www.csdata.org

ISSN 2096-2223
CN 11-6035/N

文献 DOI：
10.11922/csdata.2020.0098.zh
数据 DOI：
10.12176/01.05.042
10.12176/01.05.054
10.12176/01.05.061
10.12176/01.05.047
10.12176/01.05.040
10.12176/01.05.051
10.12176/01.05.059
10.12176/01.05.045
10.12176/01.05.041
10.12176/01.05.052
10.12176/01.05.060
10.12176/01.05.046

文献分类：地球科学

收稿日期：2020-11-10
开放同评：2020-12-11
录用日期：2021-05-19
发表日期：2021-06-30

* 论文通信作者
薛向辉：xuexh@ustc.edu.cn
易帆：yf@whu.edu.cn
焦菁：jjiao@swl.ac.cn

专题 国家重大科技基础设施子午工程

2010–2020 年激光雷达数据集

吴佛菊 [1]，薛向辉 [2*]，易帆 [3,4,5*]，焦菁 [1*]，陈廷娣 [2]，余长明 [3,4,5]，
柳付超 [3,4,5]，杨国韬 [1]，王继红 [1]，杜丽芳 [1]

1. 中国科学院国家空间科学中心，空间天气学国家重点实验室，北京 100190
2. 中国科学技术大学，地球和空间科学学院，合肥 230026
3. 武汉大学电子信息学院，武汉 430072
4. 地球空间环境与大气测量教育部重点实验室，武汉 430072
5. 大气遥感国家野外科学观测研究站，武汉 430072

摘要：中层顶区域存在着大量的金属原子和离子，这些金属原子和离子可作为示踪剂去研究中层顶区域的动力学和化学过程。激光雷达是探测金属原子离子的最有利工具。激光雷达数据集对于研究中层顶大气金属层以及电离层和中高层大气的耦合具有重要意义。激光雷达数据集根据子午工程一期北京、武汉、合肥和海口台站的钠激光雷达和瑞利激光雷达探测得到的回波光子获得。本数据集包括30–80 km 的瑞利散射光子计数以及反演出的中层大气密度和温度数据、80–110 km 的荧光散射光子计数和钠密度数据。通过对本数据集的分析可以得到金属钠密度对低层大气中重力波、潮汐波的响应，金属钠层的长期和短期变化、突发钠层与突发 E 层之间的关系以及中层大气的密度和温度变化。本数据集为空间物理学研究提供了更多的数据保障。

关键词：激光雷达；金属钠层；中层大气密度；中层大气温度

数据库（集）基本信息简介

数据库（集）名称	2010–2020 年激光雷达数据集
数据作者	北京延庆站激光雷达钠层密度：中国科学院国家空间科学中心 合肥科大站激光雷达钠层密度：中国科学技术大学 武汉珞珈山台激光雷达钠层密度：武汉大学 海南海口站激光雷达钠层密度：中国科学院国家空间科学中心 北京延庆站激光雷达大气密度：中国科学院国家空间科学中心 合肥科大站激光雷达大气密度：中国科学技术大学 武汉珞珈山台激光雷达大气密度：武汉大学 海南海口站激光雷达大气密度：中国科学院国家空间科学中心 北京延庆站激光雷达大气温度：中国科学院国家空间科学中心 合肥科大站激光雷达大气温度：中国科学技术大学 武汉珞珈山台激光雷达大气温度：武汉大学 海南海口站激光雷达大气温度：中国科学院国家空间科学中心

数据通信邮箱	北京延庆站激光雷达钠层密度：gtyang@spaceweather.ac.cn 合肥科大站激光雷达钠层密度：xuexh@ustc.edu.cn 武汉珞珈山台激光雷达钠层密度：yf@whu.edu.cn 海南海口站激光雷达钠层密度：wangx@nssc.ac.cn 北京延庆站激光雷达大气密度：gtyang@spaceweather.ac.cn 合肥科大站激光雷达大气密度：xuexh@ustc.edu.cn 武汉珞珈山台激光雷达大气密度：yf@whu.edu.cn 海南海口站激光雷达大气密度：wangx@nssc.ac.cn 北京延庆站激光雷达大气温度：gtyang@spaceweather.ac.cn 合肥科大站激光雷达大气温度：xuexh@ustc.edu.cn 武汉珞珈山台激光雷达大气温度：yf@whu.edu.cn 海南海口站激光雷达大气温度：wangx@nssc.ac.cn
数据时间范围	2010–2020 年
地理区域	北京延庆站（40.4°N，116.0°E），合肥科大站（31.6°N，117.3°E），武汉珞珈山站（30.5°N，114.2°E）、海南海口站（20.1°N，110.2°E）
空间分辨率	96 m
数据量	8800 MB
数据格式	MCS，ASCII，DAT
数据服务系统网址	(1) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.042（北京延庆站激光雷达钠层密度） (2) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.054（合肥科大站激光雷达钠层密度） (3) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.061（武汉珞珈山站激光雷达钠层密度） (4) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.047（海南海口站激光雷达钠层密度） (5) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.040（北京延庆站激光雷达大气密度） (6) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.051（合肥科大站激光雷达大气密度） (7) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.059（武汉珞珈山站激光雷达大气密度） (8) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.045（海南海口站激光雷达大气密度） (9) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.041（北京延庆站激光雷达大气温度） (10) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.052（合肥科大站激光雷达大气温度） (11) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.060（武汉珞珈山站激光雷达大气温度） (12) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.046（海南海口站激光雷达大气温度）
基金项目	国家重大科技基础设施子午工程；国家自然科学基金（41627804、40731055、40874081、41074111）。
数据库（集）组成	数据集共包括 120 000 个数据文件，包括原始采集数据集和反演数据集。其中：原始数据集记录了原始采集的回波光子数数据及数据采集时间、时空分辨率信息，数据量 4000 MB；反演数据集记录了 30–80 km 范围大气温度剖面、80–110 km 范围金属层原子数密度剖面分布，数据量 4800 MB。

引　言

位于地球大气 80–110 km 的区域是中层顶区域，这一区域是大气与空间的分界并且在此区域中存在着大气金属层。流星消融机制被认为是大气金属层的来源[1]。当流星体进入地球大气层时，由于地球大气密度的增加，流星体会与地球大气发生强烈地碰撞与摩擦从而释放出金属元素形成大气金属层，如钠原子层、钾原子层、钙原子层等。由于大气金属层受到低层大气的波动和电离层的影响，它可以作为示踪剂去研究中高层大气和电离层耦合机制的研究。因此，大气金属层的探测研究十分重要。激光雷达具有高时空分辨率、高探测精度等优点，它可以覆盖卫星遥感和地基无线电设备的探测盲区，已经成为探测大气金属层的有利工具。Bowman 等人于 1996 年首次完成了钠原子层的激光雷达探测[2]。随后，众多研究学者开展了对钠原子层的激光雷达观测。钠原子激光雷达是目前全球范围内技术最为成熟，分布最广，使用最多的激光雷达。

迄今为止，我们已经用子午一期的钠激光雷达对金属钠原子层进行了长达十年的激光雷达探测。通过对钠激光雷达得到的光子回波信号进行反演分析，我们得到了中层顶钠原子的密度变化特点以及钠原子层的夜间变化和季节变化规律。此外，我们还利用钠激光雷达数据发现了很多钠原子层的特殊现象，如突发钠层[3-5]、双钠层[6-7]、热层钠层[8-9]。这些特殊现象都与金属原子离子的相互转化有关，与电离层有着密不可分的关系。因此，子午一期的钠激光雷达数据为中高层大气与电离层的耦合研究打开了一扇新的大门。此外，子午一期的激光雷达还有瑞利激光雷达用来探测中层大气的密度和温度变化。该瑞利激光雷达数据被用来研究 30–80 km 中层大气的温度变化趋势以及行星波、潮汐波、重力波等大气波动活动。

子午一期的瑞利激光雷达用于探测 30–80 km 的大气密度和温度、钠激光雷达用于探测 80–110 km 的钠层密度，实现了 30–110 km 中高层大气的同时探测。本激光雷达数据集提供了中层大气密度温度和中层顶区域钠原子的密度。这些数据为中高层大气的研究提供了数据保障。

1　数据采集和处理方法

通过钠激光雷达和瑞利激光雷达向大气发射激光束，由于大气分子和金属原子的散射，从而使接收望远镜得到散射回来的光子数。对回波光子数进行反演处理便得到了本激光雷达数据集。

1.1　数据采集方法

子午一期建立的激光雷达的工作过程大体相似，因此主要以子午一期延庆台站建立的钠激光雷达和瑞利激光雷达为例介绍。其发射单元结构示意图如图 1 所示。在发射单元中，一台 Nd:YAG 固体激光器（Continuum PL9030）发出波长为 1064 nm 的激光束，该激光束经过第一个倍频晶体后，产生了一束 532 nm 的绿色激光束和剩余的 1064 nm 基波光。532 nm 的绿色激光束经过扩束镜调整激光的发散角和准直度后，由全反镜发射到地球大气中，从而被用来进行瑞利信号的探测。对于剩余的 1064 nm 的激光，采用二次倍频余光复用技术[10]将其进行二次倍频后得到另一束 532 nm 的绿色激光束，用于泵浦钠染料激光器使其产生一束 589 nm 的黄色共振激光束去探测钠原子层。该黄色激光束同样经过扩束镜后，由全反镜反射进入大气金属层中。532 nm 的绿色激光束和 589 nm 的黄色激光束被同时发出，完成瑞利信号和钠原子层信号的探测。瑞利和钠原子层的回波光子由反射式望远镜接收。回波光子被反射到焦平面上然后进入石英光纤中，然后通过光纤到达准直透镜和滤光

片，最后进入光电倍增管中。光电倍增管将光信号转化为电信号，最后由 MCS 采集卡采集数据。

此外，使用 WS6-200 波长计测量钠激光雷达和瑞利激光雷达发出的波长，并且使用自动锁频软件将波长的误差锁定在 0.3 pm 之内。因此，激光雷达发出的波长较为准确。

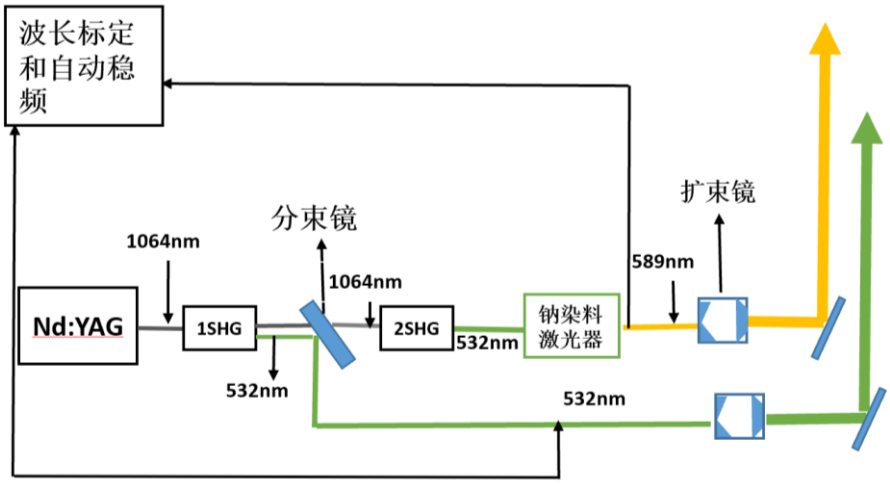

图 1　延庆台站钠激光雷达和瑞利激光雷达的发射单元

接收单元地主要设备是直径为 1 米地反射式望远镜，该望远镜主镜镀了铝加 SiO_2 保护膜，能够实现回波光子的全波段接收。望远镜接收到的钠原子层的回波信号和瑞利散射信号经过窄带滤光片后，信号中的背景噪声以及其他波段的信号被抑制，只保留了 589 nm 和 532 nm 的回波信号。这些微弱的回波信号被高量子效率的光电倍增管转换为电信号之后，由光子计数卡进行数据采集。

1.2　数据处理方法

1.2.1　钠激光雷达数据

钠激光雷达数据集包括共振荧光光子计数文件和钠层密度文件。荧光光子计数文件是钠激光雷达探测获得的原始数据文件。根据 Megie[11]、Chu[12]提出的反演算法，将原始数据文件反演后得到钠层密度文件。其反演公式如下：

$$n = n_r \frac{N_s - N_b}{N_r - N_b} \frac{z^2}{z_r^2} \frac{4\pi\sigma_r}{\sigma_{eff}} \frac{1}{E^2} \qquad (1)$$

其中，n 是钠原子的密度；n_r 是参考高度处的大气数密度，通常取参考高度为 35–40km；N_s 和 N_r 分别是在高度 z 处和在参考高度 z_r 处接收到的光子数；N_b 是背景噪声；σ_{eff} 是钠原子的有效散射截面，σ_{eff}=5.22e-16 m^2/sr；σ_r 是参考高度处的瑞利散射截面，其值可由大气密度模式 NRLMSISE-00 获得。E 是钠原子层的消光系数，它的值为钠原子的密度和有效散射截面乘积的积分。

1.2.2　瑞利激光雷达数据

在瑞利激光雷达数据中，瑞利散射光子计数文件可以被用来反演 30–80 km 的中层大气温度和密度。其中大气密度的反演公式为：

$$\frac{\rho(z)}{\rho(z_r)} = \frac{N_s - N_b}{N_r - N_b} \frac{z^2}{z_r^2} \qquad (2)$$

其中 $\rho(z)$表示高度 z 处的大气分子数密度；$\rho(z_r)$表示归一化高度处的大气密度（可由 NRLMSISE-00 模式得到）；z_r 为归一化的参考高度，通常为 30 km 以上；N_s 是在高度z处的光子数，N_r 是参考高度处的回波光子数，N_b 是背景噪声。

若将 $\rho(z_r)$初始化为 1，则得到了相对大气密度。在大气温度反演中，需要用到相对大气密度。

对于中层大气的温度反演，Alain Hauchecorne 和 Marie-Lise Chanin[13]提出假设大气满足流体静力学平衡和理想气体状态方程，大气温度廓线可以由相对密度廓线反演得到，这个方法被称为 CH 方法。我们根据 CH 方法，我们选定参考高度 z_r（一般选择探测上限高度）后得到在高度 z_i 处的大气温度 $T(z_i)$为：

$$T(z_i)=\frac{\rho(z_r)}{\rho(z_i)}T(z_r)+\frac{M}{R}\int_{z_i}^{z_r}\frac{\rho(z)}{\rho(z_i)}g(z)dz \quad (3)$$

其中，R 为理想气体常数，M 为理想气体摩尔质量，$g(z)$为 z 高度处的重力加速度，$T(z_r)$为参考高度处的大气温度（可由 NRLMSISE-00 模式得到）。

2 数据样本描述

子午一期的钠激光雷达和瑞利激光雷达的重复频率为 30Hz，原始文件由 1000 个激光脉冲产生。因此，激光雷达数据集中，每一个数据文件的时间分辨率为 33s。由于每一个激光脉冲的停留时间为 640ns，故每一个数据文件的空间分辨率为 96m。激光雷达数据集中包含原始数据集和二级科学数据集。瑞利散射光子计数文件和荧光散射光子计数文件是 MCS 格式的原始数据集。大气温度和密度文件以及钠层密度文件属于二级科学数据，其数据格式为 ASCII，是由原始数据反演得到的。每一个数据文件名都包含了台站编码、设备类型编码、设备序号以及年月日和文件序号。激光雷达数据文件格式如表 1。

表 1　激光雷达数据文件格式

数据项中文名	数据项英文名	简称	记录格式	中英文单位	无效缺省值	数值范围
年	Year	YYYY	A4			
月	Month	MM	A2			
日	Day	DD	A2			
时	Hour	HH	A2	小时/hour		
分	Minute	MM	A2	分钟/minute		
秒	Second	SS	A2	秒/second		
高度	Altitude		F7.3	千米/km		0–1000
光子计数	Photons		F9.6	兆/秒（MB/s×10^5）		
大气温度	Temperature		F8.3	卡尔文/K	−999.999	0–1000
大气密度	Density		E12.5	立方厘米/cm^3	−0.99999E+04	0–10^{30}
钠原子密度	Sodium Density		E12.5	立方厘米/cm^3	−0.99999E+04	0–10^5

我们利用钠激光雷达和瑞利激光雷达的数据，得到了钠层典型的回波光子信号和瑞利回波信号，如图 2 所示。

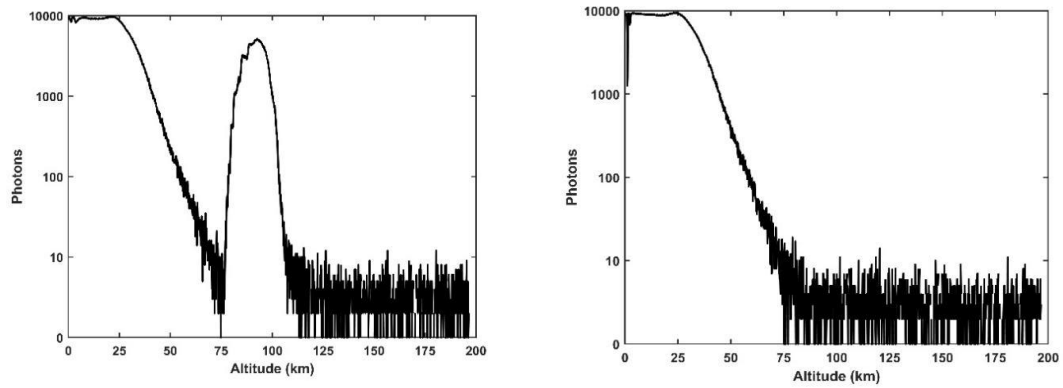

图 2　钠层回波（左）和瑞利回波（右）

图 3 展示了将钠层和瑞利回波信号反演后，得到的典型的钠原子密度剖线以及大气密度和温度剖线。

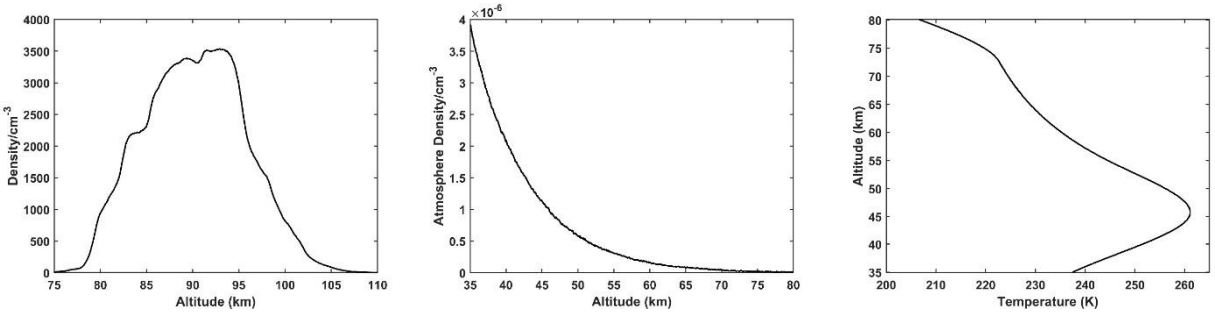

图 3　钠原子密度（左）大气密度（中）大气温度（右）

此外，激光雷达的数据还可以进行重力波的研究。图 4 展示了利用 2009–2012 年的激光雷达数据，对北京地区重力波活动的研究结果[14]。

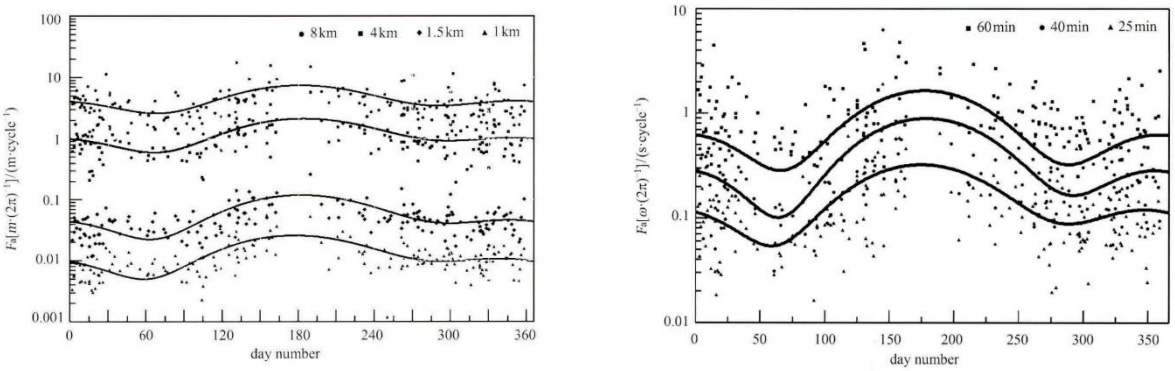

图 4　不同波长重力波垂直波数的季节变化规律（上）和不同波长重力波垂直频率的季节变化分布（下）

3　数据质量控制与评估

在钠激光雷达和瑞利激光雷达采集数据的过程中，我们使用了 WS6-200 波长计实时监测 589 nm 和 532 nm，并且使用自动稳频软件严格控制了 589 nm 和 532 nm 这两个波长仅在 0.3 pm 的范围内波动。这个波动误差对于钠原子层探测和瑞利信号获取的影响是微乎其微的。其次，在激光雷达系统的接收部分，使用了大口径的接收望远镜和窄带滤光片，很好地抑制了背景杂散噪声。这些细节提高了我们两台激光雷达的探测性能，并且得到了高信噪比的回波信号（图 2）。

由钠激光雷达获得的钠层典型回波信号（图 2 右）中可以看出，探测到的峰值光子数超过了 8000，因此，由光子数起伏引起的不确定性约为 1%（$\frac{1}{\sqrt{8000}}$）。这个探测精度对于研究中层顶区域金属成分的动力学和化学过程以及大气波动的扰动是足够的。中层大气的密度与温度的相对误差一致，与回波光子数的平方根成反比。从图 2 左图中可以看出，在 75 km 以上的回波光子数很小，因此会造成反演误差很大。所以，我们通过将瑞利激光雷达信号在时间和空间上的累加去增加反演精度。

4 数据价值

本数据集可支持低层大气波动、中层大气温度密度、电离层扰动、中高层大气与电离层耦合机制的相关研究，为空间天气现象的研究提供更多的数据支持。

致 谢

本数据论文的完成得到了国家科技基础条件平台-国家空间科学数据（http://www.nssdc.ac.cn）的大力支持和帮助。

数据作者分工职责

吴佛菊，女，博士研究生，研究方向为中高层大气激光雷达探测。主要承担工作：数据服务。
薛向辉，男，博士，教授，研究方向为大气激光雷达探测。主要承担工作：数据服务。
易帆，男，博士，教授，研究方向为激光雷达探测技术与大气遥感。主要承担工作：数据服务。
焦菁，女，博士，副研究员，研究方向为中高层大气激光雷达探测。主要承担工作：数据服务。
陈廷娣，女，工程师，研究方向为大气激光雷达探测。主要承担工作：数据生产。
余长明，男，博士，副教授，研究方向为激光雷达探测技术与大气遥感。主要承担工作：数据生产。
柳付超，男，讲师，研究方向为激光雷达探测技术与大气遥感。主要承担工作：数据生产。
杨国韬，男，博士，研究员，研究方向为中高层大气激光雷达探测。主要承担工作：数据服务。
王继红，男，硕士，研究员，研究方向为中高层大气激光雷达探测。主要承担工作：数据生产。
杜丽芳，女，硕士，工程师，研究方向为激光雷达遥感探测技术与仪器研制。主要承担工作：数据生产。

参考文献

[1] KANE T J, GARDNER C S, ZNOU Q, et al. Lidar, radar and airglow observations of a prominent sporadic Na/sporadic E layer event at Arecibo during AIDA-89[J]. Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 1993, 55(3): 499–511. DOI:10.1016/0021-9169(93)90084-C.

[2] BOWMAN M R, GIBSON A J, SANDFORD M C W. Atmospheric sodium measured by a tuned laser radar[J]. Nature, 1969, 221(5179): 456–457. DOI:10.1038/221456a0.

[3] JIAO J, YANG G T, ZOU X, et al. Joint observations of sporadic sodium and sporadic E layers at middle and low latitudes in China[J]. Chinese Science Bulletin, 2014, 59(29/30): 3868–3876. DOI:10.1007/s11434-014-0441-0.

[4] QIU S C, SOON W, XUE X H, et al. Sudden sodium layers: their appearance and disappearance[J]. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 2018, 123(6): 5102–5118. DOI:10.1029/2017ja024883.

[5] WANG X D, YI F, HUANG K M. Double sporadic metal layers as observed by colocated Fe and Na lidars at Wuhan, China[J]. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 2017, 122(2): 2237–2248. DOI:10.1002/2016ja023489.

[6] WANG J H, YANG Y, CHENG X W, et al. Double sodium layers observation over Beijing, China[J]. Geophysical Research Letters, 2012, 39(15). DOI:10.1029/2012gl052134.

[7] GONG S S, YANG G T, WANG J M, et al. A double sodium layer event observed over Wuhan, China by lidar[J]. Geophysical Research Letters, 2003, 30(5). DOI:10.1029/2002gl016135.

[8] XUN Y C, YANG G T, SHE C Y, et al. The first concurrent observations of thermospheric Na layers from two nearby central midlatitude lidar stations[J]. Geophysical Research Letters, 2019, 46(4): 1892–1899. DOI:10.1029/2018gl081645.

[9] GAO Q, CHU X Z, XUE X H, et al. Lidar observations of thermospheric Na layers up to 170 km with a descending tidal phase at Lijiang (26.7°N, 100.0°E), China[J]. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 2015, 120(10): 9213–9220. DOI:10.1002/2015ja021808.

[10] 程学武, 宋娟, 李发泉, 等. 双波长高空探测激光雷达技术[J]. 中国激光, 2006, 33(5): 601–606. DOI:10.3321/j.issn: 0258-7025.2006.05.006.

[11] MEGIE G. Laser measurements of atmospheric trace constituents[M] /MEASURES R M. Laser remote chemical analysis. New York; Wiley. 1988: 333-408.

[12] CHU X Z, PAPEN G. Resonance fluorescence lidar for measurements of the middle and upper atmosphere[M]// TAKASHI F, TETSUO F. Laser Remote Sensing. Boca Raton, FL; CRC Press, 2005: 179–432. DOI:10.1201/9781420030754.ch5.

[13] HAUCHECORNE A, CHANIN M L. Density and temperature profiles obtained by lidar between 35 and 70 km[J]. Geophysical Research Letters, 1980, 7(8): 565–568. DOI:10.1029/GL007i008p00565.

[14] 邹旭, 杨国韬, 王继红, 等. 北京地区重力波活动及其波谱的季节分布特性研究[J]. 空间科学学报, 2015, 35(4): 453–460. DOI:10.11728/cjss2015.04.453.

论文引用格式

吴佛菊, 薛向辉, 易帆, 等. 2010–2020 年激光雷达数据集[J/OL]. 中国科学数据, 2021, 6(2). (2021-06-29). DOI: 10.11922/csdata.2020.0098.zh.

数据引用格式

(1) 中国科学院国家空间科学中心. 北京延庆站激光雷达钠层密度[DB/OL]. 国家空间科学数据中心. (2010-04-22). DOI: 10.12176/01.05.042.

(2) 中国科学技术大学. 合肥科大站激光雷达钠层密度[DB/OL]. 国家空间科学数据中心. (2010-08-09). DOI: 10.12176/01.05.054.

(3) 武汉大学. 武汉珞珈山站激光雷达钠层密度[DB/OL]. 国家空间科学数据中心. (2010-07-07). DOI: 10.12176/01.05.061.

(4) 中国科学院国家空间科学中心. 海南海口站激光雷达钠层密度[DB/OL]. 国家空间科学数据中心. (2011-06-17). DOI: 10.12176/01.05.047.

(5) 中国科学院国家空间科学中心. 北京延庆站激光雷达大气密度[DB/OL]. 国家空间科学数据中心. (2010-04-20). DOI: 10.12176/01.05.040.

(6) 中国科学技术大学. 合肥科大站激光雷达大气密度[DB/OL]. 国家空间科学数据中心. (2010-01-02). DOI: 10.12176/01.05.051.

(7) 武汉大学. 武汉珞珈山站激光雷达大气密度[DB/OL]. 国家空间科学数据中心. (2010-05-25). DOI: 10.12176/01.05.059.

(8) 中国科学院国家空间科学中心. 海南海口站激光雷达大气密度[DB/OL]. 国家空间科学数据中心. (2011-06-17). DOI: 10.12176/01.05.045.

(9) 中国科学院国家空间科学中心. 北京延庆站激光雷达大气温度[DB/OL]. 国家空间科学数据中心. (2010-04-22). DOI: 10.12176/01.05.041.

(10) 中国科学技术大学. 合肥科大站激光雷达大气温度[DB/OL]. 国家空间科学数据中心. (2010-01-02). DOI: 10.12176/01.05.052.

(11) 武汉大学. 武汉珞珈山站激光雷达大气温度[DB/OL]. 国家空间科学数据中心. (2010-06-01). DOI: 10.12176/01.05.060.

(12) 中国科学院国家空间科学中心. 海南海口站激光雷达大气温度[DB/OL]. 国家空间科学数据中心. (2010-05-04). DOI: 10.12176/01.05.046.

A lidar dataset of the Meridian Project during 2010–2020

WU Fuju[1], XUE Xianghui[2*], YI Fan[3,4,5*], JIAO Jing[1*], CHEN Tingdi[2], YU Changming[3,4,5], LIU Fuchao[3,4,5], YANG Guotao[1], WANG Jihong[1], DU Lifang[1]

1. State Key Laboratory of Space Weather, National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, P.R. China

2. School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Country, Hefei 230026, P.R. China

3. School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430072, P.R. China

4. Key Laboratory of Geospatial Environment and Atmospheric Measurement Ministry of Education, Wuhan 430072, P.R. China

5. Atmospheric Remote Sensing National Field Scientific Observation and Research Station, Wuhan 430072, P.R. China

*Email: xuexh@ustc.edu.cn (XUE Xianghui); yf@whu.edu.cn (YI Fan); jjiao@swl.ac.cn (JIAO Jing)

Abstract: There are many metal atoms and ions in the mesopause region. These metal atoms can be used as tracers to study the dynamical and chemical processes in this region. Lidar is the most powerful tool for detecting metal atoms and ions. The lidar dataset is of great significance for studying the metal layer in the mesopause region and the coupling between the ionosphere and the middle and upper atmosphere. The lidar

dataset is obtained from echo photons detected by sodium lidar and Rayleigh lidar at Meridian Project stations in Beijing, Wuhan, Hefei and Haikou. The dataset includes Rayleigh scattered photon counts from 30 to 80 km, inverse atmosphere density, temperature data, fluorescence scattered photon counts from 80 to 110 km and sodium density data. Through the analysis of the dataset, we can get the response of the metal sodium density to gravity waves and tidal waves in the lower atmosphere, the long-term and short-term variations of the metal sodium layer, the relationship between the sporadic sodium layer and the sporadic E layer; and the density and temperature changes of the middle atmosphere. This dataset also provides more support for the research of space physics.

Keywords: lidar; the metal layer; middle atmosphere density; middle atmosphere temperature

Dataset Profile

Title	A lidar dataset of the Meridian Project during 2010–2020
Data correspondence	Sodium layer density of LIDAR at Yanqing Station, Beijing: gtyang@spaceweather.ac.cn Sodium layer density of LIDAR at USTC Station, Hefei: xuexh@ustc.edu.cn Sodium layer density of LIDAR at Luojia hill Station, Wuhan: yf@whu.edu.cn Sodium layer density of LIDAR at Haikou Station, Hainan: wangx@nssc.ac.cn Atmospheric density of LIDAR at Yanqing Station, Beijing: gtyang@spaceweather.ac.cn Atmospheric density of LIDAR at USTC Station, Hefei: xuexh@ustc.edu.cn Atmospheric density of LIDAR at Luojia hill Station, Wuhan: yf@whu.edu.cn Atmospheric density of LIDAR at Haikou Station, Hainan: wangx@nssc.ac.cn Atmospheric temperature of LIDAR at Yanqing Station, Beijing: gtyang@spaceweather.ac.cn Atmospheric temperature of LIDAR at USTC Station, Hefei: xuexh@ustc.edu.cn Atmospheric temperature of LIDAR at Luojia hill Station, Wuhan: yf@whu.edu.cn Atmospheric temperature of LIDAR at Haikou Station, Hainan: wangx@nssc.ac.cn
Data authors	Sodium layer density of LIDAR at Yanqing Station, Beijing: National Space Science Center Sodium layer density of LIDAR at USTC Station, Hefei: University of Science and Technology of China Sodium layer density of LIDAR at Luojia hill Station, Wuhan: Wuhan University Sodium layer density of LIDAR at Haikou Station, Hainan: National Space Science Cente Atmospheric density of LIDAR at Yanqing Station, Beijing: National Space Science Center Atmospheric density of LIDAR at USTC Station, Hefei: University of Science and Technology of China Atmospheric density of LIDAR at Luojia hill Station, Wuhan: Wuhan University Atmospheric density of LIDAR at Haikou Station, Hainan: National Space Science Center Atmospheric temperature of LIDAR at Yanqing Station, Beijing: National Space Science Center Atmospheric temperature of LIDAR at USTC Station, Hefei: University of Science and Technology of China Atmospheric temperature of LIDAR at Luojia hill Station, Wuhan: Wuhan University

	Atmospheric temperature of LIDAR at Haikou Station, Hainan: National Space Science Center
Time range	2010–2020
Geographical scope	Yanqing Station (40.4°N, 116.0°E), Hefei Station (31.6°N, 117.3°E), Luojia Hills Station (30.5°N, 114.2°E), Haikou Station (20.1°N, 110.2°E)
Spatial resolution	96m
Data volume	8800 MB
Data format	MCS，ASCII，DAT
Data service system	(1) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.042 (Yanqing Station, sodium density) (2) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.054 (Hefei Station, sodium density) (3) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.061 (Luojia Hills Station, sodium density) (4) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.047 (Haikou Station, sodium density) (5) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.040 (Yanqing Station, atmosphere density) (6) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.051 (Hefei Station, atmosphere density) (7) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.059 (Luojia Hills Station, atmosphere density) (8) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.045 (Haikou Station, atmosphere density) (9) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.041 (Yanqing Station, atmosphere temperature) (10) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.052 (Hefei Station, atmosphere temperature) (11) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.060 (Luojia Hills Station, atmosphere temperature) (12) https://dx.doi.org/10.12176/01.05.046 (Haikou Station, atmosphere temperature)
Sources of funding	Meridian Project; National Natural Science Foundation of China (41627804, 40731055, 40874081, 41074111).
Dataset composition	The dataset contains a total of 120,000 data files, including the raw dataset and the inversion dataset. The raw dataset records the originally collected echo photon data, data collection time, and time and space resolution, with a size of 4,000 MB. The inversion dataset records the atmospheric temperature profile in the range of 30–80 km, and the atomic density profile in the metal layer in the range of 80–110 km, with a size of 4,800 MB.