北京地区的天文气候考察和 北京天文台台址的选定

北京天文台筹备处恒星物理研究室

一 引 言

计划中的北京天文台是一个近代化的、以天体物理为主的综合性天文台。

一个现代化的天体物理台，必须建立在天文气候条件好、基本建设快、与科学中心联系方便的地方。

天文气候条件是决定观测质量的主要客观条件。天文气候，也就是影响天文观测的大气条件，它包括以下五个方面的因素：

1. 可观测的晴日(夜)数；
2. 大气宁静度；
3. 大气透明度；
4. 天空背景亮度；
5. 其他影响天文观测和仪器状态的气象因素，如温差、风速、湿度等。

观测晴日(夜)的多少决定了观测资料的数量，同时它还影响到对于许多天象所必须的观测的连续性。因而这是选择台址时首先要考虑的因素。

大气宁静度是地球大气折射率微观波动的效果。折射率的微观波动使得平行投射的天体光束的方向产生不规则的偏转，换句话说，近于平面波的天体光波的波面被扭曲成为动荡的、不规则的曲面(图1)。在曲面的

凸部，星光汇聚、增亮；在曲面的凹部，星光发散、减暗，用望远镜看来，星光亮度时强时弱，这就是所谓闪烁现象。另一方面，在被扭曲的波面上的各个倾侧面上星光偏离了原来投射的方向。当望远镜的口径小于这个曲面的两个波峰(或波谷)的平均间隔时，每瞬间观测到的都是向某一方向偏折的平行光束，因而在小望远镜中，星象偏离理想焦

图1 光波波面通过大气后的变形

1. 进入大气层以前的星光波面； 2. 大气层；
3. 被扭曲了的波面——a. 星光发散, b. 星光汇集, c. 星光偏折; t'' ——湍流角

点而抖动。当望远镜口径较大而可以同时截取若干个波峰、波谷和倾侧面时,不同部分的光束偏向不同方向,因而星象弥散,直径变大。

星象的弥散对大、中型望远镜的观测的影响,最为严重。在拍摄恒星光谱时,由于星象直径变大就要加宽光缝,因而降低谱线的分辨率和减小极限星等。同样,照相观测时也会因星光弥散到较大面积而减小极限星等。对于行星和星云的照相和目视观测,星象弥散的结果是降低了分辨本领,损坏了细节的清晰度。星象位置的抖动主要是影响用小望远镜的方位观测的精度。星光闪烁影响光电光度测量的精度,不过,随着望远镜口径的增大,它所截取的波面也就增大,其中有的增亮有的减暗,互相抵消,因此闪烁的

振幅随口径的增大而减小,所以星光闪烁对于大、中型望远镜而言,影响并不很严重。但是对于快速电子照相,它将改变天体的亮度分布。

大气透明度决定了可观测到的极限星等和可观测到的波段。大气吸收的均匀性和稳定性影响光度观测的精度。

大气散射的最重要影响是散射,台址附近的城镇和工矿的灯光,使天空背景增亮,以致不能观测很暗的星座。

大气宁静度和透明度是决定台址的主要因素,因为极限星等和分辨本领的降低就相当于减小了望远镜的口径。一个大望远镜放在大气宁静度和透明度差的地方就只能起到小望远镜的作用。极限星等减小 0.5 等,就相当于把望远镜口径减小了 1.3 倍。一般地说,

表 1 近十年来各国选址情况

国 别	美 国	苏 联	荷、法、西德、 比、瑞典	日 本	澳大利亚
将安装的主要望远镜口径	2.1 米	6 米	3.5 米	1.88 米	1.25 米
选 址 时 间	1955—1957	1955—1964	1955—1965	1954—1955	1958—1964

表 2 我国几个地区的主要气象资料

项 目 \ 地 名	北 京	南 京	上 海	昆 明	青 岛	拉 萨
晴天日数(云量 < 2)	110	56	41	83	81	98
阴天日数(云量 > 8)	82	162	178	141	119	91
总云量	4.8	6.6	7.0	5.9	5.8	5.0
日照百分比	62	49	45	57	54	67
降水量	771.9	1039.8	1206.3	988.2	805.0	427.0
雾日*	15	36	48	9	57	0
日温差	11.0	8.5	7.7	11.2	6.4	14.7
极端最低气温	-19.4	-11.6	-9.4	-5.4	-15.5	-16.1
平均风速	2.1	3.1	3.3	2.2	5.3	2.3
大风日数	18	25	16	3	57	16
相对湿度	58	77	80	71	74	44
资料年代	1952—61 年 (10)	同左	同左	同左	同左	1955—61 年 (7)

望远镜的造价同它的口径的立方成正比，那末，极限星等减小0.5等，就相当于浪费了望远镜一半的价值。

在天文气候条件中，温差、低温、风沙、大风、相对湿度等也有很大影响，过大的温差会引起镜面及机械部分变形。严寒造成操作不便。风沙和大风容易损坏、震撼仪器，相对湿度太大时镜面容易发霉，机械部分容易生锈。

上述的天文气候条件中，除晴日(夜)数在较大地区内相差不大外，都有很大的局部性，因此为要找到一个好台址，必须对这些条件作一番精心的选择。以前的许多天文台的天文气候条件往往不很理想，因此，近十年来许多国家都花了多年的功夫来选择新的

台址(表1)。

为了建设北京天文台的天体物理观测台，从1957年起，就开始了选址的工作。

北京地区是我国晴天最多的地区之一，其他气象条件也较合适。从表2^[1]可以看出，北京地区晴天日数比长江流域多一倍以上，因此，可以克服我国现有主要天文台观测时间少的缺点，能够充分发挥观测仪器的作用。从我国晴日数的分布(图2)^[2]看来，内蒙、新疆一带，晴日数是非常多的，但这一地区的沙暴对观测有严重影响。华北平原虽在春季有风沙，但其时间甚短，而且其程度远不能同内蒙、新疆一带的沙暴相比。一般地说，长城以内山区很少有风沙，因此有可能在北京附近山区选出天文气候条件较好

图2 全年晴天日数(平均云量 ≤ 2.9)

的台址来。

此外,北京是我国的首都,在这里建台,无论是科学条件或建设条件都比较优越。同有关科学机构联系方便,可以尽快地把先进科学技术用于天文研究上来;同时,天文台对首都的各方面活动也能起积极的作用。

由于大气宁静度和透明度在同一地区内的各个地方往往差别很大,所以在既定北京地区建台的前提下,还需作广泛的、系统的天文气候考察和观测,才能选出一个好的台址来。

1957年10月,北京天文台筹备处组织了选址组,开始在北京市、河北省和山西省部分山区进行天文气候考察,历时七年,选出了六个候选地,在这些候选地先后建立了五个观测站进行了系统的大气宁静度和透明度的观测及气象观测,在一些地方进行了短期巡回观测。1964年底,确定了台址。本文拟扼要地论述这一工作的方法和经过,包括主要观测资料和选出的台址的概况。

二 野外考察

选址工作的第一步是从气候资料、地形对天文观测条件作用的知识和交通建设条件进行野外考察,勘选出一批条件较好的地方作为台址候选地。然后在候选地建立观测站进行大气宁静度和透明度观测以及气象观测,最后根据观测结果和其他条件确定台址。

野外考察时,根据北京地区的气候特点及台址的要求,将考察范围局限于满足下列条件的地区:

1. 离北京市城区直线距离50公里以上(根据目前情况,这一距离以在80公里以上为宜)、200公里以内,以避免城市灯火的影响,而又可同市区保持方便的联系;

2. 与北京的纬度相差小于一度,以便于按照北京的纬度来设计望远镜的装置;

3. 为避开塞外沙暴和西北强风,在西北方向局限于长城以内;

4. 拔海高度在500—1,500米之间。因为太低的地方风沙较大,而且低层大气的吸收和扰动严重;地势过高则冬季太冷,而且风力很强。

在上述范围内再勘选基本满足以下条件的地方作为候选地:

1. 地形平坦,有足够面积可建8—10个圆顶观测室和其他工作、生活建筑;

2. 西、北两方有可避强风的高山屏障,但周围山峯仰角不得超过 10° ,以免妨碍对行星、彗星和特殊天象近地平时的观测;

3. 附近无容易引起局部风流从而破坏大气宁静度的深沟峡谷、嶙岩峭壁;

4. 土质良好,植物茂盛,避免容易扬起灰尘的沙土;地基稳固,适于建筑,少地震;

5. 直线距离20公里以内没有大工厂、矿山、湖泊、水库或有开发价值的矿藏及水利资源。中、小型厂矿、水库也应在十公里以外,尤其应该避开钢铁、化工、石灰、水泥、发电等厂矿,以免受其灯火、烟尘、水汽增强天光和大气吸收的影响或日后发生矛盾;

6. 高出较大的村镇、河渠约200米左右,以免受其灯火、烟尘及水汽之影响;

7. 交通、供电、给水方便。

考察中不仅要注意一个地方当前的情况,还要考虑到它的发展。

工作中,我们结合了调查访问、实地踏勘、分析地图和航测等方法。我们先从五万或十万分之一比例尺地形图上了解到各地的海拔高度、交通状况和地形轮廓,然后访问城乡规划、工矿管理、交通运输、气象、农

林水利、地质等机关以及熟悉山区的老游击队员、干部、老农等。因此,实地踏勘就快得多了。1962年我们曾用民航局的“安-2”飞机作了一次巡视,在两天内普查了一万多平方公里的地区,大大加快了工作进度。

七年中,考察了北京市的门头沟、房山、昌平、海淀、延庆、密云、怀柔、平谷,河北省的怀来、易县、涞水、阜平、涞源、平山、满城、正定、元氏、井陉、内丘、涉县、秦皇岛、承德、青龙、兴隆、滦平、三河、蓟县、遵化和山西省的五台等29个县区,访问了廿个气象站及各县有关机关、公社。

考察工作可分为三个阶段。在从1957年到1960年冬这一阶段,主要是考察北京西部远郊山区,选出了以下三个候选地:

妙峰山 在北京市区西北,离市中心直线距离36公里。附近三大云坨海拔1,250米,地势平坦,是一个微微倾斜的东南坡,地形和交通都较满意,但是严重的缺点是在其东南16公里处有座规模庞大的石景山钢铁厂。

仙人洞 在离市中心直线距离70公里的灵山牧场东北的仙人洞村附近,海拔1,450米的山梁,地形平坦。但北近塞外,西北强风到此仍很强劲。其东、南两面有龙门沟、龙门涧两条长5—10公里、深100—200米的深壑,可能引起局部风流。30公里内尚无高压电,离公路干线约30公里。

杜家庄 离市中心直线距离65公里,门头沟区杜家庄附近的南坨,海拔1,100—1,360米,地形尚平坦,植物繁茂,西北有两千多米的灵山阻挡西北强风。南面不到10公里有一座海拔两千米的百花山,虽可阻滞东南潮湿气流,但天气变好后不易将潮气排走是其缺点。离公路干线15公里。

在第二阶段(1960年冬至1962年春)考察中,把范围扩大到河北省西部、西南部、东部及山西五台等地,选出了长城岭候选地。

长城岭 在离京250公里的河北阜平与山西五台交界线上长城岭附近的四方塔,海拔1,900米,地形平坦,100公里内尚无高压电。但离京公路里程约有400公里。

第三阶段(1962年春至1964年底)考察了河北及北京东北部41°纬线以南至长城一线,选出了两个候选地。

滦平 位于北京市东北方,县城离京直线距离约110公里。该县大部分地区均为500—800米的较平缓的山坡。从地形上看,可作为候选地的地方较多。其中上水泉(拔海约650)、三道梁(拔海900—1,000米)和滦平镇北山(拔海约650米)三地地形最好。但上水泉离京公路里程210公里,其中尚有许多段不能通车。三道梁交通更为不便,需修30公里公路才能与干线相接。这两地离高压变电站均在20公里以上。滦平镇北山交通条件较好,但两旁的河谷是其缺点。

连营寨 在北京市东北的河北省兴隆县境内,拔海900—950米,离京直线距离约110公里,离兴隆县城10公里。该地地形平坦宽广,迎风坡(北面)十分平缓,近处无深沟峡谷,远处有仰角不大于5度的群山环绕,西北方25公里左右有拔海2,050米的五龙山可避西北强风。草木尚繁茂,地基稳固,水源充足。公路从山旁拔海680米的高度上通过,离京公路里程约165公里。县城有火车站和高压变电站。不足之处是南坡较陡,此外,南面相距6公里左右的六里坪拔海1,450米,虽可阻滞南来潮湿气流,但天气转好时又对排除潮气不利。

在上述几个候选地中,从地形上看,以

妙峯山、连营寨、上水泉三地条件较好；交通方面，妙峯山最方便，连营寨、杜家庄次之。妙峯山受工矿灯光影响是其致命缺点。长城岭的交通及建设条件最为困难。不过，台址的最后选择主要决定于在各候选地建站

实际进行天文气候观测的结果。

三 候选地的天文气候观测

在每一个候选地分别建立了观测站，进行天文气候观测，各站的观测期如下：

地 名	仙 人 洞	杜 家 庄	长 城 岭	滦 平 镇	连 营 寨
期 限	1958.8—1959.9	1958.11—1961.8	1961.5—1962.4	1963.7—1964.8	1963.11—1964.10

此外，还在妙峯山和上水泉作了短期巡回观测。

观测的主要内容是大气宁静度、大气透明度、气象观测三个方面。

1. 大气宁静度

大气宁静度的观测采用了丹戎(A. Danjon)^[3]的由目视估计星象质量以求天顶湍流角的方法。首先，按下列标度估计星象质量的分数：

分数	星象衍射环第一环状况
5	环一直完整且保持圆形
4	环基本完整,有时只有一两个小缺口,或有移动光点;环和核只有微小波动
3	环破裂,零碎,但弧段总长仍超过半周,环和核均动荡扭曲
2	环零碎、混乱、时隐时现,环长不超过半周,整个象动荡剧烈甚至抛出光束
1	环不见,星象模糊一团,有时剧变

然后，将估计的分数化为天顶湍流角。丹戎在作目视星象质量观测的同时，用干涉方法测得了湍流角，从而得到标度与湍流角的关系。我们将丹戎^[3]给出的值归结为如下公式：

$$t = 2^{2-n} a \quad (1.5 \leq n \leq 4.5)$$

其中 n 为星象质量的分数， t 是湍流角（单

位为秒）， a 是星象衍射环第一亮环的直径。相应“5分”和“1分”的湍流角只有上下限，而无确定值。

湍流角随恒星的天顶距而变化，我们取湍流角随天顶距变化的规律为：

$$t = t_0 \sec^a z$$

式中 t 是当星的天顶距为 z 时的湍流角， t_0 是天顶的湍流角， a 是待定系数。观测不同天顶距的几颗星即可从上式由最小二乘法解出天顶湍流角，作为衡量大气宁静度的参数。

在仙人洞和杜家庄的观测中，使用了口径 11 厘米 ($F/15$) 的折光镜，放大 275 倍。在滦平和连营寨观测期间使用的是口径 14 厘米 ($F/15$) 的马克苏托夫式望远镜，放大倍数为 210—350。

每夜一般观测两次：天文昏影后一小时内一次；子夜一次。每次观测十颗以上不同天顶距和方位的亮度为 1—3 等的星。观测前后均作气象观测。

2. 大气透明度

大气透明度的观测主要是用恒星光电光度计测定消光系数。

大气对星光的吸收可以表述如下：

$$m = m_0 + kX(z)$$

式中 m_0 为恒星在大气外星等值， m 为实际观测到的星等值， $X(z)$ 是在该星天顶距 z

处的大气质量， k 称为消光系数，就是在天顶处，由大气吸收而产生的大气外星等与实测星等之差。观测已知大气外星等的不同天顶距的两颗星即可求出消光系数 k 。

我们在滦平和连营寨用本台自制的15厘米反光望远镜(利用了蔡司的小型赤道仪)和光电光度计测定了紫外($\lambda_U=3,500\text{ \AA}$)、蓝($\lambda_B=4,200\text{ \AA}$)、黄($\lambda_V=5,300\text{ \AA}$)三个波段的消光系数。仪器基本上同文献[4]中所用的相同。在连营寨没有交流电，我们创制了一台由电池供电的简单光电光度计，观测的精度 ± 0.01 。

仙人洞、杜家庄、长城岭三地海拔较高，用肉眼看来大气透明度较好，同时工作条件较困难，因此没有测定消光系数。

3. 气象因素

表 3

项目 \ 地名	仙人洞	杜家庄	长城岭	滦平	连营寨
可观测晴夜数	192	197		209	197
可观测太阳日数				311	310
天顶湍流角	0.46	0.36		0'24	0'24
消光系数 (V, BU)				0.16, 0.34, 0.56	0.15, 0.31, 0.58
夜温差	2.9	3.3	2.5	4.2	2~2C
日温差	7.7	9.5	8.2	10.8	7~3C
极端最低气温	-30.0	-27.5		-26.8	-21~5C
低于-15℃ 日数				59	17
平均风速	3.8	3.5	6.0	1.9	3.1
相对湿度	61	62		60	62

注：表中所列均为年合计或年平均值。

在分析各候选地影响天文观测的气象因素的时候，我们在很大程度上利用了就近气象站的资料，这些气象站观测年代较多，对我们了解该地长时期的气候状况很有价值，但是某些气象因素有很强的局部性。因此，我们在候选地观测站也进行了气象观测。观测项目主要是云量、风向、风速、气温和空气湿度。观测程序基本上与中央气象局地面观测规范相同。

4. 各地观测结果的比较

各站观测的主要结果如表3所示。从表中可以看出：连营寨和滦平的大气宁静度最好；在大气透明度方面，连营寨与滦平镇相近；在几个候选地中，连营寨的温差最小、冬季较温和。各地的晴天日数和相对湿度都很相近，实际上各站都近于在一条等晴日线附近。

四 结 论

在最后确定台址的时候，将各地的可观测晴日(夜)数、大气宁静度、大气透明度、影响天文观测的气象条件、交通建设条件和外界的影响等各方面条件综合起来进行了分析、比较。

首先，从妙峯山几次夜间观察结果，肯定石钢方向天空显著较其他方向亮，尤其在钢铁厂出铁时，相当高的天空都呈现暗红色，于是否定了妙峯山作为台址的可能性。

杜家庄和仙人洞两地星象质量显著较滦平、连营寨两地差，加之仙人洞气候寒冷，交通、水电等条件都相当困难，杜家庄附近又有待开发的矿藏，因此这两地都不十分适于建台。长城岭离京太远，交通建设条件十分困难，而在天文气候上也无显著优点，所以也不宜建台。因此，最后选择就在连营寨

和滦平两地间进行。

一般说来,连营寨和滦平两地的观测条件比较接近。星象质量、消光系数、相对湿度和晴日数都差不多,但滦平晴夜数略多,风速较小,连营寨温差非常小,冬季比滦平暖和得多。而连营寨的交通建设条件比滦平显著有利得多,因此连营寨是更适宜于建台的。

为了最后衡量连营寨是否可以作为一个现代天体物理台的台址,下面我们概括一下连营寨的天文气候条件和建设条件,并尽可能地同其他天文台作一些比较。

1. 可观测晴日(夜)数较多

在选址观测站观测期间,连营寨全年实际观测夜为 197 夜,其中可作光度观测的有 120 夜。可以观测太阳的日数为 310 天。应当注意的是这一年晴日数比历年平均值要少 20%。下面列出世界上的几个最大的天体物理台(已安装口径两米以上望远镜)的观测晴夜数(表 4)。

表 4

台名	巴洛马天文台 (美)	威尔逊山天文台 (美)	里克天文台 (美)	基特峰天文台 (美)	麦克唐纳天文台 (美)	渥特普洛房斯天文台 (法)
晴夜数	296 ^[6]	286 ^[5]	200 ^[4]	248 ^[7]	175 ^[8]	250 ^[13]

兴隆县气象站的历年晴日数(按气象定时观测平均云量小于 2 统计)平均为 119 天,比南京的 56 天和上海的 41 天(见表 2)多一倍以上。

2. 大气宁静度好

连营寨在建站观测期间,平均天顶湍流角为 $0.''24$,天顶湍流角小于 $0.''25$ 的出现几率达 65%。按丹戎^[3]的意见,天顶湍流角

为 $0.''25$ 就是很好的大气宁静度。连营寨夏、秋天星象更好,天顶湍流角多在 $0.''20$ 以下。在最好的夜里,天顶湍流角可达到 $0.''10$ 以下,在这种夜里可以进行分辨率很高的观测。当前行星细节的观测要求分辨率达 $0.''4$,在连营寨的大多数夜将可能达到这个要求。

3. 大气透明度较好

在表 5 中列出连营寨和其他几个不同高度的天文台的观测值和理论值,从而可见连营寨的大气透明度还是令人满意的。

4. 气候条件合适

观测结果表明,在连营寨影响天文观测的气象因素都比较有利:比较令人担心的华北地区的风沙在连营寨尚未遇到过,连营寨夜间温度变化小这一点是十分有利的。此外风速也不很大(平均为二级),对于海拔千米的山地来说,连营寨冬季还是比较暖和的,相对湿度同北京市相近,不致发生机件和镜面发霉生锈的问题。

5. 地形、环境、交通和建设条件良好

连营寨距大小城镇、工矿都有相当距离,附近没有待开发矿藏,并同有关部门商定今后将不在台址附近建设妨碍天文观测的设施。因而将不受外界灯火、烟尘和水汽干扰。经地质所、设计院勘察肯定了该地地基稳固、水源充足、水性良好,只需修扬程二百多米的水泵房和五公里公路,只要半天功夫,就可坐火车和汽车到达北京。这比之美国国立基特峰天文台要修 20 公里公路和大规模集水场要方便得多了^[12]。

鉴于以上所述的特点,连营寨是比较适宜于建设一个现代化天体物理台的地方。1964 年底,邀集了全国各天文台、站、各大学天文系的代表以及北京天文台的学术委员

表 5

项 目 台 站	海拔高度 (米)	黄消光系数		蓝消光系数		紫外消光系数	
		最好值	好天平均	最好值	好天平均	最好值	好天平均
理论值 ^[8]	0000.0	0.11	—	0.26	—	0.55	—
理论值 ^[8]	1,500.0	0.09	—	0.21	—	0.44	—
连营寨	900	0.15	0.22	0.31	0.40	0.58	0.64
紫金山天文台 ^[9]	267	0.28	0.30	0.53	0.58	—	—
美国劳伦斯天文台 ^[10]	90	0.16	0.24	0.26	0.35	0.58	0.69
美国威尔逊山天文台 ^[9]	1,742	0.143	0.17	0.254	0.28	0.456	0.49
法国涅特普洛房斯台 ^[11]	~600	0.165	—	0.29	—	0.59	—

举行了选址专题学术讨论会，会上一致肯定连营寨是一个相当好的台址。于是，最后决定了以连营寨为北京天文台天体物理台台址。在1964年年底结束了选址工作。

目前，天体物理台的基本建设已经开始进行，该台建成后将成为我国天文科学实验的重要基地，大大促进我国天体物理学这一薄弱学科的发展。现在我国天文台为数还很少，今后，随着我国国民经济和科学技术的大跃进，还必须建立更多更好的天文台站来促进我国天文事业的发展。我国幅员广阔，是发展天文学的有利条件，在我国广大的疆土上进行广泛的天文气候考察必能选出天文气候条件更好、适于各种观测需要的台址来。

志谢：在本工作的进行过程中，承河北省、北京市和山西省各级机关、群众的大力支持和帮助，全国天文台、

站、中央气象局及有关台、站、各校天文系和兄弟所的亲密协作，在此一并致谢。

- [1] 中央气象局气象资料。
- [2] 中国气候图，中央气象局气候资料研究室编，1959。
- [3] Danjon A. et Couder A., *Lunettes et télescopes*, 1935.
- [4] 沈良照等，天文学报，12，[2]，83 (1964)。
- [5] Annual report of the director Mt. Wilson and Palomar observatories, 1960—1961, 1961—1962, 1962—1963.
- [6] Irwin J. B. *Science*, 115, [29] 223 (1952).
- [7] *A. J.* No. 1318, 226, (1964).
- [8] Arp H. C., *Ap. J.*, 129, [2] 510 (1959).
- [9] 未发表资料。
- [10] Abhyankar K. D., *Zsf. Ap.*, 54 [1] 25 (1962).
- [11] Dufay J., *Introduction a l'astrophysique: Les étoiles*, 18 (1961).
- [12] Meinel A. B., *Sky and telescope*, 17, [10] 492 (1958).
- [13] Dufay J. and Fehrenbach C., *Sky and Telescope* 22, 4 (1961).