引导青少年进行思考，如蟹状星云探索中设计了不同波段蟹状星云的差异思考，三角视差和天体距离测量则设计了实际观测轨迹的三角视差和天体距离测量的思考。设计的探究性学习活动为学生提供了必要的资源和工具，如辅助公式和数据库链接。探索过程还提供必要的文字提示，类似使用手册，指导学生个体或小组完成探索活动。学生参与探究性学习活动过程中，不再被动地接受知识，而是能对问题思考，进而利用资源解决问题，体验动手实践和科学研究的乐趣。

第五章总结与应用前景

天文数据的开放需求以及 WWT 这类拥有数据可视化功能的软件的诞生,带来了天文教育发展的新趋势。目前,国内尤其缺乏基于 WWT 的系统性的青少年天文探究性学习资源,需要专业天文人士的参与。

本论文基于中小学天文教育发展新趋势以及 WWT 的探究性优势,重点阐述了 WWT 的外源天文数据可视化实例以及结合天文数据研究问题的交互性的探究性学习节目的设计。前者,我们选择脉冲星数据作为实例,详细地阐述了脉冲星空间分布的分层可视化的方法,并探讨了基于可视化结果如何设计相应的探究性学习内容。以此作为利用外源天文数据可视化进行探究性学习节目设计的一般性例子。后者是更进一步的探索,我们以蟹状星云探索、天体三角视差和天体距离测量为实例,阐述了基于 WWT 的可视化资源如何配合探究性学习教学中的背景知识呈现、设问、分组探究、讨论与结论等环节,设计交互性的探究性学习教学资源。蟹状星云探索设计了利用 WWT 的内置数据进行多波段图像的差异探究。三角视差与天体距离测量的教学设计中引入了依巴谷天体测量卫星真实的数据,与 WWT 可视化技术结合,引导青少年对真实观测数据进行三角视差和天体距离测量,使学习者能够了解真正的天文观测中是如何测定天体的三角视差和距离的,将目前中学天文教学中被孤立的三角视差、天体周年运动和天球坐标系等知识点有机的结合起来。本论文的外源数据可视化和基于 WWT 的探究性学习教学资源的设计为后续天文探究性资源开发提供了有价值的参考。

我们希望本文及未来开发的探究性学习资源在中小学天文教学中得到应用。另外,我们也将积极推进这些资源在科技馆及专门的 WWT 天象馆中的应用,来支撑科技场馆开展中小学的课外探究性活动。在问卷调查及其他场合与中学教师的交流中,可以看出有一些对 WWT 有所了解的教师非常希望在他们的教学中使用 WWT 节目。WWT 的开放性为 WWT 的使用提供了巨大的便利,因此任何教师都能利

用 WWT 探究性活动的资源来开展天文课堂或课外探究活动。国内已有两所改建成的 WWT 天象厅，广东省中学也有意筹建 WWT 天象厅，这些都给了我们信心。我们相信在国内多方力量的努力下，基于 WWT 及其他信息技术的天文探究性教育一定会在不远的将来得到推广。

参考文献

- [1]陆璟. 探究性学习. 上海教育科研. 2004,
http://www.pep.com.cn/xgjy/xlyj/xskj/fzyjy/201008/t20100827_798082.htm
- [2] 本刊记者. 走进“星系动物园”里的天文学家. 天文爱好者, 2012, 9: 24-27
- [3] Miller, Andy; Jenet, F. A.; Rodriguez-Zermeno, A.; Stovall, K.The Arecibo Remote Command Center: Students Doing Science. AAS Meeting #215, #467.08. 1. 2010. Vol.42
- [4] M.T. Fitzgerald, R. Hollow, L. M. Rebull, L. Danaiaand D.H. McKinnon.A Review of High School Level Astronomy StudentResearch Projects over the last two decades. arXiv:1407.6586v1.
- [5]Danaia, L.Students’ experiences, perceptions andperformance in junior secondary school science: An intervention study involving astronomy and a remote telescope.PhD Thesis.Charles Sturt University. 2006
- [6] Lewis, F., Roche, P.The Faulkes Telescope Project: Not Just Pretty Pictures. 2009, arXiv:0902.4809
- [7] TheHands-On Universe (HOU) project. <http://handsonuniverse.org/about/>, 2015
- [8]北京 101 中学远程动手教学天文台.
<http://www.chinahou.net/edu/ShowArticle.asp?ArticleID=508>, 2015
- [9] Miller, J.P., Davis, J.W., Holmes, R.E., Devore, H., Raab,H., Pennypacker, C.R., White, G.L., Gould, A., An International Asteroid Search Campaign. Astronomy Education Review, 2008,7(1): 57-83
- [10] Gould, R., Sunbury, S., Krumhansl, R. Using Online Telescopes to Explore Exoplanets from the Physics Classroom. American Journal of Physics, 2012, 80: 445-451
- [11] Rosen, R., Heatherly, S., McLaughlin, M.A., Lynch, R.,Kondratiev, V.I., Boyles, J.R., Wilson, M., Lorimer, D.R.,Ransom, S.The Pulsar Search Collaboratory.Astronomy Education Review, 2010, 9(1): 13
- [12] G. Hobbs, R. Hollow, D. Champion,et. The PULSE@Parkes project: A new observing technique for long-term pulsar monitoring. PASA, 2009, 26(4): 468-475

- [13]邓璐兵. 天文软件在中学天文教学中的应用研究. 硕士论文. 广州大学. 17. 2013
- [14] 刘高潮. 虚拟天文台天文教育平台研究. 硕士论文. 华中师范大学. 2005
- [15] 刘高潮, 乔翠兰, 赵永恒, 郑小平. 虚拟天文台与天文教育. 第六届海峡两岸天文推广教育研讨会论文集. 福州. 中国. 2004: 55-58
- [16] 乔翠兰, 吴娟, 刘高潮, 邓小平. 虚拟天文台和科学教育. 天文研究与技术-国家天文台台刊, 2004, 1(3): 229-233
- [17] 赵永恒, 崔辰. 从虚拟天文台到天文信息学. 科研信息化技术与运用, 2011, 2(3): 3-12
- [18] 崔辰州. 天文学的 GS-WWT 时代. 天文爱好者, 2008, 7: 63-67
- [19]Fatland, D. R.; Rush, K.; van Ingen, C.; Wong, C.; Fay, J.; Xu, Y.; Fay, D. Worldwide Telescope as an earth and planetary science educational platform, American Geophysical Union, Fall Meeting, 2009
- [20] 赵明胜, 天文望远镜软件 WorldWide Telescope 在《行星地球》一章中的应用, 中学地理教学参考, 2013, 9
- [21] Alyssa Goodman, Jonathan Fay, August Muench, Alberto Pepe, Patricia Udomprasert, and Curtis Wong. WorldWide Telescope in Research and Education. ASP Conference Series. Paris. France. 2012, Vol.461
- [22]CuilanQiao,Chenzhou Cui, Xiaoping Zheng, Yan Xu. Science Data Based Astronomy Education. ICETC, 2010, 3: 519-523
- [23] 王宗月, 李广强, 王平岗. WWT 在天文教育中的应用. 文化教育, 2011, 201: 5-6
- [24]CuilanQiao,Chenzhou Cui, Xiaoping Zheng, Yan Xu. The Revolution in Astronomy Curriculum Introduced by Worldwide Telescope. 5th International Technology, Education and Development Conference. Valencia. Spain. 2011: 128-136
- [25] WWT Tours by 6th Graders.
http://wwtstories.org/WWTA_Tours/wwta-tours.html
- [26] Science Education Researc.
<http://wwtambassadors.org/science-education-research>
- [27] Patricia S. Udomprasert, Alyssa A. Goodman, and Curtis Wong. WWT Ambassadors: Worldwide Telescope for Interactive Learning. ASP Conference Series,

2012, Vol. 457

[28] WWT on "Fetch! with Ruff Ruffman". <http://wwtstories.org/Fetch/fetch.html>

[29] Adler After Dark. <http://wwtstories.org/AdlerAfterDark/adlerafterdark.html>

[30] Astronomy 101 Professors. <http://wwtambassadors.org/astronomy-101>

[31] WWT in an Astronomy Course.

<http://wwtstories.org/ColumbiaCollege/columbiacollege.html>

[32] 万昊宜, 乔翠兰, 齐锐, 徐艳, 崔辰州, 景霓. 万维望远镜在中国.

<http://wwt.china-vo.org/resources/WWTInChina-V20150125.pdf>

[33] WWT 天文教学实践课.

<http://msra.cn/zh-cn/connections/course/wwt/wwt-astronomy-practical-course.aspx>

[34] 乔翠兰, 崔辰州, 郑小平, 王琴, 徐艳. 基于真实数据的天文教学实践探索.

大学物理, 2013, 32(6): 48-51

[35] Thibault Damour. The discovery of the first binary pulsar. Institut des Hautes Etudes Scientifiques, 1974: arXiv:1411.3930v2

[36] 朱慈盛, 天文学教程下册. 第二版. 北京: 高等教育出版社, 2003. 97-108

[37] M, L, 库特纳等著, 萧耐园, 胡方浩译. 天文学物理新视野. 湖南: 湖南科学技术出版社, 2005, 186-193

[38] T. Regimbau, J.A. de Freitas Pacheco. Gravitation Wave Emission from Radio Pulsar Revisited. Astronomy and Astrophysics, 2000, 359: 242-250.

[39] ATNF Pulsar Catalogue.

http://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/psrcat/psrcat_help.html?type=normal&highlight=rm#rm

[40] 李森, 于泽元. 对探究教学几个理论问题的认识. 教育研究, 2002, 第 2 期: 83-88

[41] 地球. 维基百科. <http://zh.wikipedia.org/wiki/地球>

[42] 天文单位. 维基百科. <http://zh.wikipedia.org/wiki/天文單位>

[43] Feuerbacher, B. Evidence for the Big Bang. TalkOrigins. 25 January 2006.

[44] 朱慈盛. 天文学教程下册. 第二版. 北京: 高等教育出版社, 2003, 3-5

[45] Erik Høg. Astrometry during the past 2000 years. ARXIV, 2011. arXiv:1104.4554v2.

附录广东省中学天文教育现状调查结果

本次调查从 2013-3-26 开始，到 2013-6-17 结束，采用网络调查问卷的形式，共收到 41 份有效调查问卷（原始数据来源：<http://www.sojump.com/report/2247032.aspx?qc=>），利用网络的统计功能，得到的调查结果如下：

1、在天文教学中，您是否会结合专门的天文设备(如望远镜、数码相机)进行教学？

选项	小计	比例
A 是	35	85.37%
B 否	6	14.63%

2、在天文活动中，您使用过以下何种辅助设备？[多选题]

选项	小计	比例
A 黑板	29	70.73%
B 幻灯片、投影仪	35	85.37%
C 模型、挂图	25	60.98%
D 天文视频	35	85.37%
E 天文软件	28	68.29%
F 其他	5	12.2%

3、在天文活动中，您使用过以下何种软件进行教学？[多选题]

选项	小计	比例
A Stellarium	25	60.98%
B WorldWide Telescope	7	17.07%
C Google Sky	21	51.22%

D Starrynight	9	21.95%
E 其他	5	12.2%

4、 贵校可用于天文教育中的基础设备有? (如果有, 请在对应括号内填上数量)[多选题]

选项	小计	比例
A 天象馆(____个)	12	29.27%
B 望远镜 (____台)	29	70.73%
C CCD (____台)	4	9.76%
D 数码相机 (____台)	17	41.46%
E 其他	8	19.51%

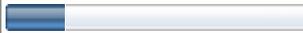
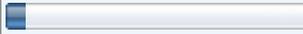
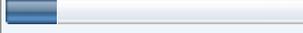
5、 如果贵校有望远镜, 请填一下如下资料:(1)是否带有自动跟踪?

选项	小计	比例
A 是(____台)	18	43.9%
B 否	8	19.51%
C 不确定	3	7.32%
(跳过)	12	29.27%

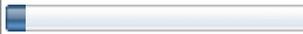
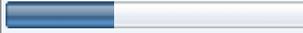
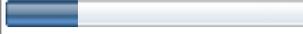
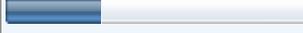
6、 贵校在教学中使用天文教材的情况是?

选项	小计	比例
A 无专门的天文教材、讲义	11	26.83%
B 选用已出版的天文教科书	14	34.15%
C 使用自编天文讲义	15	36.59%
D 其他	1	2.44%

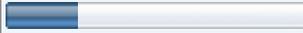
7、 贵校向师生开放的天文书籍、杂志共有几种？

选项	小计	比例
A >10 种	8	 19.51%
B 5-10 种	3	 7.32%
C 1-5 种	23	 56.1%
D 无	7	 17.07%

8、 贵校开展天文活动的频率是？

选项	小计	比例
A 一周两次	3	 7.32%
B 一周一次	15	 36.59%
C 两周一次	10	 24.39%
D 其他	13	 31.71%

9、 贵校是否组织过天文观测(如观星、观月等)活动？

选项	小计	比例
A 是	31	 75.61%
B 否	10	 24.39%

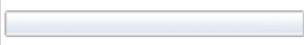
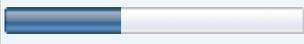
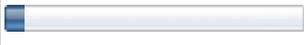
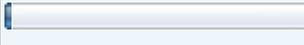
10、 贵校是否有专门的天文教学活动地点？

选项	小计	比例
A 有	21	 51.22%
B 没有	20	 48.78%

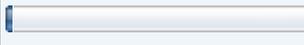
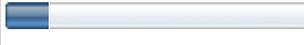
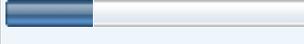
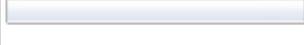
11、 贵校是否组织过相关的天文讲座活动？

选项	小计	比例
A 有	20	 48.78%
B 没有	21	 51.22%

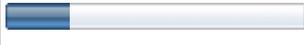
12、 天文讲座活动的主题内容是：

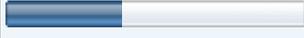
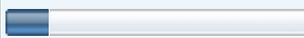
选项	小计	比例
A 天文研究前沿	0	 0%
B 天文基础知识	16	 39.02%
C 观测方法	3	 7.32%
D 其他	1	 2.44%
(跳过)	21	 51.22%

13、 天文研究前沿讲座的主讲人有哪些？

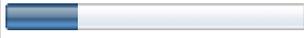
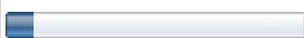
选项	小计	比例
A 学校地理老师	14	 34.15%
B 学校物理老师	1	 2.44%
C 学校学生	6	 14.63%
D 校外天文工作者	12	 29.27%
E 其他	0	 0%
(跳过)	21	 51.22%

14、 在您的天文课程教学中，与天文新发现或新研究进展有关的材料的比重是？

选项	小计	比例
A 几乎为0	9	 21.95%

B 少于 10%	16	 39.02%
C 10%到 20%	10	 24.39%
D 大于 20%	6	 14.63%

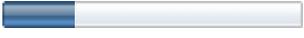
16、贵校是否有分层次的天文活动，即针对一般爱好者的活动和探究性的活动？

选项	小计	比例
A 二者并重	10	 24.39%
B 前者为主，后者为辅	22	 53.66%
C 后者为主，前者为辅	4	 9.76%
D 其他	5	 12.2%

17、下列天文活动,您认为对培养学生探究能力起作用的程度是(按由大到小排列)[排序题]

选项	平均综合得分	
B 天文观测	5	
D 参观活动	3.63	
A 师生就天文专题的讨论活动	3.44	
E 参加天文奥赛	2.88	
C 听讲座	2.59	
F 组织天文项目参加科技竞赛	2.07	

18、 您是否参加过教师天文教学活动讨论会？

选项	小计	比例
A 是	10	 24.39%
B 否	31	 75.61%

19、您是否有过与高校合作开展天文活动的经验？

选项	小计	比例
A 是	15	36.59%
B 否	26	63.41%

21、根据贵校的情况，您认为哪些因素会构成在天文教学中使用该软件的障碍？

选项	小计	比例
A WWT 本身使用不方便	6	14.63%
B 教学或活动场所缺乏网络支持	24	58.54%
C 教学或活动场所计算机条件不足	19	46.34%
D 其他	7	17.07%

22、您愿意参加哪些形式的推广 WWT 的活动？

选项	小计	比例
A 集中培训	22	53.66%
B 在网络上传自己的作品，下载他人作品进行交流	19	46.34%
C 参加 Q 群讨论	23	56.1%
D 其他	2	4.88%

23、您认为结合天文前沿发现和高中多学科知识(数、理、化、地理、信息等)，使学生理解天文研究方法和思想的教学资源的数量是？

选项	小计	比例
A 极其缺乏	13	31.71%
B 有一些，但仍比较缺乏	23	56.1%
C 比较丰富	5	12.2%

攻读学位期间发表的学术论文及作品

(1) Wang, H. G.; Pi, F. P.; Zheng, X. P.; Deng, C. L.; Wen, S. Q.; Ye, F.; Guan, K. Y.; Liu, Y.; Xu, L. Q. A Fan Beam Model for Radio Pulsars. I. Observational Evidence. *ApJ*, 2014, 789,73

(2) F. P. Pi, K. Y. Guan, J. Wang, H. G. Wang, Y.Liu&J.H.Fan. Astronomical Education Project for Guangdong High Schools. *JAA*, 2014, 35: 585–586

(3) 关凯莹, 王洪光, 乔翠兰. WWT 平台下的脉冲星数据可视化. *天文爱好者*, 2014, 11: 81-85

(4) 2014 年, 关凯莹、张嘉俊, WWT 漫游作品—“脉冲星天文数据的 WWT 可视化”获“共享杯”第二届大学生科技资源共享与服务创新实践竞赛三等奖。

致谢

三年，说不长不长，说短不短，刚刚能够让人对一个地方产生留恋。

在此，很想感谢我的导师王洪光老师，感谢您对我专业研究上和毕业论文的指导，感谢您在三年时间里对我的用心培养。在学习上您总能给我有建设性的意见和建议和指导，让我在迷茫中找到了方向。在三年的时间里，您教会了我思考，教会了我解决问题的能力，您支持和鼓励我面对和克服困难，您让我有勇气积极向国内其他天文专家学习。感谢您给我提供机会锻炼我的组织和表达能力，感谢您教会我如何开展小组讨论会，还要感谢您在生活上对我的支持和帮助。

感谢皮飞鹏老师对我三年教育科普研究的指导，感谢您对我学术论文和毕业论文的指导。在您的帮助下，才有我今天的进步。感谢您对在广州大学的生活的指引。还要感谢邓荣标老师带领和帮助我完成 WWT 相关的活动。

感谢天体物理中心的所有教师在三年时间的悉心教导和培养。感谢樊军辉教授、张靖仪教授、张江水教授、刘怡副教授、王金老师和谭文胜老师为天体中心的建设尽心尽力，感谢你们的努力为我们创造了优秀的学习环境，感谢你们对我三年学习的指导和生活的帮助。

感谢物电学院的张艳华老师、张技老师和学院其他办公室老师，感谢你们三年对我学习培养和生活的帮助和支持。

感谢天体物理中心的师兄师姐和师弟师妹们，感谢你们的宽容理解和帮助。感谢我的师弟陈威威同学，感谢您对我开展活动或组会的支持和帮助，感谢您在生活和学习中对我的帮助。

感谢中科院国家天文台的崔辰州研究员和樊东卫博士对我在 WWT 学习上的帮助和支持。感谢华中师范大学物理系乔翠兰老师对我在武汉学习 WWT 时期的专业指导和帮助，同时，感谢华中师范大学物理系万望辉、周珊珊、丁萌、鄢君、刘红等同学对我学习期间的生活和学习上的帮助。