第 48 卷 第 1 期 天 文 学 报 Vol.48 No.1
2007 年 1 月 ACTA ASTRONOMICA SINICA Jan., 2007

冰穹 C 的大气条件：天文含意

J.S. Lawrence, M.C.B. Ashley, M.G. Burton, J.W.V. Storey

(School of Physics, University of New South Wales, Sydney, NSW 2052, Australia)

摘要 在南极洲高原的冰穹 C 有望发现非凡的天文观测条件，受此鼓舞，许多国际小组协同努力对该地的大气条件作全面的测量. 评述对冰穹 C 的选址现况，讨论过去、现在和计划中的选址仪器，迄今已得到的结果，以及这些结果的天文含意.

关键词 选址，地球：南极洲高原：冰穹 C
中图分类号： P 112; **文献标识码**： A

1 引言

长久以来人们已认识到南极高原一些地方应是天文观测的理想之地. 整个南极高原对流层的低温有望导致低的天空热辐射 (Harper 1989) 和低的大气含水量，在南极高原上空宁静而稳定的大气会导致弱的湍流，形成优良的视宁度 (Gillingham 1991).

这些期望促使在美国 Amundsen-Scott 南极站作了十多年的选址测量. 发现这里的红外天空辐射要比中纬度站的典型值低 1—2 数量级 (Ashley 等， 1996; Nguyen 等， 1996; Phillips 等， 1999; Chamberlain 等， 2000), 而且大气非常干燥 (Chamberlin 2001). 弱的自由大气湍流也得到了证实. 然而发现数百米厚的地面层湍流非常强，这导致了低劣的地面层视宁度 (Loewenstein 等， 1998; Marks 等， 1999).

在冰穹 C 的新的法 / 意 Concordia 站具有比南极更高的海拔高度，应有更低的大气温度，从而有更低的热辐射和水汽含量 (Marks 等， 1999). 冰穹 C 的局部地形也表明这里的地面风速应更低，因而湍流的边界层应局限于地面附近 (Gillingham 1991).

2 选址仪器

许多选址仪器已在或计划在冰穹 C 工作. 这些仪器已作为 Concordiastro 计划 (以尼斯大学为首), AASTINO 计划 (以新南威尔士大学为首) 和其他独立计划的一部分而投入工作. 对这些仪器作出贡献的其他机构有阿切特里 (Arcetri) 天文台、加州理工学院、托洛洛山美洲天文台、喷气推进实验室、 Idaho 大学、 Joseph Fourier 大学、 Cardiff 大学、 Lethbridge 大学和罗马大学. 在这里我们简要地列出 3 大类 (气象，天空辐射和不透明度，及湍流) 各种应用于冰穹 C 的选址仪器.

2.1 气象

• AWS: 标准的自动气象站，测量地面气压，温度，湿度和风速 / 风向 (1980 年开始工作)

• 气象气球：标准的探测器，测量温度，压力，湿度以及风速 / 风向的大气轮廓 (夏季从 1995 年开始，冬季从 2005 年开始)

• COBBER: 低功率中红外热电堆，用作云量统计 (工作于 2003 、 2004 年冬季)

• ICECAM: 自动自供电可见光 CCD 照相机，用作云量统计 (工作于 2002 、 2003 年冬季)

• Vaisala FD12: 可见度传感器，测量降雪 / 金刚石尘的强度 (自 2004 年夏季开始工作)

• Gattino 全天空照相机：广角光学 CCD 照相机，用来测量云量和极光分布 (计划在 2005/6 年夏季使用)

2.2 天空辐射和不透明度

• 太阳光度计：测量可沉降水汽 (工作于 1996/7 年夏)

• APACHE96: 毫米波望远镜，测量大气稳定度和天空噪音 (工作于 1996/7 年夏)

• SUMMIT: 亚毫米波自动倾斜仪，测量在 350 微米和 200 微米波长的天空辐射和不透明度 (自 2003 年夏开始工作)

• PAERI: 红外傅里叶变换频谱仪，测量天空在 3—20 微米波长范围内的辐射和不透明度 (工作于 2002/3 和 2003/4 夏季)

• Nigel: 光纤耦合频谱仪，测量光学波长的天空谱线辐射 (使用于 2004/5 夏)

• IRMA: 红外辐射计，用来测量在 20 微米波长的天空辐射和不透明度 (计划 2005/6 年夏使用)

• Gattino SBC: 小视场光学 CCD 照相机，用于测量可见波段的天空背景 (计划于 2005/6 年夏季使用)

• AIRBUS: 红外照相机，用于测量 K- 波段天空辐射 (计划于 2005/6 年夏季使用)

• McSHMISM: 具有微测辐射热计阵的中红外频谱仪，用来测量 N- 波段的天空辐射谱 (目前正在研制)

2.3 湍流

• DIMM: 较差像移监测仪，测量地面 3.5 米和 8.5 米以上的积分视宁度 (夏季自 2000 年开始工作，冬季于 2005 年工作)

• SODAR: 声雷达，测量 30—900 米地面层内的湍流 (自 2003 年夏开始工作)

• MASS: 多孔径闪烁传感器，测量 0.5—22 公里高度大气的低空间分辨率湍流轮廓 (工作于 2004 年冬季)

• 微热气球：球载高精度温度传感器，以高空间分辨率测量大气的湍流轮廓 (2005 年冬开始工作)

• 微热杆：塔式安装的多个微热传感器，用来测量 0—30 米地面层内的湍流 (于 2005

年冬季使用)

• SHABAR: 月影带阵 (Lunar SHAdow Band ARray), 用来测量地面层湍流分布 (计划在 2005/6 夏使用)

• EAGLE: 使用声风速计的进化的南极洲地面层实验 (Evolutive Antarctic Ground Layer Experiment), 目的在于测量 0—30 米地面层的湍流 (计划在 2005/6 夏季使用)

• SCIDAR: 闪烁检测和测距 (Scintillation Detection And Ranging), 用来测量湍流轮廓 (计划在 2005/6 年夏季使用)

• GSM: 工作于广义视宁度监测 (Generalised Seeing Monitor) 模式的复合 DIMM, 用来测量湍流特征 (计划于 2006 年冬季工作)

3 结果

3.1 气象

分析 AWS 在现冰穹 C 站址附近两地 (Valenziano & Dall'Oglio 1999; Aristidi 等, 2005a) 20 多年来的工作表明 (Valenziano & Dall'Oglio 1999; Aristidi 等, 2005a), 这里的地面风速极低. 最大风速和平均风速 (分别为 $20.2\,\mathrm{m{\cdot}s^{-1}}$ 和 $2.9\,\mathrm{m{\cdot}s^{-1}}$) 都比大多数其他天文站址所记录到的一半还小. 另外, 有相当一部分时间这里的风速为零 (或低于所用的风速传感器的检测阈).

根据 Valenziano & Dall'Oglio (1999) 的报告, 在冰穹 C 夏天用太阳光度计测得的可沉降水汽 (PWV) 体密度为 0.5—0.6 毫米, 类似于在南极夏天的观测值. 用在其他南极洲站址所做的高空气球测量外推 (Lawrence 2004), 冰穹 C 仲冬的 PWV 体密度预计为 0.16 毫米, 明显小于在南极仲冬测得的 PWV 值 0.25 毫米 (Chamberlin 2001). 在这个冬季以及以后的冬天所收集的气象气球数据会确定这些预测的有效性.

从在夏天升空的气象气球所得到的大气轮廓 (Aristidi 等, 2005a) 可以看出, 冰穹 C 具有极稳定的上层大气和非常低的反变层. 发现这里少有在自由大气中产生湍流的条件, 且湍流分布为空间薄, 而边界层热结构表明在一天的特定时间内无产生湍流的机制. 在以后几个冬季的更多的气球数据会为高对流层强风的大小和出现频率提供重要信息.

迄今已有的云量统计表明, 冰穹 C 是一个极为晴朗的地方. 仪器已经给出 74-80% 的晴空百分比下限 (Ashley 等, 2004) 和一些可供参考的数据. 最近在冰穹 C 过冬的天文学家估计此数按 5 个月统计可达 96% (Aristidi 等, 2005c). 计划在来年夏季使用的 Gattino 全天空照相机将会为以后的冬季提供完全定量的冰穹 C 云量统计. 关于降雪和堆积率的更多信息也会从 FD12 可视度检测仪在下一个冬季的连续工作而获得.

3.2 天空辐射和不透明度

2000/1 年夏季用辐射计 SUMMIT 测量了冰穹 C 处的亚毫米波天空不透明度 (Calisse 等, 2004). 在冰穹 C 处该仪器测得 350 微米天顶宽带不透明度 6 个星期的平均值为 1.61. 此值低于在南极用相似仪器在同样的 6 个星期中测得的平均 350 微米不透明度 (1.81). 另外, 定性地说在冰穹 C 处由大气湍流强度决定的相对于此不透明度值的噪声起伏较低. 2004/5 夏, 在 SUMMIT 上要加一个 200 微米滤光器, 一旦投入工作它将为在此大气窗

口进行天文观测的可能性提供有价值的信息.

傅里叶变换频谱仪 PAERI 于 2002/3 和 2003/4 夏季在冰穹 C 投入工作并测量了整个中红外区的天空辐射 (Walden 等, 2005). 测得的在 M 、N 和 Q- 波段的大气辐射的平均值分别为 0.9 、 43 和 310 JY·arcsec^{-2}. 这些辐射值类似于在南极最冷的冬季月份所观测到的值 (Chamberlain 等, 2000). 还发现冰穹 C 的大气辐射非常稳定, 在 N- 波段 5 天时间内仅观测到 10% 的变化 (43±4 JY·arcsec^{-2}). 根据此数据的红外天空辐射的大气模型和冬季的气象气球数据, 估计冬季的红外天空辐射将比夏季值低 20% (Lawrence 2004).

关于冰穹 C 处大气辐射和不透明度的重要数据将会由一系列计划于 2005/6 夏在冰穹 C 使用的新仪器获得. IRMA 将测量在 20 微米波段的天空辐射和不透明度 (Phillips 等 2004), 以进一步改进大气模型, 更好地预测整个红外波段的辐射, 并对可沉降大气水含量作出更好的估计. 红外照相机 AIRBUS (Epchtein 2005) 将对冰穹 C 的近红外天空辐射进行首次测量, 并决定在冰穹 C 处的近红外气辉是否像南极的结果 (Phillips 等, 1999) 所预示的那样比通常在中纬度站所观测到的更低. 在可见波段, 天空背景将用 Gattino 照相机测量, 这对在冰穹 C 与中纬度站址之间进行可见灵敏度的比较是有决定性意义. 虽然冰穹 C 站址的高海拔导致每年天文晨昏朦影 (太阳地平高度小于 −18°) 的总小时数较低, 但 Kenyen & Storey (2005) 的模拟计算表明可用的昏暗时间是和其他地方相当的. Nigel 频谱仪的使用将决定冰穹 C 处的光学极光辐射的强度. 南极的数据表明在光学波段的极光强度可对可见光天空背景作出显著贡献 (Dempsey 等, 2005). 因此, 知道这在多大程度上也发生于冰穹 C 是很重要的.

3.3 湍流

在冰穹 C 站用仪器 DIMM 在二个夏季 (2003/4 和 2004/5) 进行的大气湍流测量得到太阳升起时的平均视宁度为 0.”54 (Aristidi 等, 2005b). 在这两个夏季都观测到强的周日变化倾向, 在较迟的午后下跌到 0.”4 的均值, 这与用气象气球观测到的平坦的热反变层是一致的. 在 2004 年 1 月进行的等晕角的 DIMM 测量给出其平均值为 6.”8 (Aristidi 等, 2005b).

2004 年首次得到了冰穹 C 处冬季湍流的测量值 (Lawrence 等, 2004). 结合 SODAR 和 MASS 仪器的数据在 6 个星期中日落后 30 米以上的平均视宁度测得为 0.”27, 并有 25% 的时间为 0.″15. 用 MASS/SODAR 在这个时间段还测得大气的相干时间和等晕角, 它们分别为 7.9 ms 和 5.”7.

在最近的 2005 年冬, 还用两架 DIMM 仪器 (分别位于地面高度 3.5 米和 8.5 米处) 以及一系列微热气球进行了视宁度测量 (Aristidi 等, 2005c; Agabi 等, 2005). 位于 8.5 米高度的 DIMM 给出 1.”2 ± 0.”7 的视宁度均值. 当从 30 米高度积分时气球测量给出视宁度 0.”36 ± 0.”18, 这与 DIMM 测量 (由 8.5 米高度积分) 和 2004 年的 MASS/SODAR 测量是一致的. 等晕角和相干时间的 30 米以上气球测量也与 SODAR/MASS 测量相符, 它们分别为 4.”6 ± 2.”7 和 7.9 ± 7.1 ms.

计划在 2006 年冬投入使用的新仪器对增进我们对冰穹 C 处的大气湍流的了解是关键性的. EAGLE,SHABAR 和塔式安装的微温计将会给出边界层湍流的强度和分布的特征. 将来自这些仪器的数据与 MASS 、 SODAR 、 DIMM 、气球微温计、 SCIDAR 和

GSM (它们通过不同的机理测量湍流的不同方面) 相结合会对该地的大气湍流作出极为可靠的定量评估.

4 天文含义

在冰穹 C, 气象条件的许多方面都是有利于天文观测的. 低的风速将提高所有在这里工作的望远镜的效率, 降低对望远镜和外罩的机械结构设计上的要求. 相对于已有的站址, 高的晴夜百分比显著地提高了观测效率. 但有些气象条件是不利的, 需要有特殊的技术处理, 例如, 极低的地面温度, 大的地面层热梯度和金刚石粉尘.

数据表明冰穹 C 在冬季的红外天空辐射在已有的天文台站中是最低的. 可以预计水汽也是已有站址中最少的. 这些因素将显著地提高从近红外到远红外的灵敏度和透过在地面上其他地方所无法企及的亚毫米波大气窗口观测的机会.

与大多数中纬度站址相比, 冰穹 C 处的地面视宁度是相对差的. 然而大部分湍流是局限于地面以上 20—40 米的大气层内. 这种特殊的地面湍流结构需要特别的解决办法. 一架具有地面层自适应光学系统的地面望远镜可以获得接近于自由大气的结果. 一架位于地面湍流层以上的望远镜将具有非凡的自然视宁度, 而如果配有自适应光学系统, 则它将比位于任何其他地面站址的类似尺寸的望远镜具有更高的分辨率. 虽然将望远镜安装在湍流层之上, 即在 20—40 米高的塔或山上, 可能是一个困难的技术挑战, 但许多在其他地方已有的望远镜确实是位于地面以上类似的高度上 (例如, 英澳望远镜 (AAT) 为 26 米, 加拿大 - 法国 - 夏威夷望远镜 (CFHT) 为 28 米, 欧南台 (ESO)3.6 米望远镜为 30 米, 而 4 米口径的 Mayall 望远镜为 57 米).

5 结论

在过去 5 年中许多仪器为我们目前对南极高原冰穹 C 站大气条件的了解作出了贡献. 数据表明这是一处非凡的站址, 具有许多比现有中纬度站址更为优越的有关参数. 这证明下一步将冰穹 C 作为天文台址来发展的正确性, 包括配备一架 2—3 米级的光学 / 红外望远镜, 如 PILOT (Lawrence 等, 2005). 这样一台设备不仅能做独特的科学工作, 而且有助于完善对该站址特征的了解, 以达到 8—30 米大口径望远镜所要求的水平. 利用几个冬季从目前一批冰穹 C 的选址仪器所获得的数据, 加上下个夏季将要使用的新仪器, 将可以实现这个要求.

然而, 对所有的天文目的而言, 冰穹 C 可能并非南极洲最好的天文站址. 最近中国极地研究所访问过的冰穹 A 位于南极洲的最高点, 比冰穹 C 高约 800 米. 它应具有更低的大气温度, 更低的风速, 且湍流边界层更局限于地面附近. 这对在此处从事天文选址的计划具有很强的吸引力.

参 考 文 献

Agabi K, Aristidi E, Azouit M, et al. PASP, 2005, in press
Aristidi E, Agabi A, Azouit M, et al. A&A, 2005a, 430: 739

Aristidi E, Agabi A, Fossat E, et al. A&A, 2005b, in press
Aristidi E, Agabi A, Azouit M, et al. Preceedings of Conference on Wide Field Survey Telescope on Dome C/A, Beijing China, 2005c
Ashley M C B, Burton M G, Storey J W V, et al. PASP, 1996, 108: 721
Ashley M C B, Burton M G, Lawrence J S, et al Astron. Nach., 2004, 325: 619
Calisse P G, Ashley M C B, Burton M G, et al. PASA, 2004, 21: 256
Chamberlain M A, Ashley M C B, Burton M G, et al. ApJ, 2000, 535: 501
Chamberlin R A. J Geophys Res, 2001, 106: 20101
Dempsey J T, Storey J W V, Phillips M A. PASA, 2005, 22: 91
Epchtein N. EAS Publications Series, 2005, 14: 193
Gillingham P R. Proc ASA, 1991, 9: 55
Harper D A, Amer Inst Phys Conf Proc, 1989, 198: 123
Kenyon S L, Storey J W V, PASP, 2005, to be submitted
Lawrence J S, Ashley M C B, Tokovinin A A, et al. PASP, 2004, 116: 482
Lawrence J S, Ashley M C B, Burton M G, et al. EAS Pub Ser, 2005, 14: 321
Loewenstein R F, Bero C, Lloyd J P, et al. ASP Conf Ser, 1998, 141: 296
Marks R, Vernin J, Azouit M, et al. A&AS, 1999, 134: 161
Nguyen H T, Rauscher B J, Harper D A, et al. PASP, 1996, 109: 718
Phillips M A, Burton M G, Ashley M C B, et al. ApJ, 1999, 527: 1009
Phillips R R, Naylor D A, DiFrancesco J, et al. Proc SPIE, 2004, 5489: 146
Valenziano L, Dall'Oglio G. PASA, 1999, 16: 167
Walden V P, Town M S, Halter B, et al. PASP, 2005, 117: 300

Dome C Atmospheric Condition: Implications for Astronomy

J.S. Lawrence M.C.B. Ashley M.G. Burton J.W.V. Storey
(*School of Physics, University of New South Wales, Sydney, NSW 2052, Australia*)

Abstract The expectation that exceptional condition for astronomy would be found at Dome C on the high Antarctic plateau has motivated a coordinated effort by a number of international teams to comprehensively measure the atmospheric condition at this site. This paper presents an overview of the current status of site testing at Dome C. We discuss the past, present and planned instrumentation, the main results obtained to date, and the implications of these results.

Key words site testing, earth: Antarctic plateau: dome C