

阻导风板及其在 NVST 上的测试结果^{*}

李志, 宋腾飞, 许骏

(中国科学院国家天文台/云南天文台, 云南 昆明 650011)

摘要: 太阳望远镜采用全开式圆顶有许多好处, 但是此时风对望远镜产生比较大的扰动。为了减少风对望远镜的影响, 设计了阻导风板, 并在实际应用中得到了很好的结果。全面介绍了阻导风板的原理、结构, 并给出了设计要点及在 1 m 红外太阳望远镜(New Vacuum Solar Telescope, NVST)上的实测结果。

关键词: 全开式圆顶; 阻导风板; NVST

中图分类号: P111.33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7673(2012)03-0329-06

云南天文台主持研制的 1 m 红外太阳望远镜是目前国际上建成的最大的地平式对称光路真空太阳望远镜, 望远镜采用平移式全开放圆顶。望远镜建筑物离澄江抚仙湖湖岸线只有约 5 m, 这种布置保持了台址优良的视宁度, 然而, 这使望远镜暴露在湖陆风的影响下, 风对望远镜的扰动影响观测^[1]。

这种矛盾不单是在 NVST 上存在。目前, 国内外的太阳望远镜为了减少地面热效应对视宁度的影响, 临水安装被认为是比较好的方案。为了减小圆顶视宁度, 又常采用全开式圆顶, 因此, 风对望远镜的影响是一个普遍问题。此外, 由于 NVST 的光路特殊, 主镜体采用全密封的真空镜筒, 导致望远镜风阻力矩相对于桁架式结构的望远镜要大得多, 这种影响更严重。阻导风板在 NVST 上取得了较好的结果, 望远镜能在较高风力等级下工作, 这一经验可供同类望远镜借鉴。

1 太阳望远镜的特殊性

天文望远镜观测时, 用于保护望远镜的圆顶建筑会破坏望远镜镜筒处的视宁度。圆顶内部不均匀的温度分布形成光路上的湍流, 称为圆顶视宁度。在夜天文中, 这种热源主要来自建筑物积热和设备发热, 而在太阳观测中, 则主要是来自太阳辐射。对于采用格里高利系统的望远镜, F_1 焦点常设计有视场光阑, 从光阑反射的光也是一个巨大的热源, 并且较难处理, 而采用全开式圆顶则是一个比较完美的解决方案。国内外的一些天文望远镜^[2-7] 包括 NVST 就采用了这种裸露观测方式。

裸露观测虽避开了圆顶视宁度的影响, 但却又引入了另一种不利因素, 就是风对望远镜的影响。望远镜裸露观测时, 不可避免会有风吹在望远镜镜体上, 而望远镜在制造中必然存在一些机械加工误差和配合间隙, 望远镜相对自身旋转轴的几何面形也不可能完全对称, 因此其受风面积和状态也是不对称的。这些误差哪怕很小, 在风的作用下, 会产生不对称的旋转力矩, 导致望远镜出现绕旋转轴(高度轴和方位轴)的晃动和在间隙内的窜动。作用力的大小和望远镜受风面积的大小有关, 产生的力矩与结构有关。也就是说, 一方面, 望远镜越大受风面积也越大; 另一方面, 望远镜结构相对于转轴越不对称力矩就越大。

望远镜在设计制造时有一定的刚度要求。为减小望远镜的驱动力, 大望远镜往往将镜体的质量分布设计得相对旋转轴基本平衡, 这样, 不大的力矩就能驱动望远镜旋转。也正因为如此, 不大的风力

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金(10873034)资助。

收稿日期: 2011-09-20; 修订日期: 2011-11-11

作者简介: 李志, 男, 高级工程师。研究方向: 太阳物理, 天文仪器与方法。Email: ccli@ynao.ac.cn

通讯作者: 许骏, 男, 研究员。研究方向: 天文技术与方法。Email: xj@ynao.ac.cn

也能构成对望远镜的影响。同时,质量上的对称也使得地平望远镜通常相对于高度轴几何不对称。风对镜筒的作用力是随机变化的,这种随机间歇式的作用使得望远镜产生晃动。机械上的晃动看起来似乎不大,但对天文望远镜来说,由于一般都有较长的焦距,微小的机械晃动也能被望远镜放得很大,导致天体的影像在望远镜视场中跳动,风大时,甚至能将观测目标晃出望远镜观测视场。因此天文望远镜一般只能在某级风之下才能正常工作,通常的要求是四级风。

2 NVST 的结构和风的作用

1 m 红外太阳望远镜是一台大口径地平式真空望远镜,为减小光路中热对流对像质的影响,主光路光学器件均在真空镜筒中。镜筒外径约 1 300 mm,镜筒长 4 390 mm,以高度轴分为上段和下段。上段长 3 150 mm,下段长 1 240 mm(图 1)。可以看出镜筒有较大的受风面,而且特殊的光学设计决定了望远镜高度轴位于镜筒后端约 1/3 处。这种结构导致了风在镜筒上相对高度轴两端产生的力矩是不对称平衡的,相当于镜筒前端有了可以使望远镜旋转的力矩。

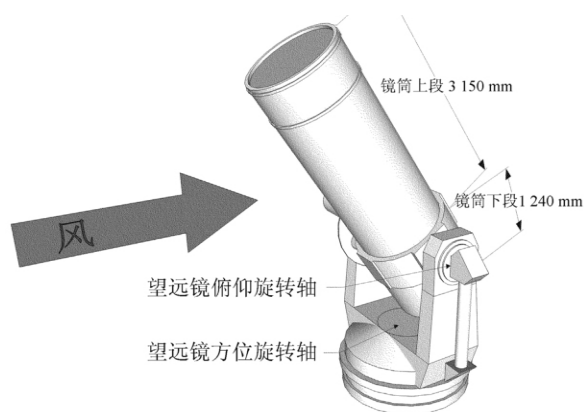


图 1 1 m 红外望远镜

Fig. 1 The NVST

正常工作时,NVST 裸露在高台上进行观测,望远镜的工作环境是全敞开的,一般情况下会有持续的风吹在力矩不平衡的望远镜上,当风力大于望远镜抗风刚度时,会使望远镜产生可察觉晃动。由于望远镜主光路等效焦距长达 45 m,微小的晃动经望远镜放大后,观测目标在望远镜视场中会有很大的跳动。

为减弱风对望远镜的作用,根据 NVST 的结构特点和工作环境研制了阻导风板,经一段时间的实测测试,证明设计是成功的,能有效减弱风对望远镜的作用,提高了望远镜能稳定工作的风力等级,增加了获得更好观测资料的几率,即提高了望远镜效益。

与此有关的是,NVST 正下方耦和有 6 m 直径的大型垂直光谱仪,使建筑物结构复杂,上表面面积较大,并使基墩高达 16 m。阻导风板还改善了观测室地板的热交换情况,降低了观测室地板的温度,更好地改善了圆顶视宁度。

3 阻导风板的数值计算及实际设计

针对 NVST 的结构及其裸露观测模式,为减小风对望远镜的作用,设计了一套活动环形阻导风装置,它一方面能够阻挡风,另一方面能将风导向特定的方向,故称为“阻导风板”。在阻导风板的设计中,百页式导风板页片与地面的夹角和弧形阻风障板的轮廓形状是设计的要点。页片的夹角对流场有重要影响,而阻导风板的轮廓合理,能使望远镜在视线不受遮挡的前提下有最小的受风面积。

阻导风板由 3 部分组成(图 2):

(1) 百页式导风板。百页式导风板是由一些矩形薄板组成。矩形薄板的长边水平安装在导板框架上,板平面与地平有一个由仿真确定的倾角。薄板材料选用导热吸热效果差的材料制作,避免板子吸热放热时产生强的热交换。

(2) 弧形阻风障板。弧形阻风障板可以程控升降。

(3) 环形框架。环形框架可以程控旋转。

之前做了一个 6 级风下,无望远镜时阻导风板简化模型下的数值模拟,得到了图 3 的风向曲线。望远镜图形按比例在仿真完后置入图中。数值模拟采用 Fluent 流体计算软件,不可压定常流动假设,非结构性网格划分。边值取阻导风板前 6 级风,板后和上部为自由边界,下面为墙面。从图 3 中风的

流线可以看出, 风经阻导风板后, 风向被导向地板, 从而减弱了风对望远镜的直接作用并改善地板的散热状况。

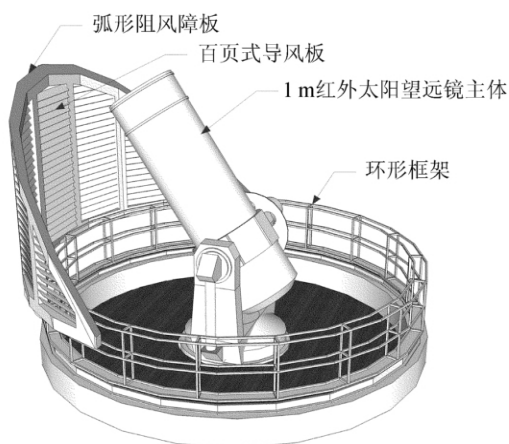


图 2 阻导风板的结构

Fig. 2 The set of H-G Windscreens

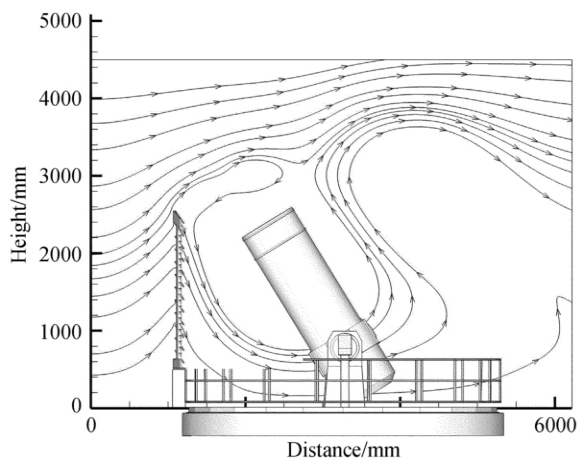


图 3 流场和望远镜

Fig. 3 Air flowfield around the NVST

在前一节提到百页式导风板页片与地平面有一个由仿真结果确定的特定的夹角。仿真的基本点是最高导风板将风向导至望远镜筒端口下。调节导风板页片与地面的夹角, 图 3 中的流场相应变化, 认为图 3 的流场是最合理的, 在实际应用中也采用了该流场对应的页片角度。当然, 实际流体不是直线导向, 要比仿真结果复杂得多。

弧形阻导风板的外形如图 2, 上沿口为弧形状, 弧形轮廓由望远镜安放地太阳两至(冬夏至)时运行轨迹先在与地平垂直的正南向进行投影, 然后将其平均后得到上口轮廓。两至太阳运行的轨迹投影见图 4。

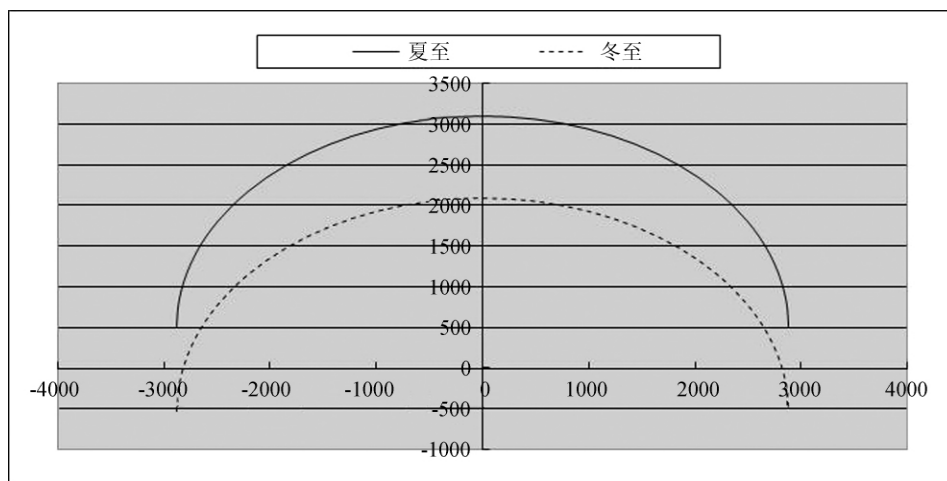


图 4 两至太阳轨迹

Fig. 4 Solar trajectory in the summer and winter solstices

环形框架是支撑阻导风板的支架, 望远镜放置在环形架中心。环形架可根据风向带动阻导风板旋转, 以使阻导风板面尽量与风向垂直。同时弧形阻风障板也可根据观测时太阳的高度在环形架上作垂直升降, 更有效地起到阻导风的作用。设计一个气象站实测当前的风向, 并从望远镜控制系统获取当前望远镜的指向数据。根据这两组数据, 控制计算机控制部件(2)和部件(3)运动, 优化阻导风板的指向角度和弧形阻风障板的高度, 使风在望远镜上的作用力矩最小^[8]。

4 阻导风板的实际应用和测试结果

环形阻导风板已于 2010 年 8 月在云南天文台澄江老鹰地作为 NVST 的附属设施投入应用 (图 5)。当然, NVST 的附属设施不只阻导风板, 其它与望远镜紧密相关的部件另文介绍。

对阻导风的效果做了实测, 以确认阻导风板在实际情况下, 板后的风速是否减小。实测方法如下: 在阻导风板外侧约 1.5 m 处安置一个风速风向仪; 在板背风的后面望远镜镜体附近取 5 个点, 这 5 个点分布在适当的高度和平面位置上, 另一台与外侧设备同一性能规格的风速风向仪顺序放置在这 5 个点上(图 6), 实时采集记录阻导风板外和阻导风板后面的风速, 图 7 是 5 个测点风速的实测记录。分别比较阻导风板内外风速风向仪同时采集的测量数据, 可看出阻导风板的效果。图中细实线是阻导风板前的风速变化曲线, 虚线是阻导风板后风速的变化曲线, 它们各自之间的粗实线反映了它们的变化趋势。从中可以看出, 经过阻导风板后, 风速有明显的减弱, 而且风速的波动也较之阻导风板前平稳。

表 1 列出了阻导风板前后各测试位置的平均值和平均值之差, 以及阻导风板前后镜筒所受风力之比。

物体在风速 v 下的受力 f 为: $f = \frac{1}{2}CA\rho v^2$

式中, C 为风阻系数; A 为物体垂直风向的受风面积; ρ 为空气密度。用 β 表示障板前后镜筒在不同风速下所受风力之比,

即
$$\beta = \frac{f_{后}}{f_{前}} = \frac{v_{后}^2}{v_{前}^2}$$

因是同一台望远镜, 式中 C 、 A 和 ρ 均相同, β 只由平均速度的平方决定。由表中 β 值可以看出, 经过障板之后, 风的力量减弱了一个量级以上。



图 5 安装完成的阻导风板
Fig. 5 The installed H-G windscreen

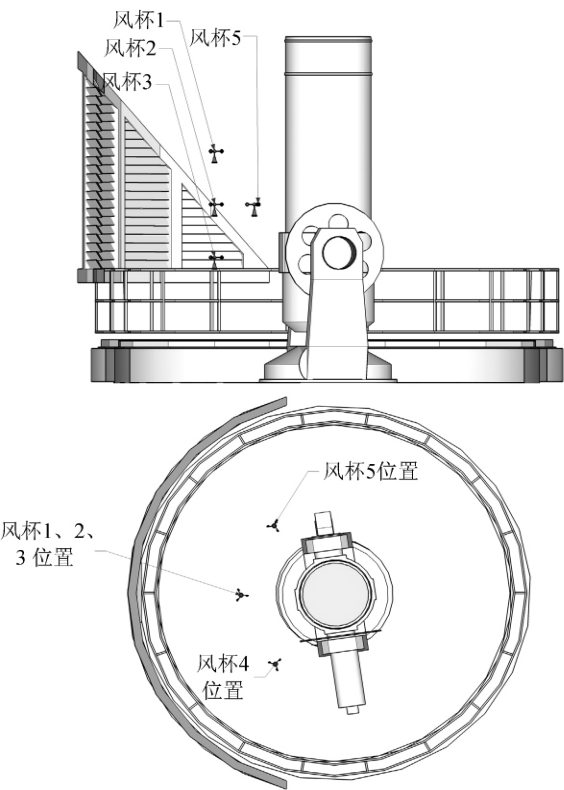


图 6 测风风杯分布
Fig. 6 Distribution of the wind-cups

表 1 实测结果和分析
Table 1 The test results and their analysis

位置	板前平均风速 (m/s)	板后平均风速 (m/s)	前后风速平均差 (m/s)	前后受力比值 β
1	6.990 083	2.226 86	4.763 223	0.101 489
2	6.808 065	2.047 177	4.760 887	0.090 42
3	9.369 048	1.363 492	8.005 556	0.021 179
4	9.332 8	2.014 4	7.318 4	0.046 587
5	8.966 418	0.981 716	7.984 701	0.011 988

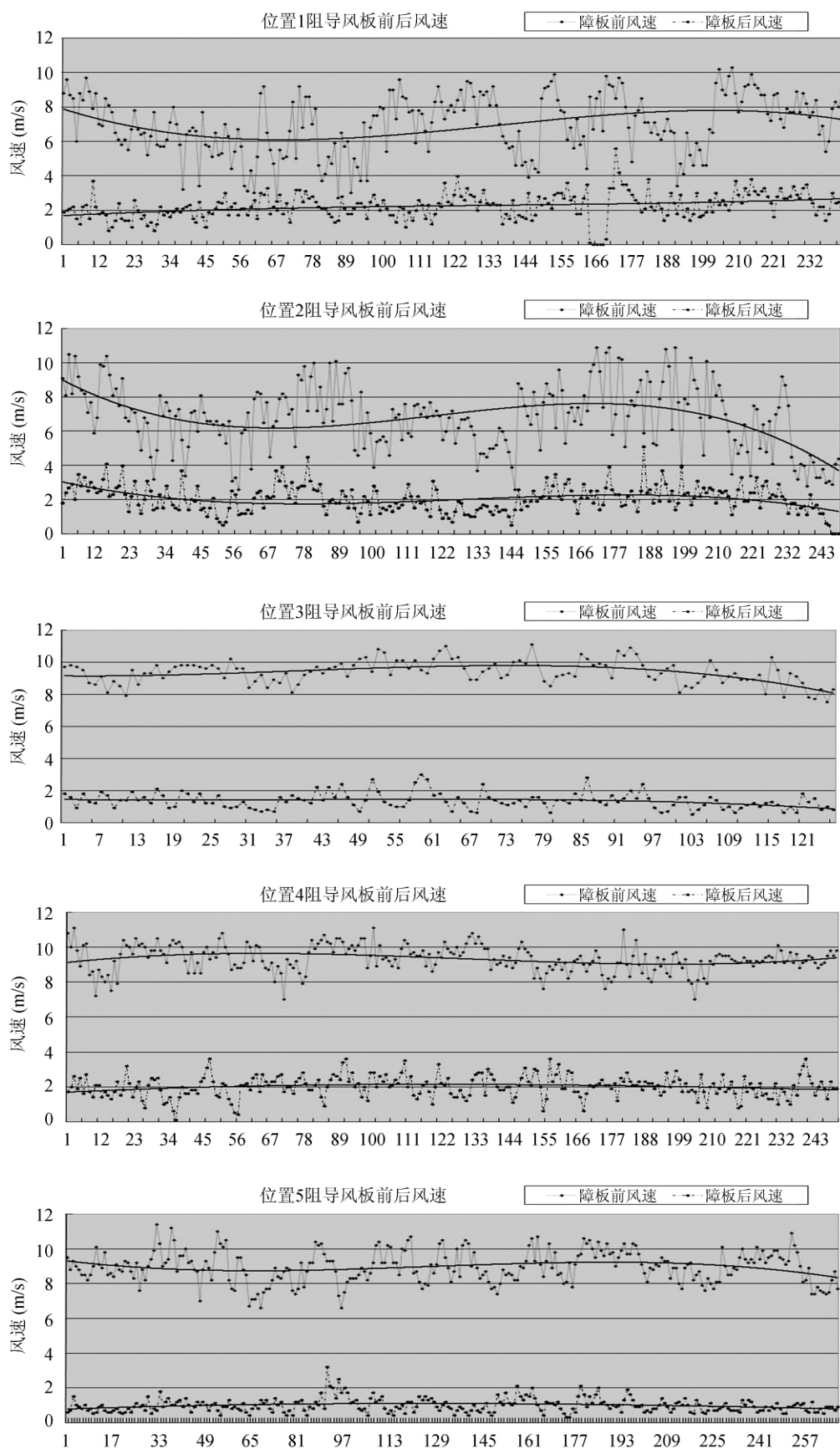


图7 风速实测结果

Fig.7 Testing results of wind speeds

5 结 论

通过对 1 m 红外太阳望远镜阻导风板的实测,可以得到如下结论:

(1) 经过阻导风板后,风速有明显的减弱,而且阻导风板后风速的波动也较之板前平稳。

(2) 经过阻导风板之后,风的力量减弱了一个量级以上。

(3) 1 m 红外太阳望远镜阻导风板的设计是成功、有效的,能起到阻风、导风的作用,有效地减少风对望远镜的作用,提高了望远镜观测时的稳定性。这样的阻导风板形式或结构除了应用于天文望远镜裸露观测下的风保护外,也能应用于需要减弱风作用的各种场合。

参考文献:

- [1] 黄佑然,许敖敖. 实测天体物理学 [M]. 北京: 科学出版社,1987: 354-363.
- [2] H Balthasar, O Von Der Luhe, F kneer, et al. GREGOR: the new german solar telescope [J]. The Physics of Chromospheric Plasmas ASP Conference Series, 2007, 368: 605-610.
- [3] Göran B Scharmer, Klas Bjelksjo, Tapio Korhonen, et al. The 1-meter swedish solar telescope [C] // Keil, Avaluan. Innovative telescopes and instrumentation for solar astrophysics. Proceedings of SPIE, 2002, 4853: 1-10.
- [4] R Volkmer, O Von Der Luhe, Denker C, et al. GREGOR solar telescope: design and status [J]. Astronomische Nachrichten, 2010, 331(6): 624-627.
- [5] A Keith Pierce. A windscreen around the heliostat of the McMATH solar telescope [J]. Solar Physics, 1987, 107(2): 397-398.
- [6] Debi Prasad Choudhary. Large indian solar observatory [J]. Current Science, 2003, 84(1): 10-14.
- [7] Robert H Hammerchlag, Felix C M Bettonvil. The dutch open telescope at roque de los munchachos observatory [J]. New Astrnomy Reviews, 1998, 42(6): 485-488.
- [8] 宋腾飞. 1 m 红外太阳塔圆顶及风障板控制系统设计 [D]. 昆明: 中国科学院云南天文台, 2010.

A Set of H-S Windscreens and Test Results of it on the YNAO NVST

Li Zhi, Song Tengfei, Xu Jun

(National Astronomical Observatories/Yunnan Observatory, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650011, China, Email: xj@ynao.ac.cn)

Abstract: Solar Telescopes often work without domes, but are set up near large water surfaces such as those of seas or lakes. Such a strategy keeps good seeings at the sites, but on the other hand, the air flow between land and water may cause vibrations of telescopes. To reduce the negative effects, we have designed and installed a set of Hindering and Steering Windscreens for our NVST (New Vacuum Solar Telescope). We report in this paper key design points and encouraging results. Our H-S Windscreen consists of three parts: (1) The first is a wind deflector consisting of many rectangular lamellas. Long edges of a lamella are flatly set on the supporting frame, and the plane surface of the lamella has a specific angle from the horizontal level decided by numerical simulations. The material for lamella is of low thermal conductivity to avoid strong heat exchange. (2) The second is a curved wind baffle the height of which is adjustable according to the telescope pointing. (3) The third is a circular supporting frame, which turns around according to wind directions. The H-S Windscreens have been put into use with the NVST at the Fuxian Lake Solar Observing Station since August 2010. We give some test results. The H-S Windscreen can reduce the wind force by an order of magnitude and the wind-speed variation. The design of the NVST windscreen is thus successful in reducing the effect of wind force on the telescope and in increasing observation time.

Key words: Full-open dome; Windscreen; NVST