

去南极！在地球上最清晰的星星

马斌

望远镜理想家园

究竟哪里的星星不爱“眨眼睛”

自远古开始，人类就使用肉眼观察浩瀚星空。1609年，伽利略首次用望远镜对准了夜空，一举发现了月亮上的环形山、太阳黑子和木星的四颗最大卫星。这极大地拓展了人类的视野，开启了近代天文学的大门。

其后四百多年，随着科技进步，光学望远镜技术也经历了多次变革。从口径来看，伽利略时代的望远镜口径只有4厘米，而目前已建成的最大光学望远镜已达10米，正在建设的欧洲南方天文台极大望远镜ELT，口径达到了39米——而人眼瞳孔在黑暗中也只能放大到约8毫米。

根据理论计算出的分辨率，一台1米口径的望远镜，分辨率可达0.1角秒（相当于在10千米外看一枚硬币），可长期以来却没有实际达到过，这是为什么呢？

这是因为大气层的存在。我们都曾有这样的经验：宁静的水面清澈见底，而湍动的水流却扭曲了水底的景象。空气也是如此，大气中充满了湍流。

大气中的湍流会造成不同地方大气折射率的不断变化，就像大气中布满了小小的偏折镜。比如，高空中的大气湍流就会造成星星“眨眼睛”。

这一团团的大气湍流给望远镜的分辨率添加了一个额外限制，望远镜最终实际的分辨率只能“屈就”于这两个数值中较大的那个——当望远镜口径小于大气湍流的尺寸时，实际分辨率就是望远镜分辨率；反之，即使望远镜本身分辨率再高，实际分辨率也只能是大气湍流的分辨率。

由于现在光学望远镜的口径都已达到米级，因此直径从几厘米到十几厘米的大气湍流总是远远小于望远镜的口径，对应的视宁度从1到几个角秒，极大地限制了望远镜实际性能的发挥。因此，为了发挥望远镜的最大潜力，给它们找个合适的家，就成了天文观测的首要任务。

大气湍流对望远镜成像分辨率的影响程度叫做“大气视宁度”，它常被作为天文选址的重要依据之一。

经过数十年艰苦的选址工作，现在世界上最优秀的台址集中在中低纬度的美国夏威夷、智利北部、西班牙加那利群岛等地，这些地方海拔高度从2000多米到4000多米，视宁度在0.6-0.8角秒，夜间晴天比例达到了70%-80%。因此，世界上大部分8-10米级望远镜，以及在建的3台30米级望远镜均选址在这些区域。

角逐在南极高原

各国竞相寻找视宁度最佳台址

南极大陆常年被厚厚的冰层覆盖，南极冰盖的平均厚度超过2000米，形成了南极内陆高原。

由于其独特的地理位置，南极高原一直被可能蕴含着优异的天文台址。但由于其恶劣的自然环境和相对薄弱的后勤支撑保障能力，直到上世纪90年代，科学家才开始在南极点——美国的阿蒙森-斯科特科考站，开展天文选址工作。

可测量结果却令人颇为失望：南极点的视宁度较差，达到了1.8角秒，但大气湍流主要集中在贴近地面100米以内的边界层中，边界层之上的自由大气视宁度仅0.3角秒左右。

边界层是大气层中的最底层，受地面影响很大，集中了绝大部分的大气湍流。边界层之上称为自由大气，湍流很少。在中低纬度的优良台址中，自由大气视宁度约0.4角秒，但边界层厚度约几百米，其影响无法避免。

南极高原盛行下降风，即风是从高处向低处吹，而南极点海拔仅2835米，处在南极高原的缓坡中，因此风仍然比较大，产生了较多的大气湍流。但在南极高原的几个顶点，风速就会非常小，那么湍流也就很少，预计视宁度会非常好。这些顶点包括了冰穹A(南纬80°22'东经77°21'，海拔4093米)，冰穹C(南纬75°06'S东经123°20'，海拔3233米)，冰穹F(南纬77°30'S东经37°30'，海拔3810米)。

依托法国-意大利在冰穹C的科考站点，国际团队开展了大量天文台址测量工作。

2004年，澳大利亚新南威尔士大学的团队在英国《自然》杂志发表了冰穹C夜间视宁度的测量结果，在距地面30米高度处，视宁度达到了0.27角秒，即冰穹C的边界层厚度只有约30米。

此后，法国、意大利团队使用不同仪器持续进行了多年监测，进一步确认了冰穹C边界层厚度约30米，自由大气视宁度约0.3角秒。由于冰穹C是越冬站，极夜时也有科考队员在站值守，有充足的电力供应。在此基础上，法意团队在冰穹C安装了小口径望远镜，分别是10厘米口径的ASTEP-South和40厘米口径的ASTEP-400，在极夜期间开展了许多变星和太阳系外行星的搜寻工作。他们也提出过2米级的光学红外望远镜，但一直没有得到批准或资助。

日本在冰穹F建有站点，但那是一个度夏站。日本天文学家在2011年1月开展了4天的白昼视宁度测量，由于望远镜高度仅为2米，受大气边界层内湍流影响较大，得到的视宁度为1.1角秒。2013年1月，他们专门架设了9米高的塔架，进行了20余天观测，得到的白昼视宁度中值约0.5角秒；而当边界层厚度低于望远镜时，也测量到了0.3角秒左右的优异视宁度。不过，冰穹F至今尚无夜间视宁度的测量结果。此外，日本天文学家也提出过在冰穹F建造望远镜进行天文观测的项目，但也一直未能立项。

此外，南极点虽然不是良好的光学天文台址，但由于南极高原空气极端干燥，被称为“白色沙漠”，是优良的射电和（亚）毫米波观测台址。

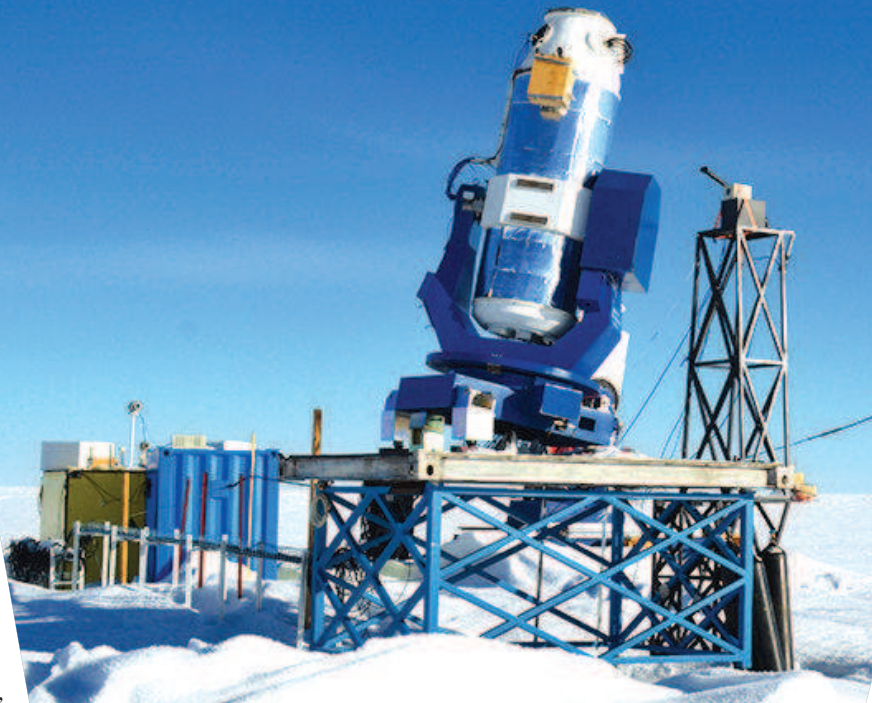
冰穹A的星空。

由中科院国家天文台云量板光监测仪拍摄，包含了从天顶到地面360°的全景，靠近地面的绿色光带为极光。

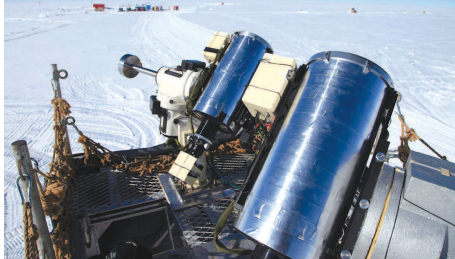


在地球上仰望浩渺星空，哪里看得最清晰？答案是南极。

生活在大气“海底”的人们，为了看到尽可能真实的星空，到处寻找大气清澈、宁静的观测点。近日，中国科学家发现，位于南极最高点的冰穹A是世界上最佳观星点。在那里，2.5米口径光学望远镜的观测能力可与其他台址6米口径望远镜相媲美。这将为我国南极天文的发展带来新机遇。



作为我国第二代望远镜，南极巡天望远镜AST3口径增大到50厘米，是南极目前最大的光学望远镜。马斌供图



昆仑视宁度望远镜。商朝晖供图



中国之星小望远镜阵(左)，黄色为中澳合作PLATO-A支撑平台仪器舱。马斌供图

望远镜“视力”两大关键

通常说来，望远镜口径越大，其“视力”越好，主要体现在两个方面：一是能看见更暗的天体，二是能看清更多的细节。

前者靠的是增大集光面积，望远镜口径增大10倍，集光面积则增大100倍。我们小时候都玩过放大镜——在阳光下可以将整个镜面上的光汇聚到一点，那一点就会非常亮，甚至可以把纸点燃。望远镜口径越大，收集的星光就越多，原本暗弱的星星就可以被看到了。

后者则靠提高角分辨率。打个简单的比方，在检查视力时，人与视力表间的距离是固定的，视力越好就可以看清表上更小字母的开口方

向，而视力不好的人只能看到一个字母，却看不清细节。

人眼的角分辨率极限约1角分（一个圆周360度，1度=60角分，1角分=60角秒），农历十五的满月在天空中的大小约是30角分，所以我们可以看到一个圆盘，而太阳系五大行星离我们最近时，其张角最大也才1角分，所以我们肉眼看到都只是一个点。

望远镜的理论最大分辨率约等于光的波长除以口径。简单来说，一台10厘米口径的望远镜，在肉眼最敏感的黄绿光波段，分辨率约为1角秒，即肉眼的60倍。

强劲逆温层加持

冰穹A获选“全球最佳观星点”

从科学研究角度来讲，南极大陆共有4个点最为重要：极点、冰点、磁点和高点。

上世纪八十年代之前，美国、俄罗斯和法国分别在前三个点建立了科考站，仅剩南极内陆最高点冰穹A尚属“空白”，被称为“不可接近之极”。

我国南极科考队自1997年开始，从中山站向冰穹A挺进，经过多年艰苦卓绝的探索，终于在2005年1月将五星红旗插上了南极冰盖最高点。

我国天文学家在得知这一激动人心的消息后，意识到这是我国天文观测发展史上的重大机遇。长期以来，我国天文观测落后于国际先进水平。如果能借助冰穹A优异的台址条件，选择有特色的望远镜设计，就能在某些领域达到或超过世界一流水平。

为此，我国天文学家联合国际天文团队，在我国南极科考的大力支持下，开展了冰穹A的天文台址测量工作。2008年1月，我国天文学家首次到达冰穹A，并在随后的南极科考中多次到达冰穹A。

2009年1月，我国在冰穹A地区建成昆仑站。在多年的台址测量工作中，天文学家在昆仑站地区建立的初步天文观测场地上，安装了多种台址测量仪器，获取了大量宝贵的台址数据。这些数据证明了冰穹A作为天文台址的优越性：夜天光背景暗，与中低纬度最好的台址相当甚至更暗；晴夜数比例高，无云比例高达83%，略好于中低纬度最好的台址；风速低，4米高度处的平均风速仅1.5-4米/秒，大约是二级风，而10米/秒（约五级风）以上的大风天气非常罕见。

最重要的是，冰穹A地区的大气边界层厚度中值仅14米，只有冰穹C的一半！也就是说，只需建一座14米左右的塔架，把望远镜安装上去，就可获得优异的自由大气视宁度。

2019年，国家天文台的视宁度测量望远镜KL-DIMM的测量记录确认了这一点，同时也直接测量到了自由大气视宁度为0.31角秒左右。近期出版的《自然》杂志发表了这一成果，并称“冰穹A是地面上的最佳观星点”。与中低纬度的优良台址相比，冰穹A视宁度更好，在那里建一台2.5米光学望远镜可与其他台址6米级的望远镜相媲美；与同在南极的冰穹C相比，冰穹A的工程建设和难度和造价大大降低。

冰穹A边界层薄，源于其独特的气象条件。由于南极高原被冰覆盖，而极夜时有连续数个月的黑夜，没有了太阳的照射加热，雪面迅速降温，随之也将冷却靠近雪面的空气，造成近地面空气高度越低，温度也越低，这被称为“逆温层”。由于逆温层的存在，南极空气整体非常稳定。

冰穹A的逆温层有多强呢？天文学家架设了一座14米高的气象塔，每隔2米布放一个温度计。离雪面仅2米高度处，温度就可比冰面处高近15℃，离冰面14米高处则高出20℃。如此强劲的逆温层造就了地面上最薄的边界层。实际测量数据也证实，温差越大，边界层高度也越低。

昆仑站日夜观天

我国南极天文研究走向世界前列

现在，我国南极昆仑站的天文场地已初具规模，除了台址测量，还开展了一些天文观测。

在昆仑站运行望远镜主要有两大挑战：一是极端恶劣的自然环境，冬季平均温度约-60℃，最低超过-80℃，其间由于空气中水汽始终接近饱和，非常容易结霜；二是昆仑站现在仍是度夏站，每年只有南极夏天的20多天有科考人员到达进行必要的维护，其余时间均为无人值守，故而所有设备必须非常可靠稳定地全自动运行。

我国天文学家在昆仑站安装了两代光学望远镜。第一代是中国之星小望远镜阵CSTAR，口径仅有14厘米，但视野范围有20平方度（约81个满月排列成方阵的大小），望远镜固定不动，指向南天极。第二代望远镜是南极巡天望远镜AST3，口径增大到50厘米，是南极现在最大的光学望远镜，视场仍有4.3平方度，且拥有完整的指向跟踪功能。

利用冰穹A的观测条件，以及极夜时连续几个月的黑夜，CSTAR和AST3开展了以时域天文学为主的研究，即研究各种天体随时间的变化。

静谧的夜空中，却有繁星时时在变化——有的位置在变，如小行星、彗星以及人造天体，有些小行星甚至可能撞向地球，严重威胁人类；有的亮度在变，变亮、暗，甚至是无中生有地突然爆发。

如果一颗恒星也有行星，当行星公转到我们眼前时，遮住了一点母星的光芒，就会让这颗恒星看上去变暗，而变暗的幅度就是行星与母星的面积比，小到只有百分之一以下，甚至千分之一、万分之一，需要非常灵敏的望远镜才能观测到。AST3是我国天文学家首次进行的大规模系外行星搜寻，成功发现了超过100颗高质量候选体，正在进一步研究中。

除了这些微小的变化，宇宙中还有剧烈的爆发，如恒星死亡时的爆炸——超新星等。与AST3类似，现在世界上有大量望远镜在监视着夜空，来寻找和研究变化的天体。为提高效率，搜寻的方法主要是利用图像相减技术，即对一个天区拍一幅图像后，跟之前拍的图像（模板）相减，亮度不变的天体就会被基本消除，经过计算机的精细筛选后，再进行人工检查，最终确认真正变化的天体。

2017年8月17日，人类首次观测到了双中子星合并事件GW170817，在引力波和电磁波上都观测到了该事件，开启了多信使天文学时代。AST3也参与到了对该信号的后随观测中，为研究其物理机制提供了重要数据。

我国的南极天文起步较晚，但历经10多年的快速发展，已经走在了世界前列。我国天文学家在极端环境下的望远镜研制技术、无人值守下的自动观测技术等方面积累了大量宝贵经验，为我国未来南极大型望远镜的研制和运行奠定了坚实基础。

（作者系中国科学院国家天文台助理研究员）

●大气稳定，视宁度佳

这一方面可提高角分辨率，看清行星、星系等延展天体的更多细节；另一方面，对恒星等点状天体而言，由于星光集中在更小的范围内，包含的天光背景更少，由此提高了昏暗恒星的对比度，可以看到更暗的恒星。

●晴夜数多

乌云会完全挡住星光，即使非常纤薄的云也会遮挡一部分星光，干扰精密的测量，因此天文台址所在地每年万里无云的时间越多越好。

●远离人烟，光污染少

现代都市的夜空被大量人造灯光照亮，使得城市中只能看到少数几颗最亮的星，只有在农村或者野外才能看到灿烂的星河。

●气象条件优越

包括风速小（有利于望远镜稳定运行），湿度小（防止夜间结露结霜），空气洁净等。

优良光学天文台选址的必备条件