

doi: 10.3969/j.issn.1000-8349.2017.03.06

丽江站台址信息监测系统

辛玉新^{1,2,3,4}, 王传军^{1,2,3,4}, 范玉峰^{1,3,4}, 伦宝利^{1,3,4}, 白金明^{1,3,4},
和寿圣^{1,3,4}, 常亮^{1,3,4}, 王建国^{1,3,4}, 刘娟^{1,3,4}

(1. 中国科学院 云南天文台, 昆明 650216; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院 天体结构与演化重点实验室, 昆明 650216; 4. 中国科学院 天文大科学研究中心, 北京 100012)

摘要: 台址信息监测系统是现代天文观测台站必备的辅助系统之一, 在开展天文实测过程中发挥着重要的作用。首先介绍了丽江天文观测站的基本概况, 目前已经投入运行的天文望远镜设备, 以及丽江 2.4 m 通用光学望远镜上配备的科学终端仪器。随后论述了国内外优秀天文观测台站已配备的台址信息监测设备, 重点阐述了丽江天文观测站建立的台址信息监测系统。分析了丽江站一个年度的气象数据、云量数据、可观测小时数、可观测夜数和天光背景数据, 以及近几年测量的大气视宁度数据, 得出丽江站全年的光学天文观测条件的基本特征。根据实际观测情况, 将丽江 2.4 m 望远镜全年的观测时间段分为三个等级, 为国内天文学家申请使用并开展科学观测提供参考。

关键词: 天文台址监测系统; 天文气象站; 云量; 大气视宁度

中图分类号: P111.33 **文献标识码:** A

1 引言

中国科学院云南天文台丽江天文观测站(简称“丽江站”), 位于滇西北青藏高原南延的横断山脉上的铁甲山巅, 也属于三江并流(金沙江、澜沧江和怒江)地区, 海拔 3200 m, 东经 100°01'48", 北纬 26°41'42", 兼有高山高原气候特征和亚热带西南季风气候特征, 具体行政区划为云南省丽江市玉龙县太安乡高美古村, 因此丽江站的所在地又常被称“高美古”(纳西语, 汉语意思是“看星星的美丽高地”)。丽江站周边空气污染和尘埃很少、大气洁净透明、天空湛蓝、灯光污染少、天光背景暗弱; 由于海拔较高, 大气较稀薄, 消光较小; 且该站的大气视宁度较好。此外, 由于纬度低, 站内的天文望远镜可以观测南半球的较大天区, 弥补了中国其他天文台的不足; 由于同一经度附近, 天文台站较少, 丽江站在全球天文观测网和空间与地面的联合观测网中占有重要的位置。

收稿日期: 2016-09-29; 修回日期: 2017-03-28

资助项目: 国家自然科学基金(11573067, 11203078, 11303091, 11303092)

通讯作者: 王传军, wcj@ynao.ac.cn

丽江站是云南天文台在丽江建设的一个光学天文台站,也是我国南方目前规模最大的光学天文观测台站,目前共有 8 台望远镜投入运行,其中 BOOTES4、TAT3、ADIMM 属于程控自主天文台^[2],即全自动望远镜,另外 5 台望远镜都具备远程控制功能。表 1 列出了所有在丽江站投入运行的天文望远镜。

表 1 丽江站望远镜信息

| 望远镜名称 | 英文名称 | 口径/cm | 简介 | 科学目标 |
|-----------|----------------------|-------|--|----------------------|
| 2.4 m 望远镜 | LJT ¹ | 240 | 地平式 RC 结构的望远镜,具备远程控制功能 | 用于时域天文观测和高/中低色散光谱观测等 |
| 1.8 m 望远镜 | — | 180 | 地平式双副镜折轴望远镜,具备远程控制功能 | 用于高色散光谱测量和测光观测 |
| 中泰望远镜 | STT ² | 70 | 云南天文台与泰国合作共建赤道式望远镜 | 用于双星的测光观测 |
| 牧夫望远镜 | BOOTES4 ³ | 60 | 西班牙安达卢西亚研究所与云南天文台、国家天文台合作共建,国内首台全自动望远镜 | 用于伽玛暴的后随测光观测 |
| 云南-香港望远镜 | TEST ⁴ | 45 | 云南天文台与香港天文学会合作共建的远程控制宽视场望远镜 | 用于凌食系外行星巡天 |
| 视宁度监测仪 | ADIMM ⁵ | 30 | 丽江站自主研发和建设,全自动望远镜 | 用于丽江站大气视宁度测量 |
| 台湾望远镜 | TAT3 ⁶ | 9 | 中国台湾清华大学建设,全自动望远镜 | 用于恒星脉动光度测量观测 |
| 丽江日冕仪 | LCT ⁷ | 10 | 云南天文台与日本国立天文台共建 | 对太阳日冕层进行观测 |

注: ¹ LiJiang 2.4 m Telescope, 全称“丽江 2.4 m 望远镜”;

² Sino-Thai 70 cm Robotic Telescope, 全称“中泰 70 cm 望远镜”;

³ Burst Optical Observer and Transient Exploring System 4#, 全称“伽玛暴与光学暂现源观测网 4 号站”;

⁴ Yunnan-Hong Kong Transiting Exoplanet Survey Telescope, 全称“云南-香港凌食系外行星巡天望远镜”;

⁵ Automated Differential Image Motion Monitor, 全称“全自动差分像运动大气视宁度监测仪”;

⁶ Taiwan Automatic Telescope network 3#, 全称“台湾自动望远镜观测网 3 号站”;

⁷ Lijiang Coronagraph Telescope, 国内首台日冕仪望远镜。

表中, 2.4 m 望远镜是目前东亚地区单口径最大的光学望远镜, 其成像质量、分辨率和指向精度均小于 3", 跟踪精度(开环 1 h 后小于 2", 闭环 1 h 后小于 0.5") 和自动化程度都较高, 综合性能指标在国际同级望远镜中处于中上水平。2.4 m 望远镜目前安装的天文观测终端如表 2 所示。所有终端仪器都同时安装在卡焦直通口及卡焦侧口上, 2.4 m 望远镜共有 8 个卡焦侧口和 1 个卡焦直通口, 通过卡焦仪器快速切换系统在 1 min 之内完成观测仪器的切换^[3]。

丽江站是一个自动化程度较高的天文台站, 其程控自主天文台的自主化运行, 严重依赖于对光学天文观测条件信息的实时获取, 这就对丽江站台址信息监测系统提出了高要求, 本

表 2 2.4 m 望远镜科学仪器信息

| 设备名称 | 英文名称 | 安装位置 | 主要功能 |
|-------------|--------------------|-------|---------------|
| 云南暗弱天体成像分光仪 | YFOSC ¹ | 卡焦直通口 | 多色测光、中低色散光谱观测 |
| 测光相机 | PICCD ² | 卡焦侧口 | 多色测光 |
| 丽江系外行星探测仪 | LiJET ³ | 卡焦侧口 | 系外行星探测 |
| 高色散光纤光谱仪 | HiRES ⁴ | 卡焦侧口 | 高色散光谱观测 |
| 中国丽江积分视场光谱仪 | CHILI ⁵ | 卡焦侧口 | 三维面源光谱观测 |
| 快速曝光相机 | EMCCD | 卡焦侧口 | 快速测光 |

注: ¹ Yunnan Faint Object Spectrograph and Camera;
² Princeton Instruments VersArray 1300B CCD Camera;
³ LiJiang Exoplanet Tracker;
⁴ fiber-fed High-Resolution Echelle Spectrograph;
⁵ China Lijiang Integrated Field Unit.

文以丽江天文观测站的台址信息监测系统为例, 详细介绍一个现代光学天文台址信息监测系统的具体内容。

2 台址信息监测系统介绍

全世界有数以千计的地面天文台站, 按照观测波段来划分, 大致可以分为三类: 光学/近红外天文台站 (简称光学天文台)、射电天文台站、毫米波/亚毫米波/太赫兹天文台站 (简称毫米波天文台)。其中光学天文台站又可以分为夜天文观测台站和太阳观测台站。其中夜天文观测台站的数量最多, 是实测天文学的主力军。目前全世界天文学家公认最优秀的三个光学天文台址分别是: 美国夏威夷群岛的 MaunaKea (海拔 4 267 m)、智利的 La Silla (海拔 2 400 m) 和 Paranal (海拔 2 635 m) 以及西班牙加那利群岛的 La Palma (海拔 2 400 m)。目前国内主要的夜天文光学台站包括云南丽江站 (海拔 3 200 m) 和北京兴隆站 (海拔 960 m)。下面将简要介绍各光学台站的台址信息监测系统。

MaunaKea 山上有很多著名的光学望远镜, 例如: Keck I、Keck II、Subaru、Gemini、CFHT 等, 通过其气象中心网站^① 可以查看山上各望远镜的实时气象信息。表 3 列出了 Subaru 望远镜的台址信息监测系统包含的设备信息。

表 3 Subaru 台址监测系统

| 设备名称 | 采集信息 |
|-------|-------------------|
| 气象站 | 风速、风向、温度、湿度、气压、降水 |
| DIMM | 大气视宁度 |
| SODAR | 边界层大气风速轮廓 |
| 监控相机 | 圆顶周边实时图像 |

^①<http://mkwc.ifa.hawaii.edu/index.cgi>

欧洲南方天文台在智利北部的三个址点建有台址信息监测系统, 它们分别是: La Silla, Paranal 和 Chajnantor (APEX^①天文台址点)。系统包含的具体设备信息见表 4, 所有设备采集数据的每分钟均值被自动存入数据库并提供网页实时发布。可以看到其包含的台址信息主要分三类: 气象类(气象六要素、云量), 大气类(大气视宁度、天光背景、大气消光) 和其他类(水汽含量、空气颗粒数), 囊括了可见光、红外、毫米波/亚毫米波等波段的大气吸收情况, 通过以上信息自主判断大气对天体不同波段辐射(可见光、红外、毫米波/亚毫米波) 的影响程度。天文台址信息监测系统都是基于所服务的地面望远镜工作波段来建设的。

表 4 欧洲南方天文台台址信息监测系统

| 址点 | 设备 | 采集信息 |
|------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| La Silla | Vaisala 气象站、DIMM、SCIDAR、全天相机等 | 气象六要素、大气视宁度、大气消光、天光背景、云量、水汽含量 |
| Paranal | Vaisala 气象站、DIMM、SCIDAR、全天相机、粉尘测量仪等 | 气象六要素、大气视宁度、天光背景、云量、水汽含量、空气颗粒数 |
| Chajnantor | 气象站、辐射计 | 气象六要素、PWV |

La Palma 岛位于非洲大陆西北部的大西洋上, 隶属于西班牙。岛上的主要光学望远镜包括 GTC、WHT、TNG、ING、NOT、LT 等。大多数望远镜都配备有气象站, 其中 TNG 和 ING 配备有 DIMM 系统, 利物浦望远镜还配备了云量计和全天相机等(见表 5)。岛上各个望远镜的台址监测信息是实时共享的, 由西班牙加纳利天文台统一管理和发布。

表 5 La Palma 台址信息监测系统

| 设备名称 | 采集信息 |
|-----------------------|-----------------------------|
| CASELLA 自动气象站 | 温度、湿度、风速、风向、气压、降水、太阳辐射、紫外辐射 |
| DIMM/MASS-DIMM/SCIDAR | 大气视宁度、大气湍流轮廓 |
| BOLTWOOD 云量计 | 全天云量、雨雪、风速 |
| SBIG 全天相机 | 全天图像 |
| 水汽含量测量仪 | 水汽含量 |
| 粉尘测量仪 (MetOne R4815) | 空气颗粒计数 |

中国目前已建成的有两个主要的夜天文光学台站, 一个是北方的北京兴隆观测站, 另一个是南方的云南丽江天文观测站。其中兴隆站历史较长, 目前运行的中小望远镜数量最多, 我国自主研发的大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜 LAMOST (又称郭守敬望远镜) 就在兴隆站。截至目前, 兴隆站已经建立起一套较为完善的台址信息监测系统, 如表 6 所示。

^①the Atacama Pathfinder EXperiment

表 6 兴隆站台址信息监测系统^[4]

| 设备名称 | 采集信息 |
|---------------|-------------------|
| 自动气象站 | 温度、湿度、风速、风向、气压、降水 |
| DIMM | 大气视宁度 |
| SQM 天光背景计 | 天光背景 |
| 全天相机 | 全天图像 |
| 云量计 | 全天云量 |
| 空气质量检测仪 AQ-10 | 0.1~100 μm 颗粒计数 |

3 丽江站台址信息监测系统

丽江站的前期选址工作始于 1994 年 7 月, 基础建设工作始于 2003 年 9 月, 2.4 m 望远镜于 2008 年进入调试观测阶段, 2012 年正式面向全世界天文学家开放。目前丽江天文观测站已经走过了两个重要的发展阶段: (1) 丽江站的基础建设和 2.4 m 望远镜的安装调试阶段; (2) 以 2.4 m 望远镜为主的天文实测和天文研究平台建设阶段。目前正在向“望远镜及终端控制系统集成升级和天文观测服务平台优化”阶段迈进。丽江站台址信息监测系统的建设就是“天文观测服务平台优化”中的一部分。

本文论述的台址信息监测系统, 是指对一个光学天文台站 (固定或候选) 进行长期的大气参数测量和仪器设备监控的一套系统。通过该系统所获取的数据, 将为“衡量一个天文光学台址的观测条件”提供科学依据, 为程控自主天文台的正常运行提供数据支撑。较为完善的光学天文台址信息监测系统需要采集的参数如图 1 所示, 该系统由天文气象站和天文监测站组成, 分别实现对气象条件、天文观测条件的监测和天文设备运行状态的监控。



图 1 光学/近红外天文台址信息监测系统

天文气象站是一个相对较新的概念, 它有别于传统的气象站, 是专门针对天文观测所需, 结合最新的硬件、技术和工具等组合在一起的一个系统^[5, 6]。其采集的参数包括: 气象六要素、大气视宁度、天光背景、大气消光、云量、水汽含量、沙尘、太阳辐射、紫外辐射等。天文监测站是对天文设备和全天信息进行在线监视的系统, 可使观测者对实时的设备信息和观测条件有一个判断依据。

3.1 系统硬件部分

丽江站台址信息监测系统的框架是根据其自身台址条件和特点而设计的,例如:常年无沙尘、大风天气极少等。其硬件部分由三个系统具体实现,分别是大气参数测量系统(气象站、大气视宁度监测仪)、全天信息采集系统(包含全天图像、天光背景和全天云量的采集设备)和设备监控系统。具体的采集设备或传感器的信息见表7。气象站采用的是成熟的商业产品,出厂前都经过严格的定标、校准和测试,其主要技术指标如表8所示。

表7 站址信息采集设备信息

| 设备名称 | 型号 | 安装位置 | 主要功能 | 采样间隔 |
|----------|------------------|----------|-------------------------------|--------|
| 气象站 | Davis VantagePro | 距离地面 8 m | 温度、相对湿度、气压、降水、风速、风向、太阳辐射和紫外辐射 | 1 min |
| 大气视宁度监测仪 | ADIMM | 距离地面 1 m | 大气视宁度 | 1 min |
| 天光背景 | SQM-LE | 距离地面 3 m | 天顶附近的 V 波段天光背景亮度,单位是星等每平方角秒 | 1 min |
| 全天相机 | 自主研发 | 距离地面 3 m | 采集整个天空的图像 | 1 min |
| 云量计 | 自主研发 | 距离地面 3 m | 采集整个天空的云量 | 1 min |
| 监控相机 | Axis | — | 非红外相机,通过长积分实现夜视效果 | 0.03 s |

表8 气象站的主要技术指标

| 测量参数 | 范围 | 分辨率 | 精确度 |
|-------|-------------------------|--------------------|---------|
| 温度 | -40°C~65°C | 1°C | ±0.5°C |
| 相对湿度 | 0%~100% | 1% | 3% |
| 露点 | -76°C~54°C | 1°C | 1.5°C |
| 风速 | 1~67 m/s | 0.1 m/s | ±5% |
| 风向 | 0~360 | 1° | 4° |
| 大气压 | 0~1080 hPa | 0.1 hPa | 1.0 hPa |
| 降水 | 0~9999 mm/d | 0.2 mm | ±4% |
| 太阳辐射 | 0~1800 W/m ² | 1 W/m ² | 5% |
| 紫外线指数 | 0~16 Index | 0.1 Index | 5% |

全天信息采集系统是一台包含全天图像、天光背景和全天云量等数据的采集和处理功能于一体的设备,由云南天文台研制,符合IP67防水等级封装标准,具备全自动运行和自动除雨雪功能。为南极中山站特殊研制了一台耐低温型全天信息采集系统,最低工作温度可以达到-45°,2016年3月投入使用。全天相机^[7]采用CMOS相机和鱼镜头组合方式实现,每分钟采集一幅全天图像(360°×180°全天视场);天光背景计采用加拿大生产的成熟产品^[8],国际暗夜协会专门指定了相关标准,便于世界上各大天文台之间进行比对。云量计的设计思

想是: 首先得到天空红外温度 T_s 与地面环境温度 T_a 的差值 T_d , 然后比对全天云图中云量^①, 找出云量 C 和 T_d 之间的对应关系, 建立云量和晴朗度之间的关系公式, 简称云晴公式 (见式 1)。其物理原理是: 不论白天或夜晚, 云在红外波段都具有相同的红外辐射特性, 而大气的温度主要来自于地面的长波辐射, 因此天空的温度是自下而上逐渐变冷的。天空中云量越多, 吸收的地面辐射就越多, 温度就越高。通过天空温度和地表温度的差值就可以得到天空中云量的数值:

$$C = 10 - K \times T_d \quad . \quad (1)$$

在公式 (1) 中, T_d 被定义为晴朗度, $K \times T_d$ 被定义为当地晴朗度, 其中系数 K 与当地气候和地形等因素有关。

丽江站 DIMM^[9] 自 2011 年设计完成, 2015 年升级为全自动 DIMM 系统, 简称 ADIMM, 该系统的关键参数如表 9 所述。

表 9 丽江站 ADIMM 系统参数

| 设备 | 有效口径 /mm | 安装相机 | 像元尺寸 / μm | 定标焦距 /mm | 定标比例尺 /(") $\cdot \text{pixel}^{-1}$ | 视场 /(') |
|------------|-------------|----------|-------------------------|-------------|---|------------|
| MeadeLX200 | 3048 | ASI174MM | 5.86 | 2912 | 0.4 | 6 |
| 65Q APO | 65 | QHY5-II | 3.75 | 407 | 1.9 | 30 |

2013 年 4 月 14 日夜, 丽江站 DIMM (2.4 m 望远镜旁测量) 与安光所 DIMM (1.8 m 望远镜旁测量) 观测的大气视宁度数据如图 2 所示, DIMM 测量的大气参数是 Fried 参量 r_0 , 其物理含义是“湍流的光学相干长度”, 单位是 cm。 r_0 是大气湍流的光学本征参量, 同时也代表了地面望远镜实现衍射极限分辨率成像 (又称空间分辨率) 的临界口径^[10, 11]。该参数对应的点扩散函数的半高全宽 (Full Width at Half Maximum, FWHM) 可由式 (2) 计算得出。FWHM 的单位是弧度, 其对应的角度数值通常用 θ 来表示, 称为大气视宁度。需要补充说明的是: 短时曝光的点扩散函数与长时曝光的点扩散函数不一致, 只有曝光时间小于大气冻结时间时, 才被称为短时曝光, 对应的点扩散函数 FWHM 才被称为大气视宁度; 曝光时间长于大气冻结时间时, 对应的点扩散函数会产生退化, 此时的 FWHM 代表的仅是星像半宽, 并非大气视宁度, 即

$$FWHM = 0.98 \cdot \lambda / r_0 \quad . \quad (2)$$

由于两台 DIMM 相距较近 (大概 100 m), 因此可以认为两者测量的大气性质基本一致。丽江站 DIMM 测量的 r_0 均值 11.48 cm, 安光所 DIMM 测量的 r_0 均值 10.26 cm, 对应的大气视宁度测量结果相差 0.11"。计算得出两者的皮尔逊相关系数为 0.5 (皮尔逊相关系数计算公式如式 (3)), 说明两套 DIMM 系统测量结果具有很好的相关性:

$$\rho = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X - E[X])(Y - E[Y])]}{\sigma_X \sigma_Y} \quad . \quad (3)$$

^①云量是指云占据总天区面积的成数。天文上常用 0 ~ 10 来衡量云的多少: 全天无云时, 云量为 0; 天空完全被云所遮蔽时, 云量为 10。

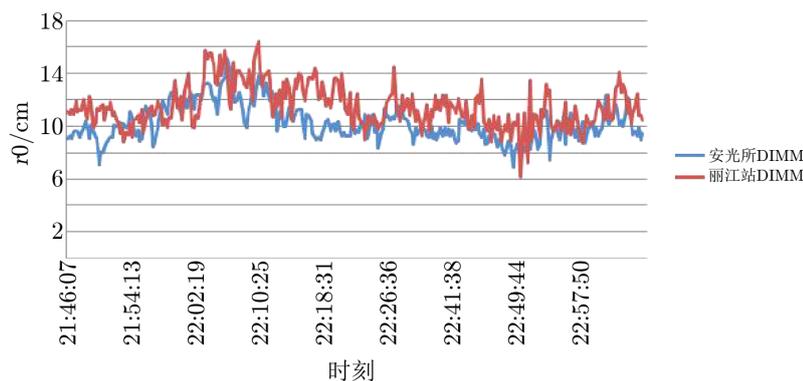


图 2 丽江站 DIMM 与安光所 DIMM 对比观测

3.2 数据存储与发布

丽江站台址信息监测系统采集的数据都统计存储在一台 Linux 服务器上, 并提供了实时数据的统一发布平台^①, 具体功能是借助 LAMP 架构来实现的。图 3 左侧一栏提供的信息来自气象站和全天信息采集系统; 图 3 中间显示的是由全天相机采集的实时全天云图图像; 图 3 右侧一栏是台址天文公共信息的展示, 包括儒略日、世界时、月亮信息、太阳信息、恒星时 (使用 Python 天文包^② 计算得出) 等信息, 以及常用网站链接和离线版恒星高度查询等软件 (使用 C/C++ 开发) 下载链接等。

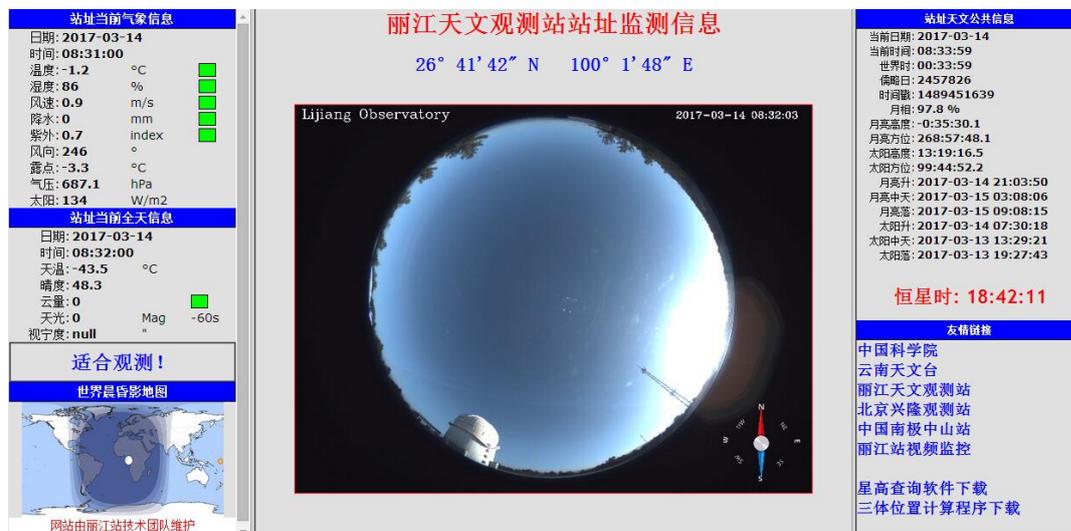


图 3 丽江站台址信息监测系统网页

^①<http://weather.gmg.org.cn:9000/>

^②python 天文包: pyephem, astLib

经过多年的实测经验, 我们总结出丽江站 2.4 m 望远镜的观测条件阈值表 (见表 10)。通过站址实时环境参数与阈值进行比较, 来判断 2.4 m 望远镜的可观测状态。具体分为三类: 适合观测、谨慎观测和禁止观测。基于这些气象条件阈值严格限定下的观测可以保证望远镜及终端设备的安全。该阈值表仅限于 2.4 m 望远镜使用, 对于站内其他望远镜, 由于其圆顶构造方式、望远镜机械结构和总重量等关键参数都不相同, 因此其观测条件阈值表也会不同。例如: 1.8 m 望远镜, 因为其圆顶是完全敞开式, 其对相对湿度的要求就严格得多, 当大气相对湿度超过 85% 就必须停止观测, 否则就可能导致主镜面的结露现象, 对主镜膜层造成不同程度的破坏作用; BOOTES4 望远镜的圆顶同样是完全敞开式的, 对于相对湿度有同样严格的要求, 另外由于此望远镜为了满足快速响应的要求, 设计重量很轻, 因此其抗风能力就差得多, 对应的风速阈值就比 2.4 m 望远镜低得多。

表 10 观测条件阈值表

| 参数 | 适合观测 (绿色) | 谨慎观测 (蓝色) | 禁止观测 (红色) |
|--------------------------------------|----------------|----------------|-------------------|
| 温度 $T / ^\circ\text{C}$ | $-25 < T < 40$ | - | $T > 40, T < -25$ |
| 湿度 $RH / \%$ | $RH < 90$ | $90 < RH < 95$ | $RH > 95$ |
| 风速 $WS / \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ | $WS < 2$ | $2 < WS < 10$ | $WS > 10$ |
| 降水 R | $R = 0$ | - | $R \neq 0$ |
| 云量 C | $C < 3$ | $3 < C < 6$ | $C > 6$ |

4 丽江站台址条件

丽江站目前积累了大量的台址信息监测系统采集的数据, 通过对一个年度的数据进行分析, 可以得出基本的台址天文观测条件, 为评价丽江站的夜天文观测条件提供了科学依据。

4.1 气象条件

本节以 2014 年为例, 具体介绍丽江站的基本气象特征。2014 年, 气象站共采集到 456 984 组气象数据信息, 通过分析这些数据得出: 丽江站的年均气温是 8°C , 年均湿度是 71.9%, 年均风速是 1.36 m/s, 年均气压是 689.7 hPa, 即相当于 0.68 atm。在丽江站, 水的沸点约为 89.5°C 。

图 4 a) 显示了丽江站各个月份温度的平均值、最大值和最小值情况。2014 年丽江站全年最高温度 23.5°C (6 月), 最低温度 -5.4°C (2 月), 全年的温度变化幅度较小。图 4 b) 显示的是丽江站全年相对湿度变化情况。由图可知: 6 月至 9 月的平均相对湿度都大于 80%, 是典型的雨季时期; 而 10 月至次年的 5 月是适宜天文观测的旱季。根据统计结果, 全年相对湿度小于 60% 的天数有 102 d, 全年相对湿度小于 95% 的天数有 281 d。由于 2.4 m 望远镜圆顶是半封闭式圆顶, 且有除湿和通风循环系统, 有效地降低了圆顶内部的相对湿度。根据实际观测经验, 2.4 m 望远镜可以在外部湿度低于 95% 的条件下正常开展天文观测。

图 5 显示的是丽江站全年风速变化情况。全年风速低于 1 m/s 的天数是 188 d, 90% 以

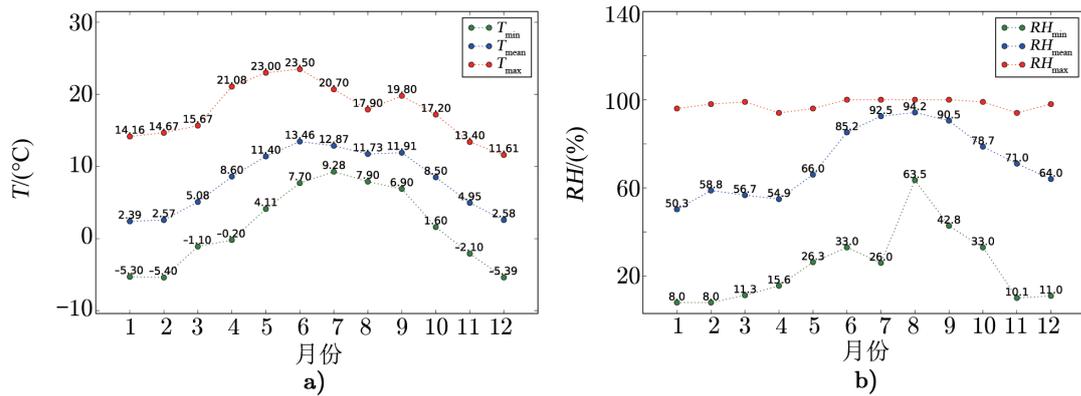


图 4 2014 年丽江站温湿度变化情况

上的风速都小于 3 m/s, 丽江站是一个大气较为宁静的台站。全年 82% 的风向来自西南方向, 这也是丽江地区具有的西南季风气候的典型特征。

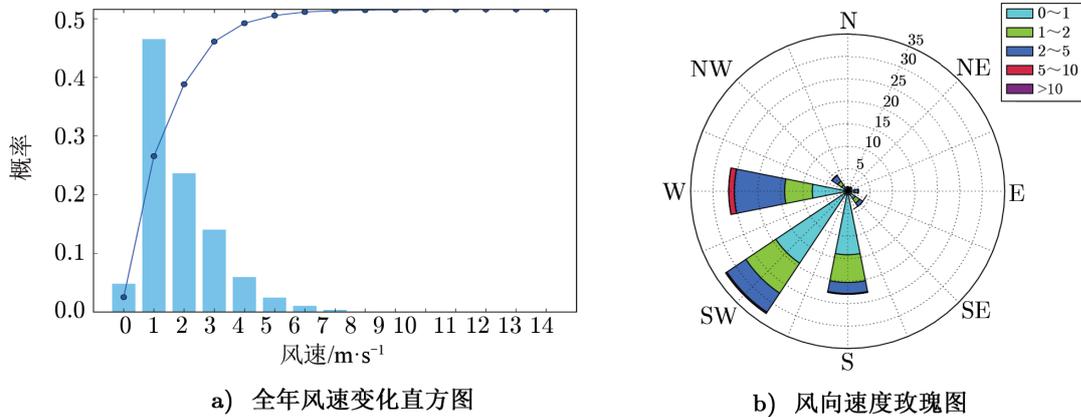


图 5 2014 年丽江站风速变化情况

4.2 全天云量

衡量一个天文台址天文观测条件的一个很重要的指标是晴天数, 因为它直接关系到望远镜的可观测时间。台址信息监测系统中采集的全天云量数据, 可以很好地反应丽江站的可观测小时数或可观测夜数。图 6 给出了 2015 年月均云量统计情况, 由图可知, 10 月至次年 5 月是丽江站的观测季, 云量较少 (均值 3.2); 而 6 月至 9 月是丽江站的非观测季, 云量较多 (均值 8.2)。

图 7 显示的是 2015 年丽江站全年的可观测夜数和可观测小时数的统计情况。可观测夜的定义标准各不相同, 如果按照每夜可观测时间大于等于 3 h 为一个可观测夜, 2015 年丽江站的可观测夜是 170 d, 总可观测小时是 1481.9 h; 而 2014 年的可观测夜是 211 d, 总可观测小时是 1938.8 h。由于受厄尔尼诺影响, 2015 年 4 月份的可观测小时和可观测夜明显少于

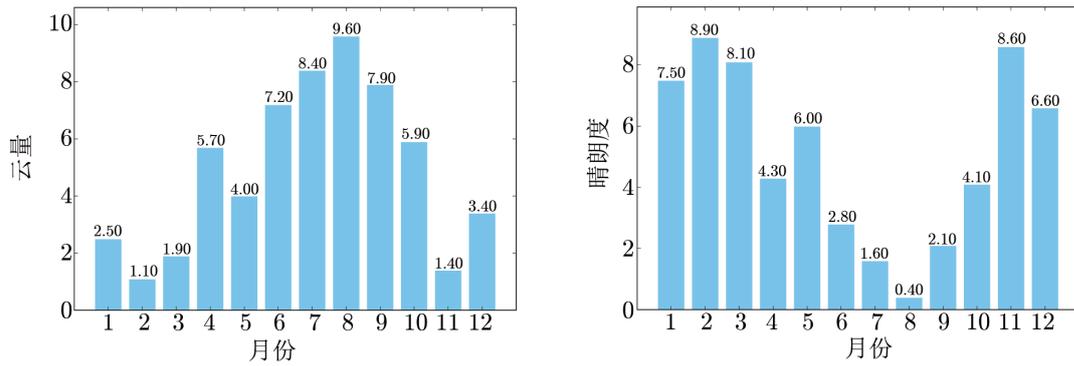


图6 2015年丽江站云量统计

往年, 而且2015年全年的总可观测时间比正常年份少很多。

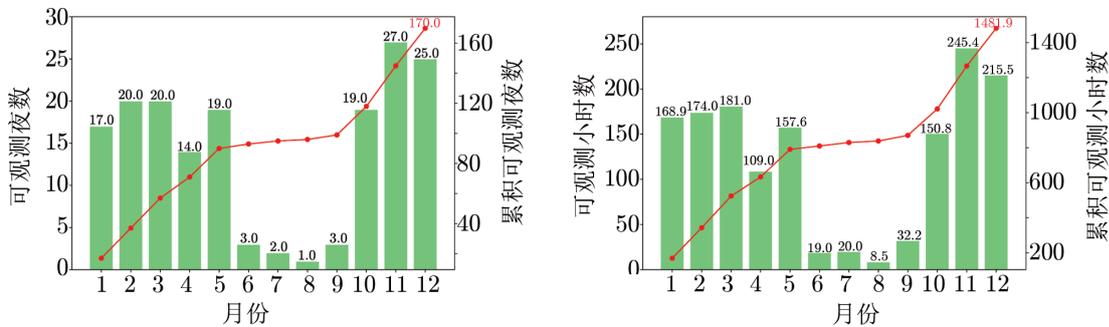


图7 2015年丽江站实际可观测时间

4.3 天光背景

天光背景是衡量一个天文台址暗夜程度和光污染程度的参数。在云量为零的情况下, 天光背景的数值越大, 说明台址的夜空背景越暗, 光污染越少。2014年丽江站天光背景最大值是22.06 mag (V波段), 西班牙La Palma岛上的夜天光背景最大值是21.9 mag (V波段)^[12]。由此可知, 两个台址的天光背景条件是相当的。

4.4 大气视宁度

在近地面, 湍流随离地的高度增加而迅速减弱, 达到一定高度后, 减弱程度就会明显变慢, 这个拐点处的高度就是望远镜安装的合适高度。2.4 m望远镜在高美古选址时, 通过微温测量, 得到高美古的拐点高度是13~15 m^[13, 14], 因此2.4 m望远镜的中心距离地面高度为15 m, 有效地避开了地表相对剧烈的湍流。而ADIMM安装在2.4 m望远镜圆顶旁边的小圆顶内, 距离地面高度仅1 m左右, 与2.4 m望远镜等高的ADIMM塔正在建设中。ADIMM的曝光时间在4~8 ms之间, 是根据观测目标星的星等自动调整的, 防止因星像饱和而带来的测量误差。表11列出丽江站ADIMM系统实测的Fried参量^[15]及夜间大气视宁度数值, 记录的这13 d数据的总视宁度平均值是1.18" (归算到天顶)。由于设备的自动化

实验以及在其他站点的测量, 目前还没有基于此 ADIMM 系统在丽江站全年的大气视宁度数据。

表 11 丽江站 ADIMM 测量的视宁度数据

| 日期 | 采集数据 | $r0_{\max}/\text{cm}$ | $r0_{\min}/\text{cm}$ | $r0_{\text{mean}}/\text{cm}$ | 视宁度均值/(") |
|------------|------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|-----------|
| 2013-01-17 | 1006 | 11.95 | 3.47 | 6.95 | 1.6 |
| 2013-04-14 | 297 | 16.59 | 6.14 | 11.34 | 0.98 |
| 2013-04-15 | 472 | 12.35 | 4.33 | 8.62 | 1.29 |
| 2013-04-20 | 570 | 12.08 | 6.58 | 8.82 | 1.26 |
| 2014-11-20 | 2246 | 15.23 | 3.6 | 9.42 | 1.18 |
| 2014-11-21 | 1490 | 13.24 | 3.86 | 7.88 | 1.41 |
| 2016-10-03 | 66 | 15.66 | 6.28 | 11.83 | 0.94 |
| 2016-10-04 | 2030 | 20.21 | 5.2 | 12.93 | 0.86 |
| 2016-10-19 | 127 | 16.59 | 8.62 | 12.35 | 0.9 |
| 2016-10-20 | 126 | 14.82 | 8.49 | 11.34 | 0.98 |
| 2016-10-23 | 843 | 12.93 | 3.83 | 8.12 | 1.37 |
| 2016-10-24 | 23 | 11.12 | 6.54 | 8.69 | 1.28 |
| 2016-10-25 | 332 | 10.02 | 6.25 | 8.42 | 1.32 |

4.5 综合评价

综上所述, 丽江天文观测站是目前国内最优秀的光学天文台址之一, 各项天文观测环境指标已经达到或接近世界一流天文台站水平。基于丽江站的台址信息参数和实际年度可观测小时数, 我们对 2.4 m 望远镜的观测时间段进行了一个划分: 优 (11 月至来年 4 月), 良 (5 月和 10 月), 差 (6 月至 9 月)。具体如表 12 所示。

表 12 丽江天文观测站观测时段分级

| 观测区间 | 等级 | 云量 | 相对湿度/% | 风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ | 降水 |
|-------------|----|------|--------|----------------------------------|----|
| 11 月至来年 4 月 | 优 | < 3 | < 65 | < 2.3 | 极少 |
| 5 月、10 月 | 良 | < 6 | < 80 | < 2 | 较少 |
| 6 月至 9 月 | 差 | < 10 | < 100 | < 1.7 | 较多 |

5 总结与展望

丽江天文观测站对全世界开放观测申请, 至今已有 5 年多, 在高红移类星体的发现^[16]和研究、活动星系核黑洞质量测量和内部结构研究、超新星发现和研究、时域天文、伽玛暴、系外行星搜寻等领域发挥了重要作用。丽江站台址信息监测系统的建设, 不仅满足了站内各自动化望远镜的观测需求, 也为天文望远镜的观测控制系统 (OCS) 提供了数据支撑, 而借助观测控制系统, 可以显著提高望远镜的使用效率和科学产出能力^[17, 18]。另外, 通过该系统获取的台址信息数据, 为我们评价丽江站观测条件提供了科学依据, 便于同国内外其他天文台

址进行比较。基于台址信息的历史数据, 我们还可以分析和预测出台址观测条件的变化趋势。该系统的建设同时为我国下一代大型光学望远镜的选址工作提供了借鉴意义。

致谢

感谢丽江站技术和科学团队的每一名成员, 特别感谢国家天文台兴隆观测站的姜晓军老师、王建峰老师、邱鹏老师, 以及 LAMOST 团队的崔辰州老师、曹子皇老师等给予的支持和帮助。

参考文献:

- [1] 范玉峰, 辛玉新, 等. 天文研究与技术, 2015, 12: 78
- [2] 崔辰州, 李建, 等. 天文学进展, 2013, 31: 141
- [3] Fan Y, et al. RAA, 2015, 15: 918
- [4] Zhang J C, Ge L, Lu X M, et al. PASP, 2015, 127: 1292
- [5] Vernin J, Benkhaldoun Z, Munoz-Tunon C. ASP Conference Series, 2002, 266: 498
- [6] Radu A A, Angelescu T, et al. MNRAS, 2012, 422: 2262
- [7] 彭焕文, 辛玉新, 等. 天文研究与技术, 2015, 12: 89.
- [8] Pierantonio C. INSTIL Internal Report, Padova: INSTIL, 2005: 4
- [9] 辛玉新, 王传军, 范玉峰, 等. 天文研究与技术, 2012, 9: 397
- [10] 谭徽松, 等. 实测天体物理, 北京: 国防工业出版社, 2012: 20
- [11] 刘忠, 仇朴章, 等. 天文研究与技术, 1993, 4: 22
- [12] Muñoz-Tuón C. New Astronomy Reviews, 1998, 42: 184
- [13] 岑学奋, 钱铜铃, 等. 天文研究与技术, 2002, 4: 45
- [14] 谭徽松, 钱铜铃, 等. 天文研究与技术, 2002, 4: 51
- [15] Sarazin M, Roddier F. A&A, 1990, 227: 294
- [16] Wu X B, et al. Nature, 2015, 518: 512
- [17] 赵永恒. 科研信息化技术与应用, 2012, 4: 11
- [18] Kim Gillies, Shane Walker. ASP Conference Series, 1996, 101: 347

Astronomical Site Monitoring System of Lijiang Observatory

XIN Yu-xin^{1,2,3,4}, WANG Chuan-jun^{1,2,3,4}, FAN Yu-feng^{1,3,4}, LUN Bao-li^{1,3,4},
BAI Jin-ming^{1,3,4}, HE Shou-sheng^{1,3,4}, CHANG Liang^{1,3,4},
WANG Jian-guo^{1,3,4}, LIU Juan^{1,3,4}

(1. Yunnan Observatories, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650216, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Key Laboratory for the Structure and Evolution of Celestial Objects, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650216, China; 4. Center for Astronomical Mega-Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: Lijiang Observatory (also known as GMG) is at 100°01'48" (E), 26°41'42" (N),

3200 m above sea level, 40 km from Lijiang City. There are 8 telescopes: LiJiang 2.4-m Telescope (LJT), lijiang 1.8-m telescope, Sino-Thai 70-cm telescope (STT), Burst Optical Observer and Transient Exploring System 4 (BOOTES4), Yunnan-Hong Kong 45-cm Transiting Exoplanet Survey Telescope (TEST), 30-cm Automated DIMM, 9-cm Taiwan Automatic Telescope network 3 (TAT) and 10-cm Lijiang Coronagraph Telescope (LCT). Lijiang 2.4-m Telescope is a general-use optical telescope, which has 6 scientific instruments, different instruments can be changed in one minute by using the rapid instrument exchanging system. The instruments including: YFOSC (Yunnan Faint Object Spectrograph and Camera), PICCD (Princeton Instruments VersArray 1300B CCD Camera), LiJET (LiJiang Exoplanet Tracker), CHILI (China Lijiang Integrated Field Unit), HiRES (fiber-fed High-Resolution Echelle Spectrograph), EMCCD, et al. The Astronomical Site Monitoring System (ASMS) of Lijiang Observatory is composed of astro-climatic station (ACS) and astro-monitoring station (AMS). The ACS includes meteorological station, cloud sensor, brightness sensor and seeing monitor DIMM; the AMS includes the all-sky camera and video surveillance. Data acquisition frequency of the ASMS of Lijiang Observatory is 1 min for a set of data, we analysed a full year's data, summing up the basic observation condition of Lijiang Observatory. The average temperature is 8°C, the average relative humidity is 71%, the average wind speed is 1.36 m/s, more than 80% of the wind direction is southwest. The cloud amount is 3.2 in observing session, but 8.2 in non-observing session. The total observation time is about 2150 h, equal to 210 ~ 220 nights (if the observation time is longer than 3 h, it will be defined as an observation night). The average seeing is about 1.2", in conclusion, Lijiang Observatory is one of the best optical astronomical sites in China, it has good seeing condition and low wind speed, very transparent atmosphere and nearly no light pollution. The best observation session is from October to next May.

Key words: astronomical site monitoring system; astro-climatic station; cloud amount; seeing