

doi: 10.3969/j.issn.1000-8349.2023.01.01

兴隆观测基地夜天光数据统计与分析 (2021-2024)

毛益明 ^{1,2}, 吴宏 *², 葛亮 *^{1,2,3}, 田健峰², 陈勋浩², 王瑞²

(1. 西藏大学 理学院, 拉萨 850000; 2. 中国科学院 国家天文台 光学天文重点实验室, 北京 100101; 3. 北京师范大学天文与天体物理前沿科学研究所, 北京 100875)

摘要: 本文通过对兴隆观测基地的 SQM 数据进行了统计和分析, 给出了近年来的天顶处夜天光状况, 并分别以年度数据分析、季度数据分析和无月夜数据分析的方法给出了 2021 - 2024 年度兴隆观测基地的夜天光具体状况。我们发现, 在所有月面照明度小于 20% 的无月夜, 天顶处午夜 0 时夜天光亮度的中值和最佳天光亮度的中值分别为 21.32 等每平方角秒和 21.47 等每平方角秒。这表明了兴隆观测基地的无月夜天顶处夜天光亮度依然能够达到良好的水平, 兴隆观测基地依然维持着良好的光学观测能力。

关 键 词: 夜天光测量, 光污染

中图分类号: P111.2 **文献标识码:** A

1 引 言

日益增长的人造光污染成为了影响天文观测的重要因素^[1]。作为目前东亚最大的天文观测基地, 兴隆观测基地承担了国内和国际上的大量观测任务。重要的天文科学观测设施, 如 LAMOST^[2], 2.16 米望远镜^[3]等仍然在兴隆观测基地进行观测工作。然而, 由于兴隆观测基地距离北京、天津和唐山等大型城市较近, 再加之兴隆县本地的城市发展, 近年来的夜天光状况有所变化^[4]。早些年间, 已有文章工作对兴隆观测基地夜天光情况进行了系统的测量^[5, 6], 但在近些年来, 对兴隆观测基地夜天光的数据统计较少, 一些工作对兴隆观测基地的光学观测能力有所低估。例如杨等人^[7]在其文章所给的“表 2”中指出, 兴隆观测基地的无月夜夜天光亮度已经亮于 21 等, 但是却没有引用任何相关文章或给出数据来源。因此我们有必要对兴隆观测基地近年来的夜天光数据进行统计整理, 以数据说话, 对兴隆观测基地

收稿日期: 20xx-xx-xx; 修回日期: 20xx-xx-xx

资助项目: 国家自然科学基金 (11988101, 42075123)

通讯作者: 吴宏, hwu@bao.ac.cn; 葛亮, geliang@bao.ac.cn

的光学观测能力进行评估。

本文通过兴隆观测基地内的夜天光测量仪器 (Sky Quality Meter, SQM)^①的观测数据, 统计并给出兴隆观测基地的天顶夜天光亮度情况, 并与过去的数据进行对比, 旨在展现兴隆观测基地的真实夜天光状况及可能的变化。本文中使用的 SQM 型号为 SQM-LE, 配备了防水外罩, 安装在兴隆观测基地的测辅观测楼顶。需要指出, SQM 设备在长时间工作中如果不进行定期清洁, 会导致测量结果偏暗, 因此我们会对 SQM 感光窗口进行定期清洁, 以保证设备工作状态正常。

2 数据分析

为了统计兴隆观测基地近年来的夜天光情况, 我们对 SQM 的数据进行了整理和分析。由于 SQM 仪器持续监测天顶的夜天光背景亮度, 故本文中, 所有 SQM 数据均是天顶夜天光亮度。这里需要指出, 本文涉及的天光背景仅是天顶附近的天光背景, 后续数据分析结果也仅适用于天顶附近。随着高度角的下降, 天光背景显然会逐渐升高。

我们对每个月的数据进行了独立的统计。由于夜天光背景亮度会显著的随月相发生变化, 因此我们给出了一张夜天光背景的示例图。

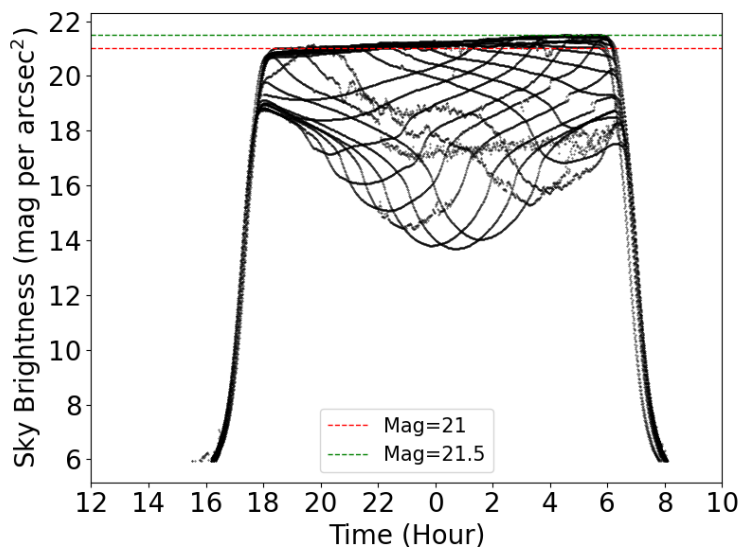


图 1 2021 年 12 月兴隆观测基地的天顶夜天光亮度数据, 共 23 天。红线和绿线分别对应亮度为 21 等和 21.5 等。

图 1 是 2021 年 12 月的夜天光背景亮度情况, 包含了 23 天有效观测数据。该图可以较为清晰直观地反应兴隆观测基地的夜天光状况。对于最好的无月的测光夜, 天顶夜天光亮度

^①<http://unihedron.com/projects/darksky/>

基本上暗于 21 等, 且由于周边城市的人类活动, 后半夜的夜天光亮度明显暗于前半夜。为了更加清晰地展现兴隆观测基地的夜天光情况, 我们对 SQM 数据进行了更加细致地分析, 包括了年度、季度和无月夜的数据分析。首先, 我们对 2021 年 3 月至 2024 年 7 月兴隆观测基地所有 SQM 记录的夜天光数据进行了统计。SQM 在该时间段内总共工作了 898 天, 其中所有 2.16 米望远镜有正式观测数据的夜晚对应的 SQM 夜天光数据有 535 天。通过和兴隆观测基地 2.16 米望远镜的观测夜进行了交叉, 保证了所测量夜天光与实际观测状况一致, 排除了无法观测的天气并保留了一些可能受到影响的数据, 以期客观地展现兴隆观测基地实测夜天光状况。表 1 展示了 SQM 数据的整体统计情况。后续的数据分析均采用交叉后的 535 天数据进行分析。

表 1 SQM 数据统计情况

时间段	SQM 总记录天数	与 2.16 米望远镜交叉后天数	百分比
所有	898	535	59.6%
2021	188	108	57.4%
2022	316	185	58.5%
2023	212	128	60.4%
2024	182	114	62.6%

2.1 年度数据分析

在年度数据分析中, 我们分析了兴隆观测基地自 2021 年 3 月至 2024 年 7 月, 与 2.16 米望远镜的观测夜交叉后的夜天光数据, 共 535 天。我们在年度数据分析和后续的分析中, 均使用每天午夜零点和每天最佳的天顶夜天光数据作为当天的两个数据参考点, 并进行统计分析。

图 2 中包含了四张子图, 分别展示了 2021-2024 年度兴隆观测基地天顶夜天光亮度的分布情况。可以看到, 在 2021-2024 年内, 每日午夜零点的夜天光亮度主要分布在 19-22 等之间, 而每日最佳的夜天光亮度则分布得更加集中, 主要分布在 21-22 等之间。此外, 我们对每日最佳夜天光亮度出现的时间也进行统计, 结果呈现在图 3 中。

理论上, 考虑月相影响, 每日最佳夜天光数据应当均匀地分布在前后半夜中, 而从图 3 中能够明显发现: 对于 2021 年到 2024 年的所有每日最佳数据, 其大部分都分布在午夜 0 点后到日出前的区间内。这与兴隆观测基地周边城市内的人类活动紧密相关, 在凌晨时分人类活动最少, 人造光污染影响通常达到最低。这种结果也符合之前在兴隆观测基地进行的夜天光测量工作^[8]。考虑到人类活动对夜天光亮度的影响, 我们再一次统计了疫情时期 (2021 年 4 月 - 2022 年 4 月) 和后疫情时期 (2023 年 4 月 - 2024 年 4 月) 的数据。我们按照同样的方法, 将每日午夜 0 点和最佳值结果暗于 21 的数据进行了整理, 结果呈现在表 2 中。从表 2 中我们能够发现: 在疫情时期, 每日 0 时夜天光暗于 21 等的观测夜占有观测夜总数的 46.8%, 同时每日最佳夜天光暗于 21 等的观测夜占到了所有观测夜总数的 74.1%; 在疫情过后, 这两个数值分别为 47.7% 和 75.8%, 没有发生显著的变化。结合上述两点可以发

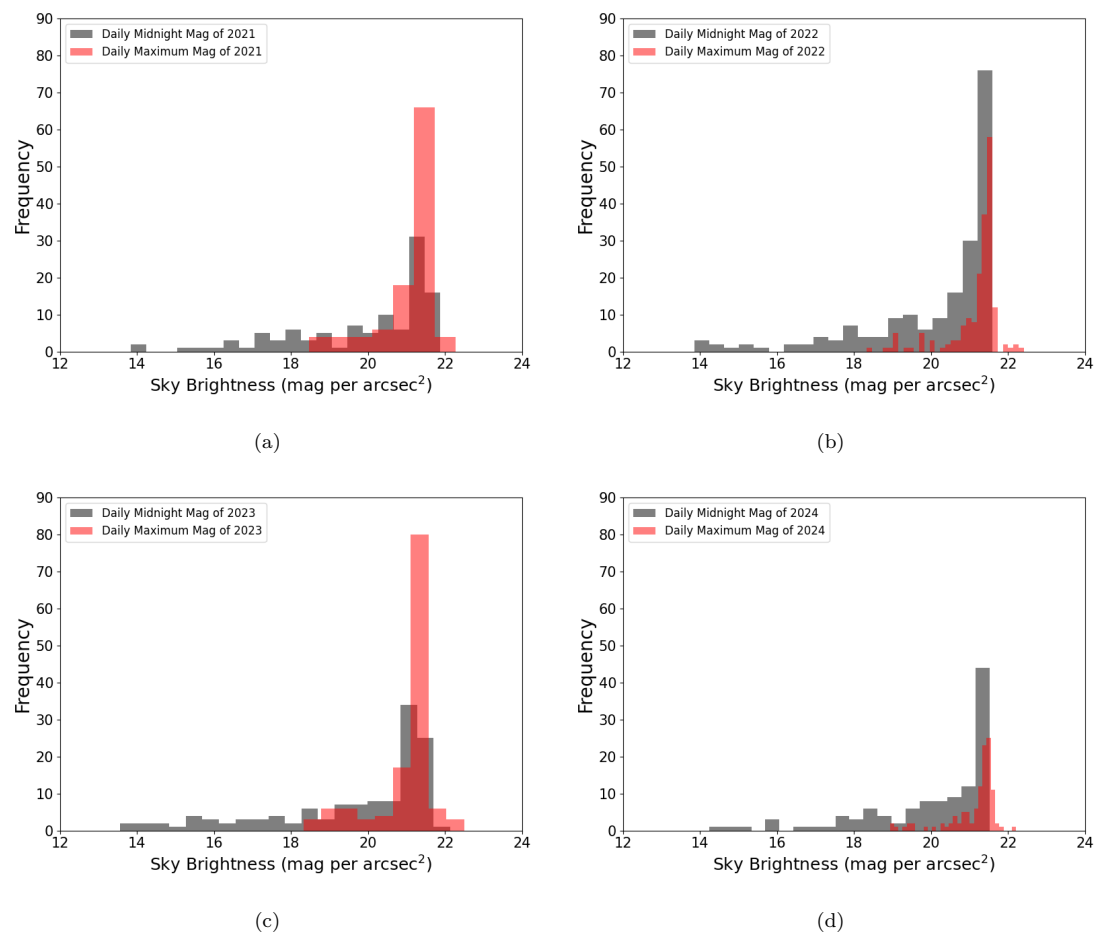


图 2 2021-2024 年度兴隆观测基地的天顶夜天光亮度数据分布直方图。图中黑色代表每日零点对应的夜天光亮度，红色代表每日最佳的夜天光亮度。

表 2 疫情时期和后疫情时期兴隆观测基地夜天光数据对比

时间段	总记录 天数 (D_N)	0 时 夜天光 >21 等总数 (D_0)	每日 最佳值 >21 等总数 (D_M)	0 时 占总天数比 ($\frac{D_0}{D_N}$)	最佳值 占总天数比 ($\frac{D_M}{D_N}$)
疫情 时期	158	74	117	46.8%	74.1%
后疫情 时期	128	61	97	47.7%	75.8%

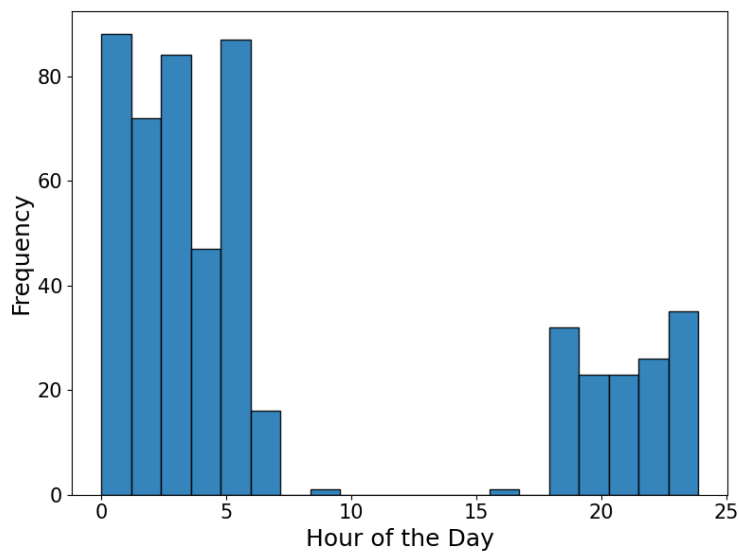


图 3 2021-2024 年兴隆观测基地每日夜天光最佳值的时间分布图。

现, 人类的灯光使用活动对兴隆观测基地的夜天光亮度影响较为显著, 但这些灯光活动在短时间 (1 个夜晚) 和长时间 (几年) 上都相对稳定。也就是说, 在统计的时间区间内, 周边人造光对兴隆观测基地夜天光的影响没有进一步扩大。我们统计了 2021 - 2024 年度的所有 2.16 米望远镜有正式观测数据的夜晚对应的 SQM 夜天光数据, 在不考虑月相的情况下, 所有观测夜午夜 0 时夜天光亮度的中位数为 20.88 等每平方角秒, 所有观测夜最佳夜天光亮度的中位数为 21.36 等每平方角秒。

表 3 给出了兴隆观测基地近年来的夜天光状况对比。Liu 等人^[5]通过对北天极区域进行长达六年的观测, 通过月光改正和流量定标得到了夜天光数据; Zhang 等人^[6]使用清华大学-国家天文台 80 公分望远镜进行实测, 通过流量定标方法给出了夜天光亮度数据; Yao 等人^[8]使用 SQM 数据对兴隆观测基地的无月夜夜天光进行了统计和计算, 通过拟合的方法给出了天顶的夜天光亮度。可以发现, 兴隆观测基地夜天光亮度依然维持良好, 这得益于现有的暗夜保护措施、生态文明建设等工作, 维护了兴隆观测基地的夜天光状况, 使兴隆观测基地仍有能力为光学天文观测服务。

表 3 兴隆观测基地不同时间段夜天光亮度对比

时间段	天顶夜天光亮度	无月夜天顶夜天光亮度	参考文章
1995 - 2001	21.2 - 21.0	-	Liu 2003 ^[5]
2007 - 2014	21.1	-	Zhang 2015 ^[6]
2010 - 2012	-	21.4	Yao 2013 ^[8]
2021 - 2024	20.88	21.32	本文

2.2 季度数据分析

对于兴隆观测基地而言，主要的观测季集中在 10 月至次年 6 月。本部分将对不同时间段兴隆观测基地的夜天光亮度情况进行分析，重点关注观测季的夜天光情况。我们按照 1 - 3 月，4 - 6 月，7 - 9 月和 10 - 12 月将每年的数据分成四部分，按照与之前相同的方法进行分析，并将不同年度的相同时间段进行合并统计，得到了表 4。

表 4 不同时间段兴隆观测基地夜天光数据对比

时间段	总记录 天数 (D_N)	0 时 夜天光 >21 等总数 (D_0)	每日 最佳值 >21 等总数 (D_M)	0 时 占总天数比 ($\frac{D_0}{D_N}$)	最佳值 占总天数比 ($\frac{D_M}{D_N}$)
2021 年 1 月 - 3 月	15	6	11	40.0%	73.3%
2021 年 4 月 - 6 月	53	30	42	56.6%	79.2%
2021 年 10 月 - 12 月	36	11	26	30.6%	72.2%
2022 年 1 月 - 3 月	63	31	46	49.2%	73.0%
2022 年 4 月 - 6 月	44	25	32	56.8%	72.7%
2022 年 10 月 - 12 月	52	27	43	51.9%	82.7%
2023 年 1 月 - 3 月	66	21	45	31.8%	68.2%
2023 年 4 月 - 6 月	28	16	21	57.1%	75.0%
2023 年 10 月 - 12 月	33	9	25	27.2%	75.8%
2024 年 1 月 - 3 月	66	35	50	53.0%	75.8%
2024 年 4 月 - 6 月	43	13	28	30.2%	65.1%
1 月 - 3 月总计	210	93	152	44.3%	72.4%
4 月 - 6 月总计	168	84	123	50.0%	73.2%
10 月 - 12 月总计	121	47	94	38.8%	77.7%

从表 4 中的数据可以看出，对于兴隆观测基地的观测季（10 月 - 次年 6 月）而言，能够在午夜 0 时达到 21 等以上的夜晚大约占有可观测夜的 45%，而当天最大值能够达到 21 等以上的夜晚大约占有可观测夜的 75%。此外，在 10 月 - 12 月的区间内，当天最大值能

够达到 21 等以上的夜晚相比来说更多, 说明在这个时间段内夜天光背景更低。需要说明的是, 7 月 - 9 月的雨季期间由于统计样本较少, 且在雨季期间有观测的数据往往集中在无月晴夜, 因此得到的结果不够准确, 因此并未进行占比统计。这和上一节中对疫情前后统计的总数据情况基本符合。可以发现, 对于所有进行了正式观测的夜晚, 约四分之三的日期中最佳夜天光都能达到 21 等, 表明了兴隆观测基地依然维持着相对良好的观测条件。

2.3 无月夜数据

对于实际观测而言, 无月夜的夜天光数据是最为关键的。在此部分, 我们将详细对无月夜的夜天光数据进行分析。我们从 2021 - 2024 年度的所有包含测光数据的日期进行筛选, 挑选出所有月面照明小于 20% 的日期, 作为无月夜的数据。首先, 我们在图 4 中给出了一个典型无月夜的夜天光数据。在图中标注了民用晨昏、航海晨昏和天文晨昏时段, 可以发现, 虽然在天文昏影结束后的约 2 小时内, 夜天光并未达到最佳, 但随着入夜时间变长, 人类活动减少, 兴隆观测基地的夜天光逐渐稳定并达到较为理想的值。图中展现的观测数据对应日期为 2022 年 3 月 3 日, 在天文晨昏内的最理想观测时间段, 夜天光的中值为 21.38 等每平方角秒。表 5 展示了对无月夜数据的统计情况, 我们仍通过对所有数据中午夜 0 时夜天光和每日最佳夜天光暗于 21 等出现的次数来展现兴隆观测基地的夜天光状况。

这里需要指出, 不同年份的无月夜数据差别较大并非由于筛选方法导致, 产生这种情况的主要原因可能有: 1、在不同的年份下, 不同数量的无月夜因天气原因无法观测; 2、SQM 在长时间上工作不够稳定, 在某些无月夜并没有观测; 3、记录时间从 2021 年 3 月至 2024 年 7 月, 对于 2021 年和 2024 年的数据记录不全。虽然无月夜在每年的数量有较大差异, 但并不会影响无月夜夜天光数据统计和分析的结论。

可以发现对于无月夜, 午夜 0 时达到 21 等以上的夜晚大约占有可观测夜的 86%, 而当天最大值能够达到 21 等以上的夜晚大约占有可观测夜的 96%。这意味着对于几乎所有可观测的无月夜, 兴隆观测基地的夜天光都能够达到 21 等。

表 5 2021 - 2024 年度兴隆观测基地无月夜夜天光数据对比

时间段	总记录 天数 (D_N)	0 时 夜天光 >21 等总数 (D_0)	每日 最佳值 >21 等总数 (D_M)	0 时 占总天数比 ($\frac{D_0}{D_N}$)	最佳值 占总天数比 ($\frac{D_M}{D_N}$)
2021 年至 2024 年	150	129	144	86.0%	96.0%
2021 年	24	21	23	87.5%	95.8%
2022 年	60	53	57	88.3%	95.0%
2023 年	30	22	29	73.3%	96.7%
2024 年	36	33	35	91.7%	97.2%

我们对这些数据进行了进一步计算并得到了表 6 中的数据。可以发现, 对于兴隆观测基地近年来的无月夜观测数据, 午夜 0 时夜天光的中值和每日最佳值的中值都保持了稳定。

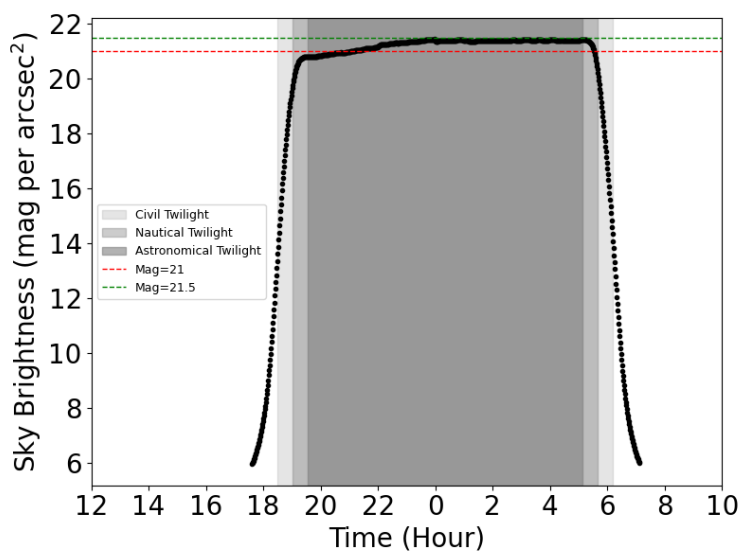


图 4 兴隆观测基地的一个无月晴夜夜天光状况，图中的数据记录自 2022 年 3 月 3 日。民用晨昏，航海晨昏和天文晨昏分别用由浅到深的三种灰度表示。

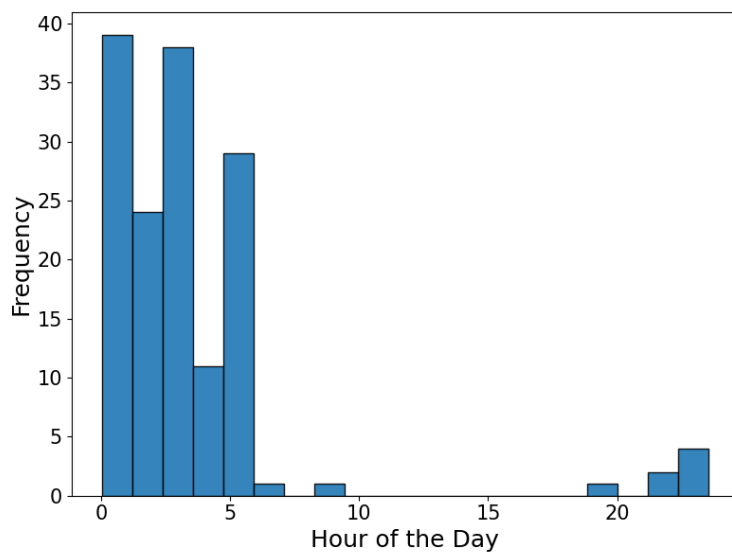


图 5 2021 - 2024 年兴隆观测基地无月夜夜天光最佳值的时间分布图。

同时，我们在图 5 中给出了无月夜夜天光最佳值随时间的分布直方图，可以发现，对于无月夜，几乎所有最佳值都出现在午夜 0 时以后的时间区间内。这说明了对于兴隆观测基地，无月夜午夜 0 时后，夜天光几乎能够全部达到 21 等以上，其中位数为 21.32 等，并且最佳值能够达到约 21.5 等。

表 6 兴隆观测基地无月夜数据统计表		
时间段	0 时夜天光 中值	每日最佳夜天光 中值
2021 年至 2024 年	21.32	21.47
2021 年	21.34	21.48
2022 年	21.32	21.48
2023 年	21.25	21.36
2024 年	21.34	21.49

在前面的数据分析方法中，我们采用了每晚 0 时和每晚最佳夜天光数据作为两个采样点，这样的采样方法虽然可以反映出夜天光数据的真实情况，但较为碎片化，对于观测来说可能不利。因此，我们还对天文晨昏内天光背景随时间的变化进行了统计，给出了统计直方图和分布图（图 6）。

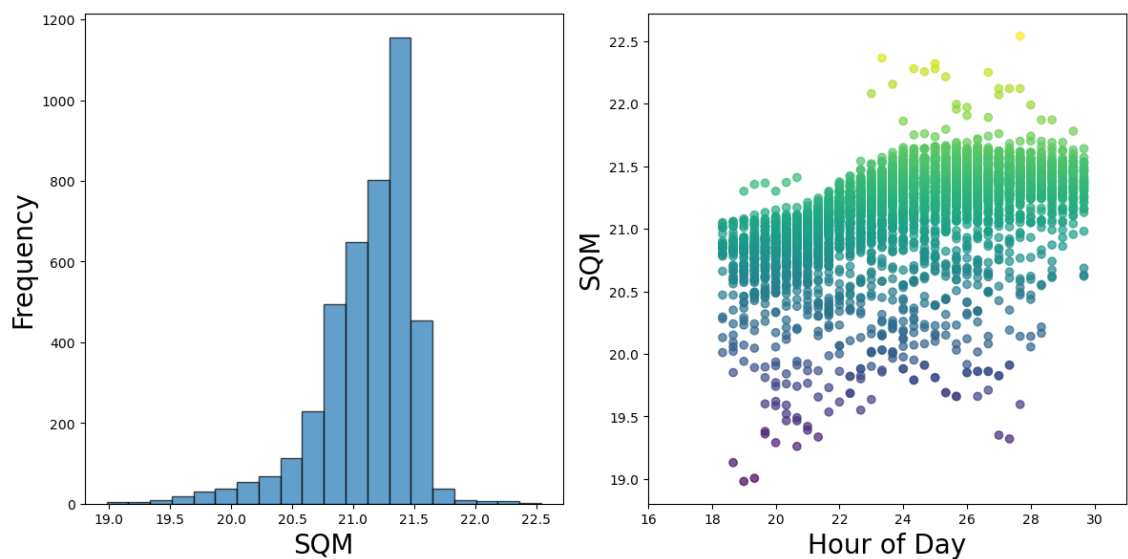


图 6 2021 - 2024 年兴隆观测基地的天文昏影时段内无月夜夜天光统计直方图和分布图。

可以发现，在无月夜的天文昏影区间内，兴隆观测基地的夜天光亮度的峰值分布在 21 - 21.5 等内；且随着入夜时间深入，后半夜的夜天光明显改善，相比刚入夜可以暗约 0.5 等。在所有统计的无月夜的天文晨昏内，兴隆观测基地夜天光的中值为 21.27 等。

3 讨论与总结

从本工作中,我们发现兴隆观测基地的无月晴夜夜天光亮度依然维持在一个良好的状态,并没有达到难以维持光学观测的水平。我们希望通过此次工作,给后续需要使用兴隆观测基地夜天光亮度的各种工作提供一个重要的参考。同时也针对一些工作,例如杨等人^[7]在文章中指出的,兴隆观测基地的无月夜夜天光亮度亮于 21 等的结论进行讨论与澄清;此外,由于兴隆观测基地近十年来缺乏正式夜天光统计的数据和结果,或许是造成对兴隆观测基地夜天光状况误解和低估的一个原因,因此本文也旨在对兴隆观测基地夜天光亮度的低估进行说明。需要注意的是,本文中所讨论的夜天光亮度是通过 SQM 对天顶进行观测而得到的天顶夜天光亮度,因此这可能与通过正式的观测设备实测、定标得到的结果有一定的差异。

SQM 在使用前需要进行准确的定标,才能保证观测数据的准确性。为了测量 SQM 设备测量和定标的准确度,我们将 SQM 同轴安装在一台望远镜上,进行同步观测,并将望远镜实际观测的数据进行流量定标,获得实测的夜天光数据。我们绘制了这两种方法得到数据的残差分布情况,得到了图 7。

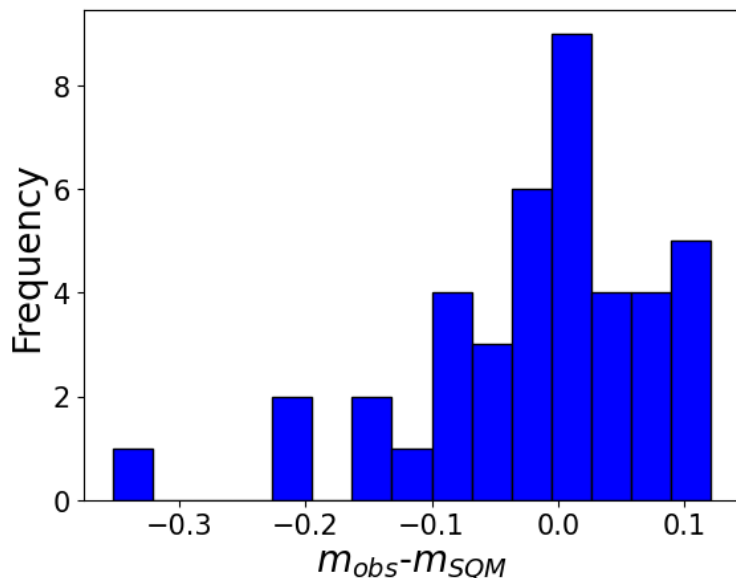


图 7 实际观测数据与 SQM 夜天光计残差的统计分布图。

从图 7 可以发现, SQM 在实际测量时存在约 0.1 - 0.2 星等的误差。在冷湖^[9]、德令哈^[10]等西部台址中,对夜天光的测量也使用到了 SQM 进行,因此也同样会引入一定的误差。

我们通过对兴隆观测基地 SQM 仪器测量得到的天顶夜天光数据进行筛选,给出了年度、季度和无月夜夜天光观测数据的分析,并得出了以下结论:

- (1) 从 2021 - 2024 年整体观测数据上看,兴隆观测基地的所有观测夜午夜 0 时夜天光

亮度的中值为 20.88 等, 所有观测夜夜天光亮度最佳值的中值为 21.36 等, 且最佳夜天光值大多来自午夜 0 时之后的观测时间。从疫情前后的数据来看, 没有发现明显的夜天光变化。

(2) 从季度分析上来看, 雨季观测样本较少且有效观测大多集中在无月夜期间, 统计结果有较大误差; 对于 10 月 - 次年 6 月的观测季, 约 44% 的观测日期其午夜 0 时夜天光亮度值能暗于 21 等, 约四分之三的观测日期其最佳夜天光亮度值能暗于 21 等。其中, 10 - 12 月观测季, 78% 的观测天数其最佳夜天光亮度值暗于 21 等, 说明兴隆观测基地在冬季的观测季中有更好的夜天光表现。

(3) 从所有无月夜的分析上来看, 大多数无月夜午夜 0 时后的夜天光都能够达到 21 等以上的水平, 且几乎所有无月夜的最佳值都达到了 21 等。无月夜午夜 0 时夜天光数据中值和无月夜最佳夜天光数据中值分别为 21.32 等和 21.47 等, 且这个数值在不同年度的无月夜中没有发生明显的变化。此外, 对整个天文晨昏内的观测情况进行统计发现, 无月夜后半夜的夜天光较前半夜有明显改善, 且夜天光亮度中值为 21.27 等, 依然维持在很好的水平。

(4) 和往年兴隆观测基地的数据进行对比, 可以发现天光背景亮度逐渐趋于稳定。对于绝大多数无月夜, 兴隆观测基地的夜天光背景中值仍能稳定维持在 21 等以上。

这里需要指出, 本文涉及的天光背景仅是天顶附近的天光背景, 因此以上数据分析结果仅适用于天顶附近。

可以发现, 对于观测条件适宜的无月夜, 兴隆观测基地夜天光亮度中值仍能够达到 21.3 等左右; 对于全年的所有观测夜, 在不考虑月相的情况下, 天顶夜天光亮度的中值仍能够达到 20.8 等左右。这表明了兴隆观测基地仍然有能力继续为国内的光学天文观测提供支持。

致谢

本文由国家重点研发计划 (项目编号: 2023YFA1609700) 资助。

参考文献:

- [1] Green R F, Luginbuhl C B, Wainscoat R J, et al. A&AR, 2022, 30:1.
- [2] Liu L Y, Yao Y Q, Wang Y P, et al. RAA, 2010, 10(10):1061-1070.
- [3] Fan Z, Wang H J, Jiang X J, et al. PASP, 2016, 128:115005.
- [4] Huang F, Li J Z, Wang X F, et al. RAA, 2012, 12(11):1585-1596.
- [5] Liu Y, Zhou X, Sun W H, et al. PASP, 2003, 115:495-501.
- [6] Zhang J C, Ge L, Lu X M, et al. PASP, 2015, 127:1292-1306.
- [7] 杨晨, 邓李才, 杨帆等. 天文学进展, 2024, 42(2):257-275.
- [8] Yao S, Zhang H T, Yuan H L, et al. RAA, 2013, 13(10):1255-1268.
- [9] Deng L C, Yang F, Chen X D, et al. Nature, 2021, 596:353-356.
- [10] Tian J F, Deng L C, Zhang X B, et al. PASP, 2016, 128:105003

Statistical Analysis of Night Sky Brightness Data at Xinglong Observatory (2021-2024)

MAO Yi-ming^{1,2}, WU Hong^{*2}, GE Liang^{*1,2,3}, TIAN Jian-feng², CHEN Xun-hao²,
WANG Rui²

(1. College of Science, Tibet University, Lhasa, 850000, P. R. China; 2. CAS Key Laboratory of Optical Astronomy, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, P. R. China; 3. Institute for Frontiers in Astronomy and Astrophysics, Beijing Normal University, Beijing 100875, P. R. China)

Abstract: This study organized and analyzed SQM data from the Xinglong Observatory, providing an overview of the [zenith](#) night sky brightness conditions. The specific status of the [zenith](#) night sky brightness at Xinglong Observatory from 2021 to 2024 was analyzed using annual data analysis, quarterly data analysis, and moonless night data analysis. We found that among all recorded moonless nights, with lunar illumination less than 20%, the median [zenith](#) night sky brightness at midnight was 21.32 and the best [zenith](#) night sky brightness was 21.47 mag arcsec⁻², respectively. This indicates that Xinglong Observatory continues to maintain good optical observation capabilities.

Key words: sky brightness measurement, light pollution