

北京師範大學

本科生毕业论文(设计)

毕业论文(设计)题目:

WWT 平台下的数据可视化理论及实践研究

部 院 系: 天文系
专 业: 天文学
学 号: 201011161008
学 生 姓 名: 房小寒
指 导 教 师: 乔翠兰
指导教师职称: 副教授
指导教师单位: 华中师范大学
指 导 教 师: 杨静
指导教师职称: 副教授
指导教师单位: 北京师范大学

2014年5月16日

北京师范大学本科毕业论文（设计）诚信承诺书

本人郑重声明：所呈交的毕业论文（设计），是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

本人签名： 房小寒 2014 年 5 月 27 日

北京师范大学本科毕业论文（设计）使用授权书

本人完全了解北京师范大学有关收集、保留和使用毕业论文（设计）的规定，即：本科生毕业论文（设计）工作的知识产权单位属北京师范大学。学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许毕业论文（设计）被查阅和借阅；学校可以公布毕业论文（设计）的全部或部分的内容，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编毕业论文（设计）。保密的毕业论文（设计）在解密后遵守此规定。

本论文（是、否）保密论文。

保密论文在____年____月解密后适用本授权书。

本人签名： 房小寒 2014 年 5 月 27 日

导师签字：  2014 年 5 月 27 日

目录

摘 要	5
1 引 言	5
1.1 研究意义	5
1.2 研究方法	6
2 WWT 平台下数据可视化的理论梳理	6
2.1 WWT 与其 Excel 插件	6
2.2 国内外研究现状	7
2.3 研究目的与侧重点的定位	8
2.4 研究对象的选取	8
3 WWT 平台下数据可视化的实践研究	10
3.1 食双星大陵五	10
3.2 视频内容的初步确立	11
3.3 食双星数据的获取、分析和可视化处理	11
3.4 漫游视频制作过程中的改进与细节处理	12
3.5 漫游视频制作后期对 Excel 插件功能的重新利用	12
4 理论与实践互相检验的问题分析	13
4.1 结果大于过程	13
4.2 结合多样的资源	14
5 小 结	14
参考文献	15
Abstract	16

附 录	17
致 谢	19

WWT 平台下的 数据可视化理论及实践研究

房小寒

(北京师范大学 天文系, 北京 100875)

摘 要 数据可视化的研究不仅在科研方向有重大的意义, 对于科普事业的开展也有极大的支持作用。本课题在万维天文望远镜 (WWT) 软件平台下, 以食双星大陵五为主要研究对象, 初步探索了 WWT 在天文科普方面的应用。从理论与实践两个角度出发, 在理论层面上, 对天文数据可视化的研究现状进行分析整理, 同时在实践方面, 制作出约 5 分钟长度的食双星科普漫游视频。基于实践过程中遇到的问题与解决办法, 总结出在科普教学实践中应重视产出结果和综合多样方法的理念。

关键词 WWT 数据可视化 天文科普 食双星 大陵五

1 引言

数据可视化, 意思是使数据图像化、图形化, 清晰直观的呈现出来。^[1]天文学近年来在观测方面的发展使得人们获得了大量的观测数据, 这些数据不仅在天文科研工作者的眼中具有极大的研究价值, 通过数据可视化的途径加以研究利用, 同样能够成为天文教育工作者的宝贵财富。借助于 WWT 平台, 便能够让抽象的天文数据变成可视化的、形象的、直观的、时序的、三维的图像, 以加深人们对天文的理解, 让天文更容易走入普通公众中。

1.1 研究意义

可视化因其直观性, 将成为向公众传递科技信息的关键手段。^[2]数据可视化的研究, 能够变静为动、变抽象为具体、变平面为三维, 对于天文教育与天文科普的工作具有十分重大的意义。在数据可视化之中, 漫游视频因其立体化的效果, 比之平面图片又具有更加明显的优势。当然与之相伴的, 困难度也有所提升, 如果制作粗糙、场景生硬、内容混乱, 效果只会适得其反。因此对于数据可视化理论与实践漫游视频制作的研究十分必要。而利用 WWT 这个优秀的天文研究和科普教育平台进行数据可视化理论与实践研究在世界范围内尚属于起步阶段, 这

也使得研究具有很大的发展空间。同时，本课题对于助 WWT 软件进一步发挥价值也有积极的意义，如果能有更多高质量的漫游视频走近对天文知识感兴趣的人们，WWT 软件也将被更多人所熟知并能够得到更广泛的利用。

1.2 研究方法

从理论与实践两个方向出发进行研究。理论梳理和思考作为实践的指导，包括：对 WWT 软件工具使用方法的学习；对国内外研究现状的调查了解；对研究目的与侧重点的定位；研究对象的选取等。实践环节作为对理论的修正和检验，包括：视频内容的初步确立；获取并处理相关数据；借鉴前人的优秀作品进行视频内容的修改与完善等。在探索出一定理念的同时致力于做出较为自然流畅、内容丰富、观赏性强、有趣味性及教育意义的作品，同时能够根据实践过程中遇到的种种问题修正理论上存在的误区。

2 WWT 平台下数据可视化的理论梳理

随着科学和技术的发展，天文学正面临着科学数据在数据量、复杂性甚至质量上的快速增长，大面积、概要式巡天观测所产出的海量数据已经把天文学带入了数据密集型时代。数据密集型科学发现已经成为科学研究的重要途径，被称为继观测、试验、计算之后的科学第四范式。^[3]WWT 通过先进的信息技术将全球范围内的研究资源无缝透明连接在一起，是一个数据密集型网络化天文研究与科普教育平台。在着手进行漫游视频制作之前，应当对如何更好发挥这个平台的作用有着清晰的思路。

2.1 WWT 与其 Excel 插件

WWT 即 WorldWide Telescope，又名万维天文望远镜，是微软研究院 2008 年 5 月公开发布的一款虚拟望远镜平台，利用了先进的图像技术和可视化技术，把来自全球数十个顶级的地面和空间望远镜的科学数据融合在一起，作为一套功能强大、界面绚丽的天文信息服务系统，近乎完美地展示了虚拟天文台的科学理念。^[4]利用 WWT 这架虚拟的望远镜，不仅可以在地球、行星、太阳系、星空之间进行视角变换与穿行，还能获取大量真实的观测数据。WWT 将世界上各大天文望远镜、天文台、探测器的科学数据都集合在一起，提供了一个交互式的知识共享和学习环境。利用 WWT 的 Excel 插件可以将天文数据，如经度、纬度、星等、星体的颜色、事件发生的时间、事件的程度（如伽马射线暴的流量）等输入到 Excel 电子表格中，然后将这些数据静态或时序地可视化出来，还可以通过

更新 Excel 数据而改变相应的 WWT 的可视化图像。^[6]如果应用得当，Excel 插件将会成为漫游视频制作过程中极大的助力。

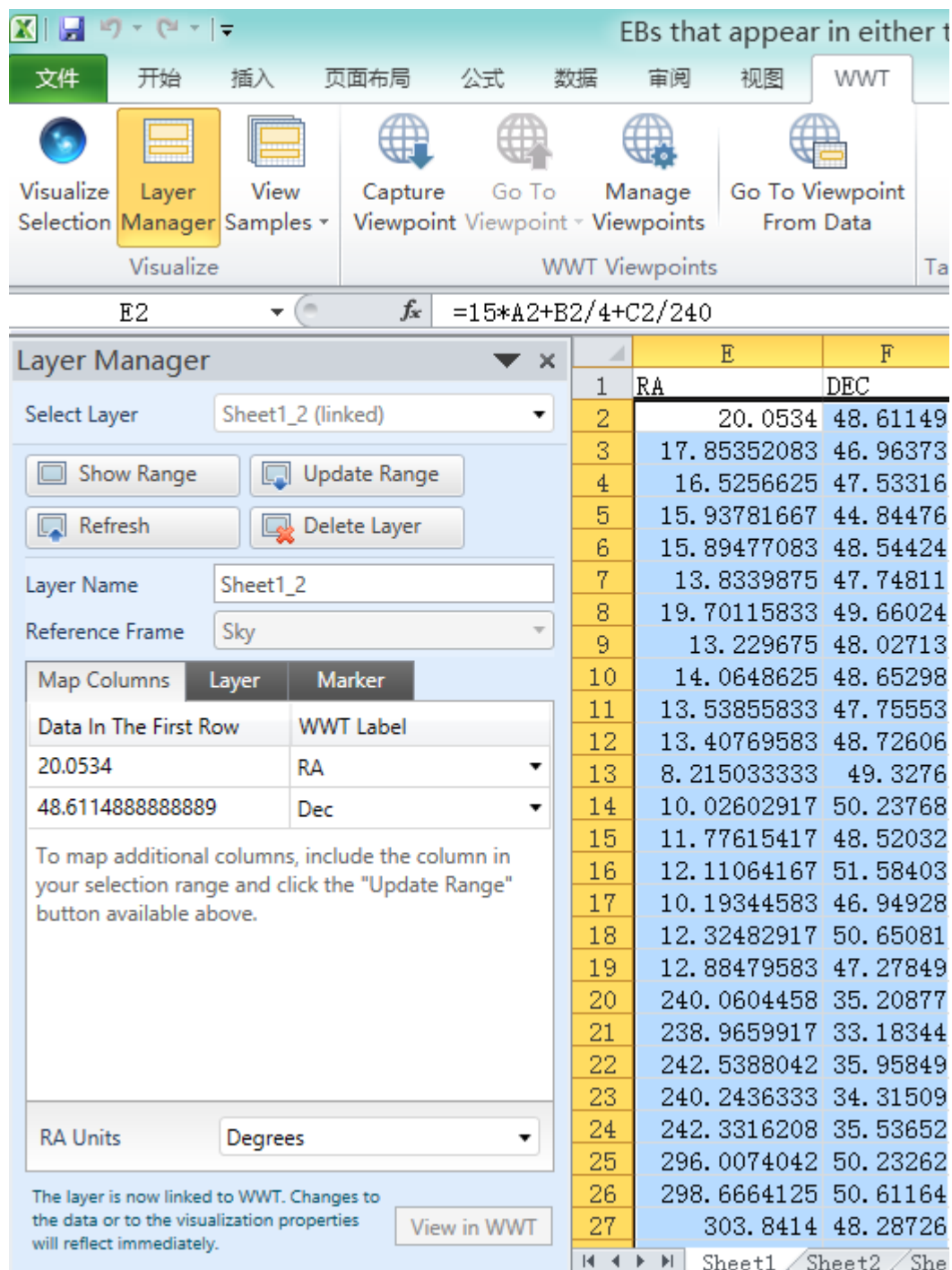


图 1 WWT 的 Excel 插件功能面板展示

2.2 国内外研究现状

在 WWT 平台下的天文数据可视化方面，美国微软研究院曾经可视化了全天 88 星座的边界，太阳磁场等；华中师范大学可视化了伽马射线暴的分布、中国

古代星空等。其他尚未见文献描述。处于起步阶段的研究现状有好处也有坏处，决定了发展空间较大但可借鉴的经验较少的局面。



图 2 WWT 平台下对中国古代星空中天市垣的可视化

2.3 研究目的与侧重点的定位

研究目的是让抽象的天文数据变成可视化的、形象的、直观的、时序的、三维的图像和视频，以加深人们对天文的理解，让天文更容易走入普通公众中。因为本研究是一个准确的天文科普定位，面向的观众是对天文了解较少的公众，因此决定了制作的漫游视频中所包含的知识内容应当尽可能的浅显易懂，不应过于晦涩深奥。同时本着对科学普及负责任的态度，应当尽可能的避免一些有争议的问题，向观众展现公认为正确的知识。然而遇到超出公众接受能力的繁琐知识时，为便于理解可以使用模糊的概括性的表述，并不违背真实性。换言之，宁可用想象填补，不可有突兀的空白。对于天文科普教育工作而言，达到向公众普及相关知识的目的是最为重要的，执着于数据的精确明细则是舍本逐末的行为，并不可取。

2.4 研究对象的选择

WWT 提供了方便的天文数据信息交互，天文学的数字化无论对于专业天文学家还是天文教育者都是一种转变一种契机，这种新的资源将改变做天文的方

式，改变教天文的方式，改变学天文的方式。^[7]WWT 具有多种视角，可以从遥远的宇宙过渡到人类生存的太阳系，对太阳以及各大行星进行研究，也可以从脚下的土地出发，仰望星空在天球模式下研究多姿多彩的天体，可以从全局的天球来探索星区的划分与星图的绘制，也可以从一块小小的天区去学习某个固定的星云或恒星的知识。在 WWT 平台下做一个天文科普性质的漫游视频，研究对象实在有太多的选择。在观摩前人作品的过程中，可以看到以太阳系天体、各大星座、星图、有名的星云等为研究对象的漫游视频都占有很大的比重，为了能够使本课题的研究有突破点，最终决定首创性的将双星作为此次可视化的目标。

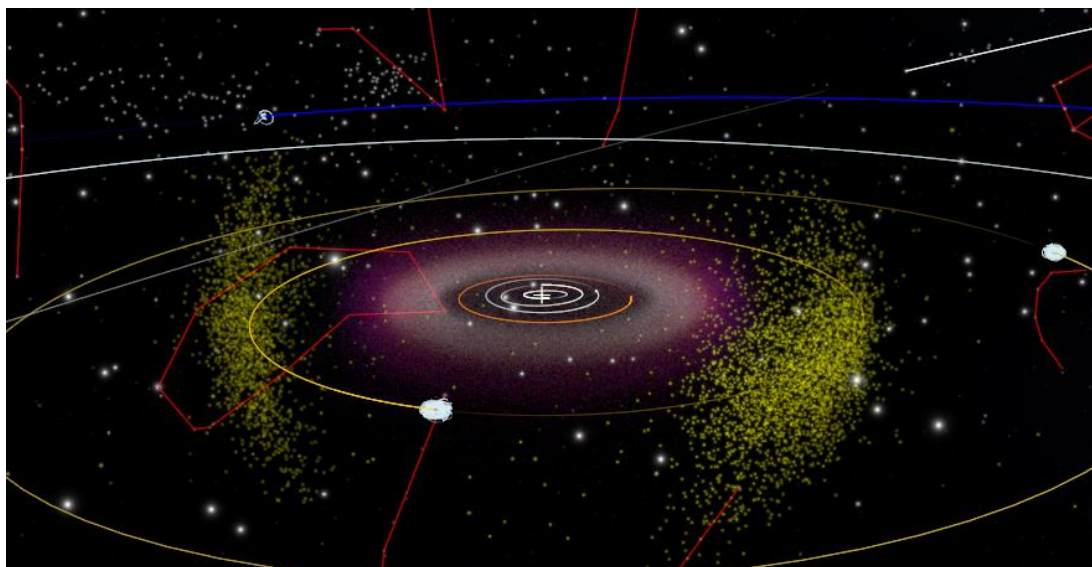


图 3 WWT 中 3D Solar System 指向模式

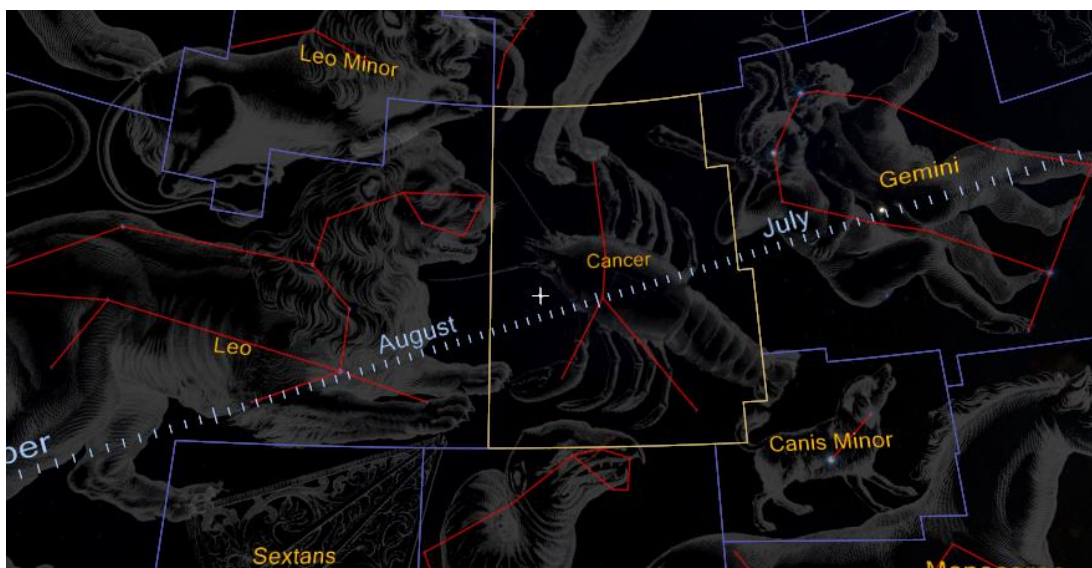


图 4 WWT 中 2D Sky 指向模式

3 WWT 平台下数据可视化的实践研究

经过前面的理论梳理与思考,步入实践环节时已确立将双星方向作为研究对象,所涵盖的知识内容应具体明晰易于理解,最好有一定的特殊性与趣味性。基于以上两点,在搜索并了解几个代表性的双星如天狼星、南河三、大陵五、天鹅座 X-1 之后,发现大陵五的特点非常符合理论梳理与思考的结果,知识点具体明晰且易于展现,食双星的光变也符合特殊性与趣味性的要求,并且 WWT 的 Sky 或 Solar System 模式中均不包含食双星的直观内容,使可视化具有一定的挑战性。至此决定将大陵五这一食双星作为实践阶段漫游视频制作的最终对象。

3.1 食双星大陵五

大陵五是第一颗发现的食双星,1670 年意大利天文学家蒙塔纳里发现了它的变光性质。大陵五在平时是 2.2 等星,到某一时期会突然变暗,极小 3.5 等左右后再以同样的速率恢复 2.2 等。这种光度变化是周期性的,一个周期约为 2.87 日。^[5]这种现象的产生是由于它的两颗相互绕转的主星和伴星会相互遮掩,使地球上的观测者看到的亮度发生改变。

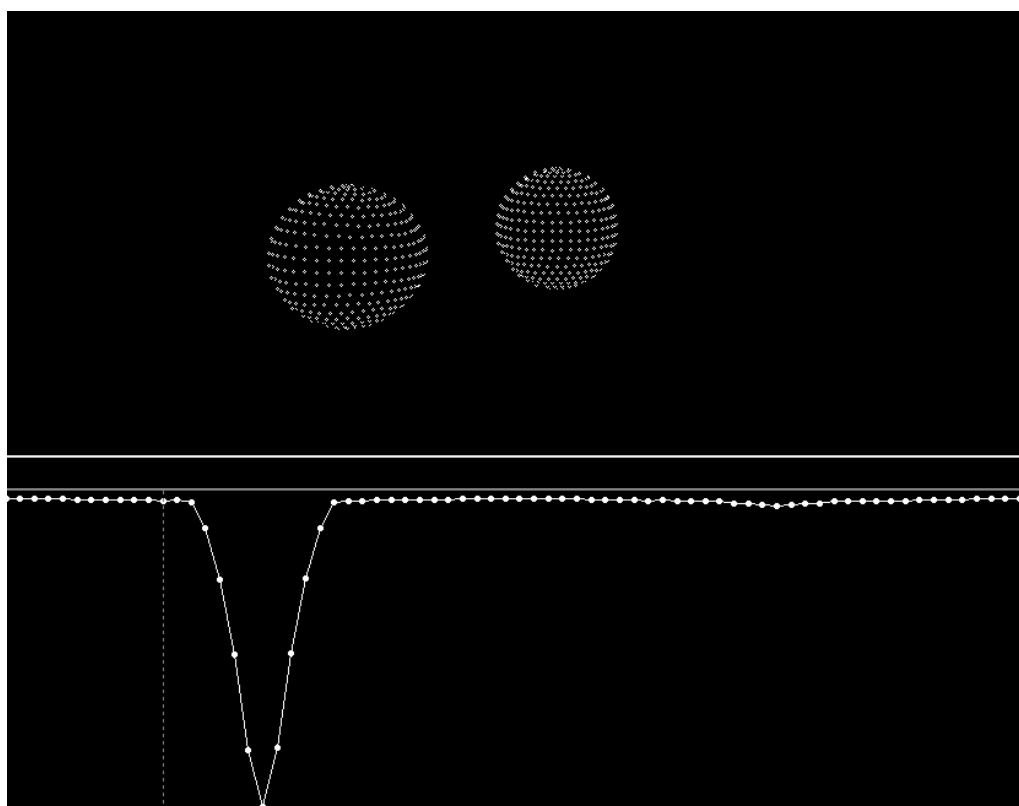


图 5 大陵五与其光变曲线示意图

3.2 视频内容的初步确立

将大陵五定为所要制作的漫游视频的研究对象后，开始构思视频的内容框架。需要展现在视频中的知识有以下几个方面：介绍大陵五所在的英仙座，介绍双星的概念，可视化双星的绕转，介绍食双星的概念，可视化大陵五亮度发生的周期性变化并对该现象进行解释。

3.3 食双星数据的获取、分析和可视化处理

需要进行可视化的内容有以下两点：一是大陵五主星与伴星的绕转，此为三维动态可视化；一是大陵五作为食双星的光变，此为平面时序可视化。实现双星绕转三维可视化的目标超出了 WWT 中 Excel 插件的能力范围，最终由一款名为 StarLightPro 的程序辅助完成。大陵五经过处理后的光变曲线数据同样能从该款软件中获得，将其录入 Excel 插件在 WWT 上进行可视化处理后，发现可能是出于软件自身显示的原因，光变效果并不明显，因此也决定放弃使用 Excel 插件的数据来表现大陵五的光变，而是改用更为直观明显的图片替代法，即人为的以图片的幻灯片闪烁效果来代替展现亮度的周期性变化。



图 6 利用 StarLightPro 程序得到的大陵五双星绕转逐帧模拟图

3.4 漫游视频制作过程中的改进与细节处理

在制作过程中，通过观摩前人的作品，对初步确立的视频内容进行了一些增加和修改。

首先，受《孤独的黄道守护者-蛇夫座》一作援引希腊神话作为开场的影响，为使视频内容引入更为自然，加入了大陵五在古希腊神话中的象征意义，即作为美杜莎头上那看一眼就会使人变成石头的魔眼一般被称为“魔星”的存在。以神话作为切入点，增加了内容的丰富性和趣味性，并且使之具有了一定的历史和文化韵味。之后从大陵五曾经的魔星称号为切入点，顺着大陵五为何会被人们视为不祥之星的原因继续进行下去，更加自然的提出是因为它的亮度在发生周期性变化，古人无法对其进行合理的解释，只好将它归于超自然的魔力，而现在的天文学已经能够解释这种现象了，接下来就可以介绍相关的天文学知识。

其次，受《深邃的星空》中大量美丽令人赏心悦目的图片启发，视频中从始至终如果只有大陵五将会丧失很多色彩，因此决定在介绍相关概念时适当的提及一下相关的其他天体，比如介绍双星的概念时，就可以将镜头转向天狼星、南河三等双星的图片，让观众看一看，增进一些了解，在介绍完大陵五这一食双星的基本情况与光变曲线之后，也可以展示一些风格不同的其他食双星的光变曲线。

另外，除去天文相关专业知识的介绍外，还可以加入一些天文学史方面的知识介绍，比如大陵五作为第一颗被发现的食双星，它的发现年代、发现者、发现过程等等。在这些知识之间还能穿插一些观星时寻星找星的小技巧，例如英仙座在哪些季节的什么时间段可见，如何利用星体位置几何关系找到大陵五等等。

最后剩下的是一些小细节，移动方面要注意速度恰当，避免让观众产生头晕目眩之感，WWT 软件的坐标格线应在有帮助时才显示，不需要的时候要及时去除，背景音乐与解说和画面的时间应当一致并且应当能让观众听清楚，开头与结尾进行一些提升观感的特殊处理，如从宇宙的远处推进到人类生活的太阳系，再抬眼看向星空这种由 3D 向 2D 的转换，让观众能够更加乐在其中。

3.5 漫游视频制作后期对 Excel 插件功能的重新利用

原定利用 Excel 插件进行的两项可视化内容分别由于各自的问题改用了其他方法进行可视化处理，这使得 Excel 插件在本次研究中暂时没能发挥出应有的价值。为了改善这一情况，在视频制作的后期，决定增加两项可视化内容，分别为双星介绍环节中对于 66 颗较常见目视双星分布的可视化，以及食双星介绍环节中对于 88 颗食双星分布的可视化。既可以丰富漫游视频的内容，同时也能凸显 WWT 中 Excel 插件的重要作用。

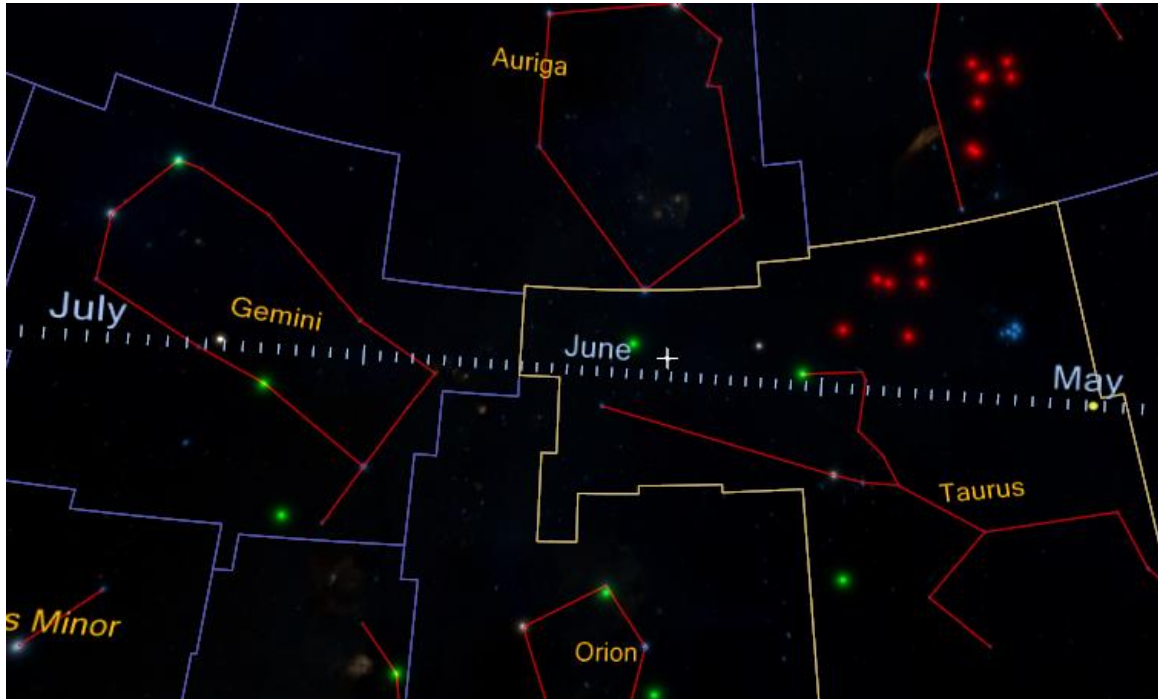


图 7 Excel 插件可视化效果局部展示（绿色为目视双星，红色为食双星）

4 理论与实践互相检验的问题分析

以恰当的方法加以利用，WWT 对于提高公众的科学素养必定能够产生显著的效果。^[8]这也就决定了借助于 WWT 平台的可视化研究在以服务于天文科普为目的后，最为首要的是产出的结果而不是过程，因为只有结果是作为成品面向公众的。换言之，只要能够达到清晰地向公众传达出相应知识点内容这一结果，任何方法都是适用的。在达到同样结果的同时，不同方法中自然更宜采用相对简单易行的方法。同时，不同的软件拥有各自的优点，在 WWT 平台下进行可视化研究并不意味着要对其他软件的帮助视而不见，要综合各种可以利用的资源，为能取得最终的结果服务。

4.1 结果大于过程

具体到本次研究中，对应的便是对于食双星大陵五光变曲线可视化研究这一部分内容，这也是本课题中遇到的最大问题。最初的设想是严格按照大陵五的观测数据得到的光变曲线，通过 WWT 中的 Excel 插件进行可视化处理。然而在实践过程中很快发现，Excel 插件的功能更适用于可视化大面积区域中分布性的数据，对于固定点处的时序性数据，尤其是亮度这种变化值的可视化处理将非常繁琐并且效果不佳。在烦恼了一段时间后，看到名为《The Sun》的漫游视频，该作品可视化了 2010 年 1 月发生的日食，在利用 WWT 软件的时间加速功能重现

日食的同时，贴出了大量实地观测日食时拍摄的图片，效果很好。由此引发对解决该问题办法的思考，制作漫游视频的目的是为了向公众普及食双星的相关知识，而可视化光变曲线想要达到的直接效果就是观众能够看到亮度有明显的周期性变化，只要能够借助其他方法呈现出这样的视觉效果，比如借助于图片幻灯片的帮助做出亮度发生周期性变化的效果，那么问题就已经得到了解决。并不是说要去捏造数据或者违背科学研究的严谨性，此处需要明确的是科普工作于科研工作的出发角度不同，因而需要的态度也有所区别。科普服务于公众，进行恰当的夸张或者替代展示能够令知识更容易在公众脑中留下记忆，并不违背真实性。相反如果过于拘泥于具体的数据，为一丝不苟而停滞不前，这只会是以科研心态面对科普工作的一种错误行为，对科普工作的展开并不能有所帮助。

4.2 结合多样的资源

本次研究重点在于 WWT 平台下，但并不等同于只依赖 WWT 平台提供的资源。具体到研究过程中，对应的则是另一个可视化内容带来的问题。除去光变曲线可视化，预期做到的可视化效果还有一项，即双星的绕转。WWT 平台在 Sky 模式下仅能提供天体在天球上的二维图像，而在 Solar System 的 3D 模式下的大陵五和其他该模式下的任何天体一样，只是以一个白色的光球粗略的表示出来，根本无从谈起双星绕转的视觉效果，Excel 插件中也不包含指向太阳系外天体的 3D 可视化功能，充分表明 WWT 这款软件还有着非常大的进化空间。对于 WWT 本身而言，它十分突出的并不仅仅有数据量丰富这一特点，更重要的是它提供了一个交互式的信息平台，使得它的使用者们能够将手头所有的数据与信息和其他人自由的分享。^[9]这时其他软件的协助就至关重要了，StarLightPro 便是这样一款专门针对食双星的模拟程序，可以展示三百多颗食双星的绕转演示与对应的光变曲线图像。将 StarLightPro 程序提取出的图像嵌入 WWT 基于幻灯片模式的漫游，取两款软件各自之长补对方之短，才能够做出令人满意的漫游视频。

5 小结

本课题的研究成果包括制作完成的 WWT 平台下食双星漫游视频，以及在准备和制作此类科普性质漫游视频时整理出的一些仅代表个人态度的观念与方法。在制作前要充分思考，做好理论准备，对制作过程中的任何细节都要有认真的态度，要从观众的角度出发，一切以观众的感受为重。可视化研究在力求做得漂亮的同时，更应注重如何令可视化后的结果具有实际意义上的效用，而不是华而不实的展示软件应用技巧。对于天文科普工作而言，结局好一切都好。

参考文献

- 1 贺全兵. 可视化技术的发展及应用[J]. 中国西部科技, 2008.
- 2 袁晓如, 张昕, 肖何等. 可视化研究前沿及展望[J]. 科研信息化技术与应用, 2011.
- 3 Hey T., Tansley S., Tolle K. The Fourth-Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery. [M]. Second ed. Microsoft Research, Redmond, WA. 2009.
- 4 赵永恒, 崔辰州. 从虚拟天文台到天文信息学[J]. 科研信息化技术与应用, 2011.
- 5 杨雪娟, 卢方军, 陈黎. XMM-Newton 卫星观测大陵五数据分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2004.
- 6 华中师范大学数源工作室. 2012 年基于数字天空的天文教学培训——微软 WWT 在天文学中的应用 教师手册[M].
- 7 崔辰州. 天文学的 GS-WWT 时代[J]. 天文爱好者, 2008.
- 8 Cuilan Qiao, Chenzhou Cui, Xiaoping Zheng, Yan Xu. Science Data Based Astronomy Education[J].
- 9 Cuilan Qiao, Chenzhou Cui, Xiaoping Zheng, Yan Xu. The Revolution in Astronomy Curriculums Introduced by WorldWide Telescope[J].

The Theoretical and Practical Study of Data Visualization by Microsoft WorldWide Telescope

Abstract

Data Visualization could be a great support for science popularization. With the technique based on Microsoft WorldWide Telescope (WWT), we made a basic exploration on the data visualization of astronomy, both theoretical and practical. The article concluded the state of astronomy science population video making, and analyzed the thoughts and methods of how to make such a video. In practice, we made a ~5 minutes video about eclipsing binaries and Algol by WWT. Most of the content from the video was based on real data. In the end, the article discussed some points that need to be paid attention in the future of WWT and astronomy science population.

Keywords: WorldWide Telescope; data visualization; astronomy science population; eclipsing binaries; Algol

附 录

漫游视频《“魔星”大陵五》解说词：

深秋的夜晚，在天空正南方，可以看到一个形状象“人”字的星座，它便是“英仙座”。其中有一颗星，在中国古代星空中是代表王陵的第五颗星，故名为“大陵五”。

英仙座的英文名字，正是来源于古希腊神话中曾砍下蛇发女妖美杜莎头颅的半神玻耳修斯。如果把整个英仙座的亮星，想象成英武的珀耳修斯的话，大陵五正是他手中提着的，美杜莎那看一眼就会使人变成石头的魔眼，所以西方人又称大陵五为“魔星”。

大陵五很特别，它的亮度总在不断的变化：先是很亮，后来逐渐暗下来，暗到它的正常亮度的六分之一时，又逐渐亮起来。这样周而复始，大约每隔两天零二十一小时，便变化一次，古代科学不发达的时候，人们对这样奇怪的现象无法解释，便把它归于超自然的魔力，称大陵五为“魔星”，说它是“变幻莫测的神灵”。

天文学家为我们揭开了“魔星”的秘密。原来，天空中有一种星星叫做双星，由两颗星组成，一颗是主星，另一颗是伴星。它们各有自己的运行轨道，但在彼此的引力作用下，又能互相绕转。大陵五正是一颗双星，由于轨道平面正巧在我们的视线方向上，因此每一个周期内当暗星绕转经过亮星前面时，光就会被挡住一些，我们才会看到大陵五变暗了，当亮星从暗星背后转出来时，大陵五就又恢复了大多数时候的亮度。

其实我们所在的宇宙并不个孤独的地方，双星、三合星乃至更多的联星系统在宇宙的星体中占有相当大的比重，在大陵五之前人们便已经认识了许多的联星系统，当然，人们最先认识到的是那些能够通过双眼或者借助于望远镜分辨出的联星系统，绿色光点标示出的便是其中为人们所熟知的部分。

在这之中，大熊座 Zeta 是第一颗被发现的双星。我们可以看到，它的特征非常明显，肉眼便可分辨，它位于北斗七星的勺柄，在中国古代被称作开阳。

另一个值得一提的是半人马座 α ，中国古代称之为南门二，它是著名的三合星，其中一颗伴星比邻星是离太阳最近的恒星。其实精确一点来说，大陵五实际上也是三合星，除了成对的食双星外，还拥有一颗距离较远的伴星。

显然，并不是所有的双星在地球上看来都会像大陵五一样发生周期性的光变，大陵五的这一特性使它成为人类发现的第一颗食双星。红色光点标示出的则是其后人们发现并研究的八十余颗食双星。虽然大陵五的变光记载最早出现于 1667 年，但它在那之前许久就已经被人们注意到，从它“魔星”的称号就可见

一斑。1783 年英国天文学家古德里克第一个提出大陵五的变光机制，1881 年哈弗天文学家皮克林提出了大陵五是食双星的确切证据。到了今日，食双星的研究已发展到更加精细的领域。人类对知识的渴望推动了科学的发展，愿我们能从这片美丽的星空中看到更多。

致 谢

首先，诚挚地感谢我的指导教师杨静老师及乔翠兰老师，两位老师的悉心教导使我得以一窥 WWT 科普应用领域的美妙，乔翠兰老师与我的讨论指点了我正确的方向，使我在最终漫游视频制作中获益匪浅；杨静老师为我提供了丰富的参考资料。时刻对我进行关怀和鼓励，使我在整个毕业论文完成过程中倍感温暖。

还要感谢舍友刘思琦、王慧珍、郁静娴、王衍、张安琪以及男友苍天启的贴心陪伴，因为有他们的体谅及支持，才使本论文能够更加顺利的完成。

感谢天文系全体教师在我学业以及成长道路上的呵护，感谢 10 级全体同学的并肩奋斗，感谢众位学长学姐、学弟学妹的共同砥砺，大家的陪伴让四年的本科生活变得丰富多彩，我必将铭记于心。

另外必须感谢中期报告中张燕平老师、陈黎老师以及赵娟老师认真负责的指出我研究中的缺失，为我提出宝贵的建议。感谢张竹梅老师以及张琳老师不厌其烦的幕后工作，老师们辛苦了。

最后，要感谢我的家人。父母在背后的默默支持是我前进的动力，没有家人的体谅、包容，相信这四年的生活将黯然失色许多。

谨以此文代表我心中满满的爱，献给这四年间所有在我生命中留下光与影的可爱人们。