

近代天文圆顶发展概况

姚正秋 周放

(中国科学院国家天文台南京天文光学技术研究所 南京 210042)

摘 要

综述了国内外天文圆顶的各种设计方案, 比较了各种方案的性能, 并介绍了为改善圆顶性能, 降低造价进行的相关研究, 以及为下一代巨型地面望远镜圆顶进行的预研究。结合目前正在研制的大天区多目标光纤光谱望远镜——LAMOST, 简述了我国 LAMOST 望远镜圆顶的设计方案及其相关研究的概况。

关键词 天文观测设备与观测资料 — 天文圆顶 — 综述 — 视宁度 — 热控制

分类号 P111.2

1 概 述

随着地面光学天文望远镜研制技术的迅速发展, 地面光学天文望远镜的性能越来越好, 仪器的一个主要参数——成像质量也随之不断提高。一些大型望远镜先后被投入运行, 与之相配套的天文圆顶技术, 也越来越受到关注。这一方面是由于天文圆顶提供地面光学天文望远镜工作和保存的环境, 其结构的合理与否直接影响天文观测的效率和精度。另一方面是由于圆顶造价在天文观测台站成本中占很大一部分比例, 降低圆顶造价, 可为地面光学天文望远镜研制省下可观的费用。

天文圆顶的设计方案, 首先应满足地面光学天文望远镜对它的功能要求。即在地面光学天文望远镜工作时, 能让天体辐射自由而尽量少畸变地进入接收器, 并尽量避免风振动、温度变化、雨、湿、灰等不利因素对望远镜的影响; 在地面光学天文望远镜不工作时, 也应较好地封闭, 使仪器不受外界风、雨、雪、灰尘等不利环境因素的影响^[1]。

另外, 圆顶的设计方案还应考虑强度、寿命、可靠、安全、美观与环境协调等因素, 并伴有制造成本低、外形尺寸较小、重量轻、维护保养方便等要求。

本文即简述近年来国际上有关天文圆顶的研制工作, 综述天文圆顶技术的发展概况。

2 传统圆顶方案及其缺陷

多年来, 望远镜圆顶一般设计成传统的结构。即根据传统的赤道式望远镜回转结构, 将天文圆顶设计成能包容该望远镜转动, 并留有一定工作空间的金属壳形结构。一般下半部为圆柱形, 上半部为半球冠状, 且开有大于通光口径的天窗。不工作时由风屏遮挡封闭天窗, 工作时打开天窗, 让天体辐射进入望远镜光路系统。随着望远镜跟踪天体, 圆顶也须随动, 或隔一段时间转动, 以保

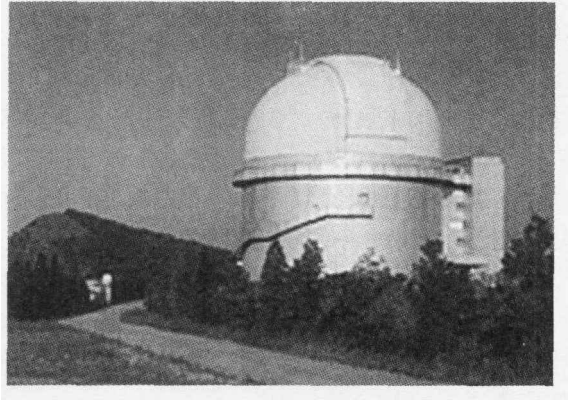


图 1 传统天文圆顶 (2.16 m 望远镜)

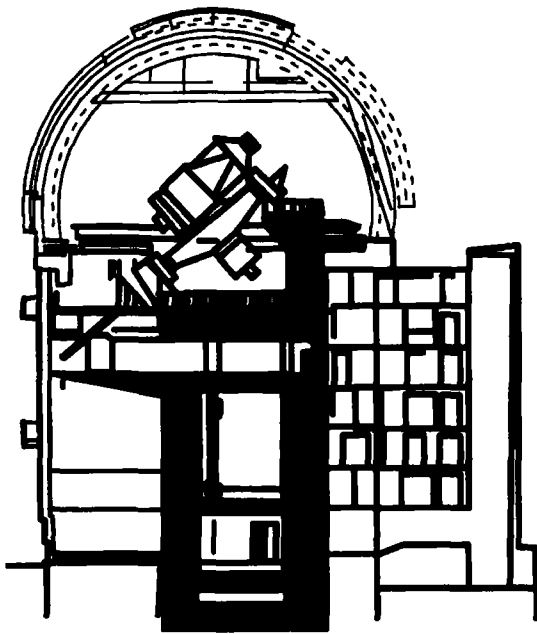


图 2 传统天文圆顶剖面图 (2.16 m 望远镜)

证观测进行。其结构和剖面图分别如图 1、图 2 所示。

以前望远镜一般采用赤道式结构, 跟踪不同天区时望远镜运动外廓包容体积较大, 又要留有一定的工作空间和起吊、维修空间。所以其尺寸一般都较大, 成本也较高。此外, 这种圆顶另一个较大的缺陷是由于封闭性好, 通风差, 夜晚观测时圆顶内温度往往高于外界环境大气温度, 这就造成了温差, 破坏了仪器周围的视宁度。当然, 圆顶下面建筑内的热气流, 也往往是影响圆顶视宁度的一个重要因素。

传统圆顶内视宁度差的缺陷, 已引起各国天文学家的关注。欧南台 (ESO) 3.5 m NTT 望

我国现有的天文圆顶, 包括 2.16、1.56、1.2 m 红外以及其它一些更小的望远镜均采用这种结构。2.16 m 望远镜的圆顶总高 34.6 m, 外径 23.5 m, 下为圆柱体, 上为半圆球冠, 球冠上有一可上下移动、开启和闭合的天窗, 天窗净宽 5.2 m, 以供望远镜观察天体时用。其中活动圆顶高 15 m、外径也达 23 m, 重 250 t。这个圆顶的成本较高。1.56 m 望远镜的圆顶外径也达 20 m 以上, 同样尺寸较大。只有 1.2 m 红外望远镜, 采用了已有的 6 m 圆顶, 虽尺寸较小, 安装调试有些困难, 但由于观测操作均在其旁边的控制室中进行, 所以效果很好。

这种圆顶封闭性较好, 一般能较好地挡住仪器上的风载荷, 减小风振动。由于

望远镜 (New Technology Telescope) 在设计圆顶时就采用在圆顶围墙上开百叶窗的方法, 用自然通风来减小圆顶内外温差, 改善视宁度, 取得了较满意的效果。ESO 为建造 4 台 8 m 大望远镜 VLT (Very Large Telescope) 试验了一些新技术, 最终 VLT 圆顶方案基于 NTT 圆顶方案, 在圆顶下部围墙上设置一些可开启的大通风口, 利用自然通风来改善视宁度^[2]。Gemini 望远镜圆顶也采用这种结构。这些大望远镜圆顶内均有强迫通风结构, 当外界风力不够时, 专用的排风通道会将圆顶内的热气流经下风方向排出, 以免影响光路中的视宁度。

一些原有的天文圆顶由于存在视宁度缺陷问题都在被改造。如西班牙拉帕尔马岛上的国际天文台, Ardersen 指导的研究生正在开展改进传统 4.2 m 威廉-赫歇尔望远镜圆顶内视宁度的研究。主要的措施是在围墙上开一些足够大的百页窗, 并在圆顶内设置通风冷却装置。百页窗可根据外界风力大小、方向控制窗口开合和方向, 保持室内有一定速度的空气流动, 从而均匀仪器周围温度。通风冷却装置用于使圆顶内温度冷却到夜晚观测时的环境气温, 排除仪器周围的热量。

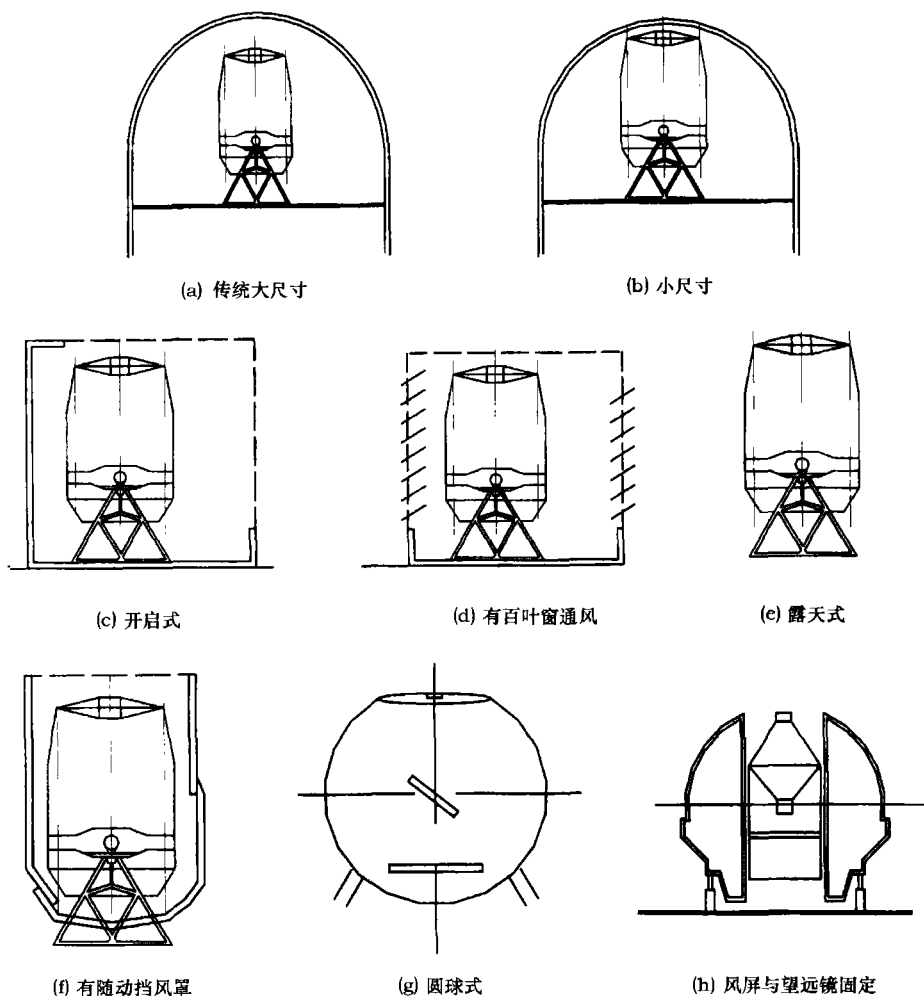


图 3 各种圆顶方案^[3]

3 目前国际上各种圆顶方案

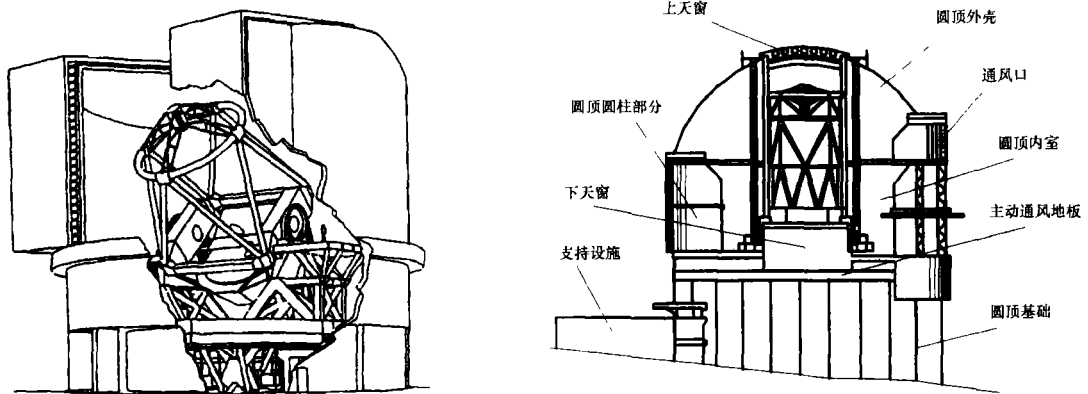
根据各种望远镜的要求, 一些不同结构的天文圆顶被先后提出并研制成功。这些圆顶可以归纳为 8 大类结构形式, 如图 3 所示^[3]。

第 1 类就是传统形式的圆顶, 上一节已叙述过。由于它的尺寸往往较大, 造价高, 又易有视宁度问题, 目前较少被采用。

第 2 类是小尺寸圆顶, 即在传统圆顶基础上, 尽量减小尺寸, 降低造价。特别当地平式机架被广泛运用后, 望远镜的外形尺寸大大减小了, 相应的圆顶尺寸也就减小了。如我国 2.16 m 望远镜采用传统圆顶设计, 虽然望远镜不大, 口径只有 2 m, 但其圆顶直径却达 23 m。而地平式的 SOAR 望远镜 (SOUth Astrophysical Research Telescope), 口径为 4.2 m, 但其圆顶直径只有 20 m, 造价为 170 万美元, 比传统的 2 m 望远镜圆顶的成本还低。HET (Hobby-Eberly Telescope) 主镜口径达 9 m, 其圆顶直径也只有 20 m 左右。

第 3 类为开启式圆顶, 这种圆顶与望远镜随动旋转, 外形可为圆柱体或多边柱体。其优点是望远镜与圆顶间没有相对转动, 因而可根据望远镜外廓进一步缩小圆顶尺寸。另外, 开启式结构也更有利于空气流通, 改善圆顶内视宁度问题。这种圆顶结构更为紧凑, 成本也降低了。

第 4 类结构是在第 3 类的基础上, 再加上充分通风的百页窗口, 这样既保持了第 3 类的优点, 也进一步改善了观测时的视宁度。目前世界上建成的几台 8 m 级的望远镜均采用了这类结构。如 VLT 的 4 台 8 m 级望远镜圆顶, 原先从解决视宁度和降低成本出发, 拟采用露天式方案。后考虑到副镜部分风振问题解决得不够理想, 且当时资金已足够, 因此最终采用了开启式、与望远镜随动的紧凑结构, 且在圆顶下部留有足够大的可开启的通风口。Gemini 望远镜的圆顶也采用类似结构, 其下部有上下可折叠打开的结构, 以保证通风充分, 而上部的遮挡, 又可保证副镜部分不受过大的风振影响。日本的 Subaru 望远镜圆顶则基本上采用 VLT 圆顶的方案。这 3 种望远镜的圆顶方案如图 4 所示。



(a) VLT 圆顶^[2]

(b) Gemini 圆顶^[8]

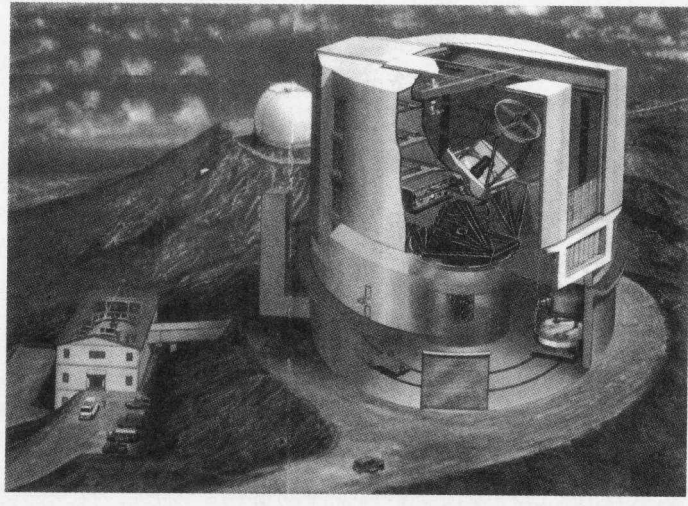
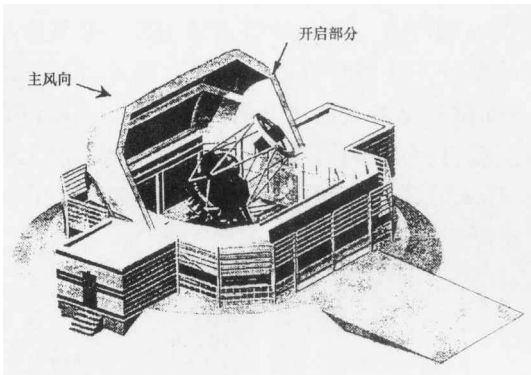
(c) Subaru 圆顶^[6]

图 4 VLT、Gemini、Subaru 圆顶方案

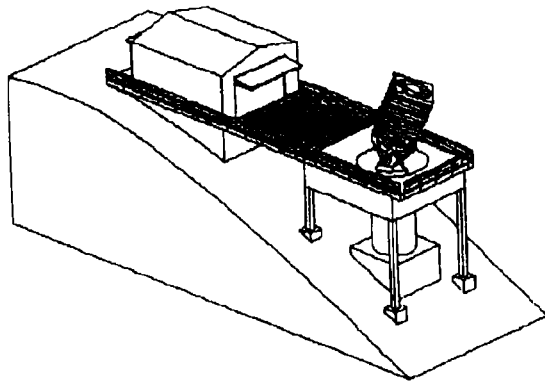
图 5 TTL 公司设计的露天式结构^[22]

第 6 类结构是在第 5 类基础上,增加了与望远镜随动的挡风罩,这样克服了第 5 类方案中风大时望远镜振动的问题。但风罩及其随动机构,也相应增加了成本。美国 SDSS 望远镜 (Sloan Digital Sky Survey Telescope) 即采用了这种圆顶方案 (见图 6)^[9]。

第 7 类结构是一种很独特的设计,它将圆顶与望远镜镜筒合为一体,做成圆球状,省去了镜筒结构,大大降低了望

第 5 类是完全开启的结构,观测时望远镜完全暴露在露天环境下。这种方案结构简单,成本低。因为观测时望远镜周围没有附加的构件热源,所以视宁度最好。有的天文学家称“工作时,没有圆顶的圆顶,是最好的圆顶”。但由于望远镜完全暴露在气流中,当风力较大时,会产生振动。

英国的 TTL 公司 (Telescope Technology Limited) 为此设计了一种方案,即在大风的主方向上设置一档风屏,以解决上述问题 (见图 5)。VLT 原来也拟采用这种结构。

图 6 SDSS 圆顶^[9]

远镜造价，其跟踪运动一般由摩擦机构直接驱动圆球完成，成本较低。这种结构的难点在于大圆顶表面的加工，一般没有通用的机床能胜任，必须设计专用的加工设备。法国已有一台 1 m 级望远镜成功地采用了这种结构。原拟建造的 LEST 大太阳望远镜 (Large European Solar Telescope)，也曾想采用这种结构。中国天文普及专家伊世同先生在他提出水上公园望远镜时，也曾考虑采用水上浮球式望远镜结构。

第 8 种结构是第 3 种与第 6 种方案的结合，它将风屏固定在望远镜结构上。与第 6 种方案不同的是，风屏固定在望远镜结构上增加了望远镜驱动的转动惯量。这种风屏在不工作时可以完全关闭，以保护望远镜，因而不需外加圆顶。LBT (Large Binocular Telescope) 即采用了这种方案 (见图 7) [7]。

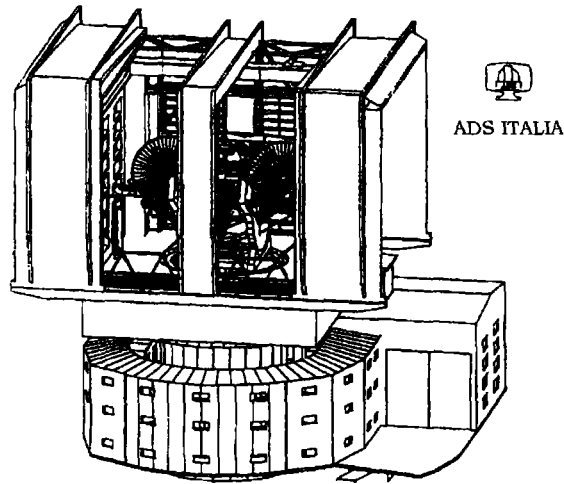


图 7 LBT 圆顶 [7]

4 有关圆顶挡风作用的研究

圆顶有一个重要作用，就是适当地挡住风对仪器的振动影响。近来设计圆顶时，均要进行圆顶挡风作用的研究，以确定该圆顶内仪器工作时，所受的风载荷是否在允许范围内能避免过大风载荷引起仪器振动过大或损坏。

圆顶挡风作用的研究一般有 3 种方法 [10,11]：

(1) 风洞试验，即利用建筑风洞或航空风洞，将按比例缩小的圆顶建筑及其附近地形模式放置在风洞中，再根据雷诺数相似原理，计算出各级风速在实验中应采取的模拟风速。在模型相应部位上，放置一些传感器，记录下各种风向、风速下模型各点上的压力、压强分布，还可以用纤维或烟雾来观测气流方向。试验的结果可用以推算出仪器实际情况下的风载。

(2) 水槽试验 (见图 8) [11]。其原理与上述方法类似，即将模型置于流动的水槽之中，观测水流在模型周围的流线情况，推断出实际情况仪器周围的气流及风载荷情况。这种方法成本较低，由于水的密度及粘度都比空气大，所以试验时流速不必太大就可达到相似准则，得出有用的结果。但这种方法的误差比风洞试验大些，因为它不能用传感器直接测出压力、压强等参数。

(3) 计算分析，即用计算机建立模型，分析圆顶或围挡结构对仪器的流场作用。其原理基于流体力学和数值计算方法，即将有关圆顶、仪器及其附近地形地貌建立模型，分网格后，再据不同风速、风向，算出各处气流大小、方向，得到矢量图。这种方法随着计算机技术迅速发展而被用得越来越多，精度也大大提高了。但由于建模时对实际情况有些简化，所以其结果的可信性往往需实验进一步验证。

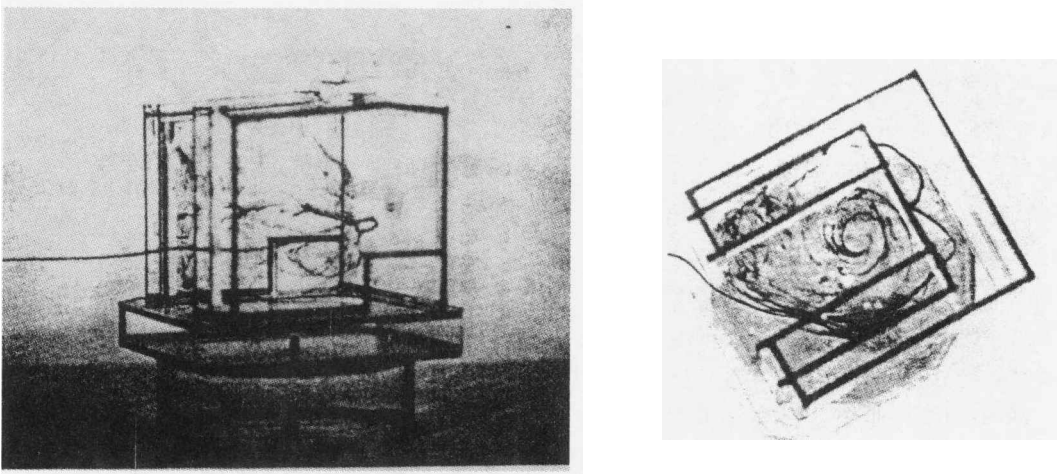


图 8 美国 Apache point 天文台 3.5 m 望远镜模型水槽试验时的侧面图和顶视图^[11]

目前普遍采用的做法是同时使用计算分析和实验验证两种方法,以相互证明和补充。国际上大望远镜圆顶设计时均同时采用计算分析和风洞模型试验两种方法。如 VLT、Gemini、LBT 都这样做了。LAMOST 项目也进行了这项工作,得出了相吻合的结论(见图 9)^[21]。

仪器周围风速大小的控制,是通过圆顶的百页窗开合来进行的。对一般的二镜系统的光学望远镜,应着重控制主副镜附近的风速。据 Martin 等人^[17]的研究,控制的目标函数定为

$$FOM_{\text{wind}} = (V_{M1} - 1.5)^2 + 0.2V_{M2}^2,$$

式中 V_{M1} 是主镜附近的风速,单位 m/s; V_{M2} 是副镜附近的风速,单位 m/s。根据此式及实测经验,望远镜周围风速应控制在 0.5~1.5 m/s 之间为最佳。

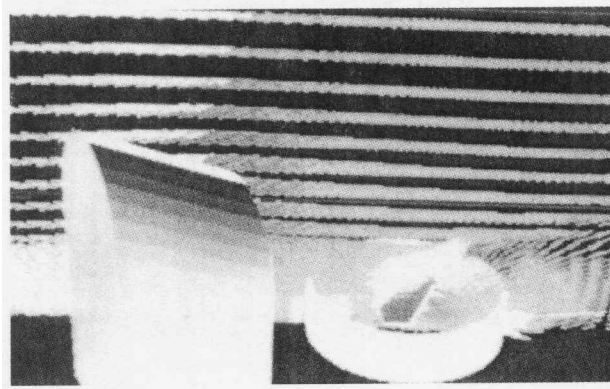


图 9 LAMOST 圆顶在有风时的气体流场计算结果图之一^[21]

5 有关热控制的研究

圆顶内及其仪器周围温度场的研究,对改善仪器的工作状况和视宁度有很大作用。因为

温度不均匀会引起仪器的变形,影响像质和精度。另外,光路中空气温度不均匀,会使光线偏折,引起像的抖动和像斑扩大,这些都使仪器光学性能下降。

在热控制研究方面,美国麦克唐纳天文台的 Good 做了很多努力。他进行了两方面的工作:一是热源的控制和冷却,他用红外线测温计测出仪器附近的热源,并分析这些热源对观测精度的影响,对影响大的热源用专门装置冷却;二是他对圆顶内的各构件热容量放热量进行热平衡计算,确定制冷和通风的各个参数。

根据 Good^[23] 的研究,圆顶内的主要热源有:

- (1) 白天太阳辐射到圆顶上的热;
- (2) 电机及电路元件产生的热;
- (3) 压缩机及油路产生的热;
- (4) 照明及取暖产生的热;
- (5) 工作人员及人员活动产生的热。

为改善圆顶内温度不均匀,须从减少这些热源影响着手。对白天太阳辐射影响,一般有 3 种措施:一是圆顶内设绝热保温层,二是让圆顶外表面具有高反射能力,三是圆顶结构两层间设通风空间,使热空气能对流排出。当然观测时移去圆顶,是解决这个问题较彻底的方法;对光路有较严重影响的部件,应加以局部冷却。视不同情况可用风冷或水冷;为防止照明、取暖等工作场所的热影响,应仔细设计工作场所的进出口,让尽量少的热空气外泄。通道照明灯均用延时开关,能在人通过后自动关掉。

对可能产生的热源,应作仔细计算,并留有一定余量。以此为依据,设置通风、冷却设备参数。另外,还应尽量利用自然通风来均匀温度场,移开式圆顶在这方面有很大优势,而非移开式的圆顶也应开足够面积的通风窗口。

在观测进行前,一般应控制圆顶室温低于预计观测时的外界气温 0.5°C , 根据 Martin 等人^[17] 的看法,控制的温度可按下式确定:

$$TT = PST + \left(\frac{dT}{dt} \right)_{6h},$$

式中 PST 是前一个夜晚开始观测时的温度,后一项是前一天观测时 6 h 的平均温差。

6 有关改善圆顶附近视宁度的研究

国际上有很多专家对圆顶附近的视宁度进行了研究。Daniel^[16] 将圆顶附近影响观测的视宁度分为两部分,一是镜面附近的视宁度,由镜面与周围空气温度差别引起;二是圆顶视宁度,由圆顶光路内空气温差引起。

空气的折射率可据高斯-劳伦斯公式计算:

$$N(i, P, T, V) = 1 + \frac{77.6 \times 10^{-6}}{T} (1 + 7.52 \times 10^{-3} \lambda^{-2}) \left(P + 4810 \frac{V}{T} \right),$$

式中 P 是干燥的大气压力,单位 mbar; V 是水汽压力,单位 mbar; T 是空气温度,单位 K; λ 是光波长,单位 μm 。根据上式可得出结论,影响空气折射率变化,也就是视宁度的

主要因素是温度差。在室温较低、空气干燥、大气压较低的情况下，视宁度会变好。

美国华盛顿大学天文系的 Walter 等人^[11]对 Apache Point 天文台 3.5 m 望远镜圆顶进行研究后发现，该望远镜像质变坏程度与望远镜附近温差近似成线性关系：

$$S_D = 0.43T_D,$$

式中 S_D 是光学像质变坏的角秒数； T_D 是望远镜温差，单位 $^{\circ}\text{C}$ 。应该指出，系数 0.43 只适合该圆顶。对不同圆顶，也有类似公式，但具体系数应根据实验测出。

因此，改善圆顶附近视宁度主要应控制温度均匀，特别是光路中空气温度的一致性，要让观测时望远镜周围的气温与外界气温一致。在圆顶内，应有通风、冷却装置。有条件的话，在观测进行前应对圆顶内制冷，使圆顶内的空气及仪器构件温度接近于夜晚观测时的气温。

由于地面白天日晒会升温，夜晚观测时，地面温度高于气温，近地面会有一温度扰动层。所以，圆顶应有适当的高度，使望远镜光路高于这个扰动层。光路的高度应有 15~20 m 左右。

为减少地面热空气及圆顶下部建筑热气流影响，最好设计一定宽度的外走廊，以隔住下部热气流，防止它进入光路。

圆顶周围应有矮小的植被，如草地、小灌木等，以减少地面热源。而太高的乔木会抬高空气扰动层，所以应避免种植。

圆顶周围路面应避免铺黑色沥青，最好用白色路面，以减少白天热吸收和夜晚热发散。在光路附近应避免有大的热源和大热容量构件，以改善温度性能。

7 特大望远镜圆顶的研究

对下一代更大望远镜预研的展开，带动了大型圆顶的设计和制造方法的预研究。

Temcor 公司的 Thomas 和美国国立天文台的 David^[13]发表文章，介绍他们设计的一个直径为 91 m 的圆顶方案，估计其造价约为 1800 万美元。该设计采用高强度铝型材，为空间三角形桁架结构(见图 10)，外面复以 1.27 mm 厚的铝皮。这个圆顶可供直径 50 m 左右的地面望远镜工作。

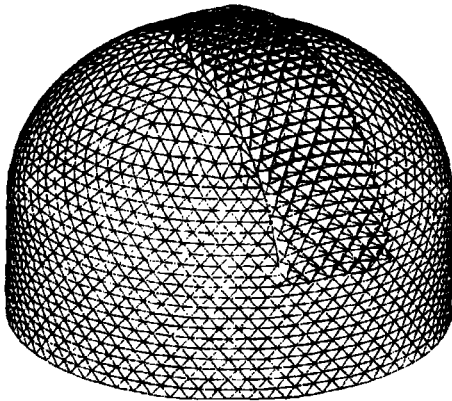


图 10 91 m 圆顶的桁架结构^[13]

地面望远镜口径越来越大，需要的圆顶直径也越来越大，建造的困难随之增加，圆顶的尺寸大小有没有上限？瑞典 Lund 天文台的 Torben 等人^[14]为此发表了研究论文。制造特大圆顶需要克服的主要技术难题是，如何防止作用在大圆顶上的风载破坏，以及如何解决安装时所需的大高度、大重量的起吊装置问题。经调查表明，目前的技术能力已能建造直径 130 m 左右的圆顶。事实上，更大的问题是造价。根据 Torben 等人^[14]的研究，一个直径 25 m 的圆顶造价为 4200 万欧元；一个直径 50 m 的圆顶造价为 2.5 亿欧元；而一个直径 100 m 的圆顶造价将达 5.54 亿

欧元。圆顶直径与价格的关系如图 11 所示。由图可见，该关系近似于一抛物线，即造价与圆顶直径平方成正比。

总之，建造大圆顶的研究重点在于，采用新材料和新结构，降低造价。

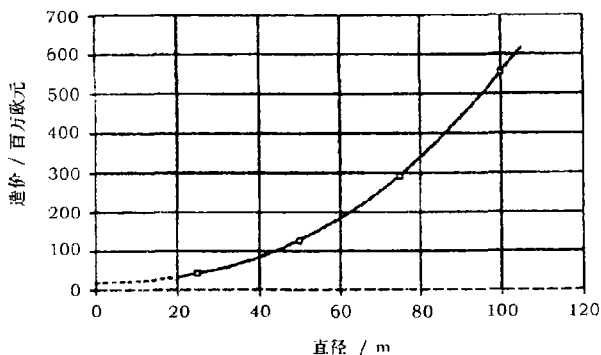


图 11 圆顶直径与造价关系^[14]

8 LAMOST 圆顶方案及相关研究

由于 LAMOST 光路和结构的特殊性，其圆顶结构也与一般的望远镜不同。经国内外多位专家研究和评审，我们选定了开启式的 M_A 圆顶和封闭式的焦面到 M_B 围档结构。在围档及圆顶围墙上，均开有通风百页窗，用以通风和制冷机构，以改善视宁度。这个圆顶方案如图 12 所示。在反射施密特改正镜 M_A 部分为分成两半的半圆球冠，直径 16 m，观测时左右移开，让出光路。采用露天观测方式，圆顶的视宁度较好。从焦面到球面主镜 M_B ，为一上斜 25° 的卧式通道，近 M_A 端有一门，观测时打开，使天体光线经 M_A 反射后，通过此门进入 M_B ，

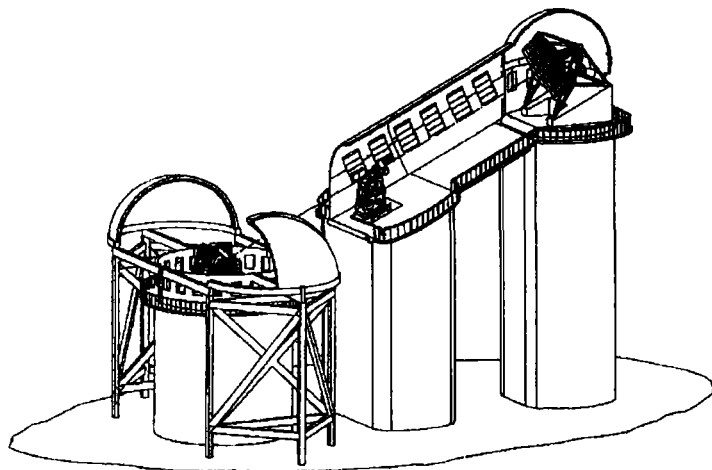


图 12 LAMOST 圆顶方案

再聚焦在焦面上。这部分尺寸为 11 m 宽, 高约 7.5 m。圆顶内配有冷却、通风设备, 以改善视宁度。

由于 M_A 圆顶工作时完全移开, 挡风靠 4 m 高的围墙, 为了不挡住观测天区, 此墙不能太高。所以, 挡风效果是我们重点研究的问题。为此, 我们研究了挡风性能, 并调研了兴隆站的气象资料。在经过风洞模型试验和流场分析计算后, 我们得到的结论是, 在大部分观测时间里, 兴隆站的风振并不严重, 围墙对气流的抬升作用能保护镜面不受过大风载荷。在大风时, 兴隆站一般是西北风, 我们可以在北面加一风屏, 即能较好地解决风振问题^[21]。

圆顶的挡光主要是由在焦面附近的围挡筒进行, 王亚男专门对此作了计算, 结论是挡光并不严重, 南天区近子午面挡光后的有效通光口径仍能超过 4 m。目前她已完成了该方面的技术报告。

关于杂散光对观测的影响, 王钢、王亚男及美国国立天文台的梁明先后对此进行了计算。梁明用专门的计算杂散光软件对 LAMOST 建立了模型, 结论是建筑构件内表面和 M_A 构件、焦面构件不应有强反光, 并应增加适当的光栏, 这样散射光的影响可减少到不影响观测。这方面详细资料, 读者若感兴趣可与笔者及王亚男联系。

至于冷却和通风, 我们也进行了计算。但据国外经验, 特别是 HET 的经验, 我们还必须留有足够多余的通风冷却能力, 以供新添仪器和设备时用。

由于 LAMOST 光学元件分布在 3 个独立的基墩上, 当外界有风时, 会不会引起 3 个基墩相应振动, 但又因方向不同而破坏光路? 为此我们又专门进行了基墩风振动特性研究。结论是随风力增大, 基墩的振幅也加大, 但 5~6 级风的振幅在 $1 \mu\text{m}$ 以下, 即主光线变动 $0.01''$ 以下, 不会造成较大影响^[21]。

9 结 论

随着天文望远镜技术的发展, 天文圆顶技术的研究也得到了发展。目前圆顶技术已不单纯是机械结构的设计, 而是牵涉到圆顶的大气视宁度、温度、挡风、振动、地形地貌、气象等众多因素的深入研究, 计算机模拟技术的应用也为降低造价、改善性能, 以及更大型望远镜和特殊天文望远镜的研制提供了可能。科学研究是无止境的, 天文仪器专家们正为此投入越来越多的精力, 以致在国际召开的 SPIE 会议上都专门有圆顶围护室 (enclosure) 方面研究的专题报告。

致谢 感谢众多国内外专家在 LAMOST 圆顶设计和研究中给予的帮助, 以及范晓松女士在本文的打字工作上给予的帮助。

参 考 文 献

- 1 姚正秋. 天体物理学报, 2000, 20 (增刊): 79
- 2 Zago L. In: Ulrich M H ed. Progress in Telescope and Instrumentation, Garching: ESO, 1992: 235
- 3 Zago L. In: Lorenzo Z ed. Enclosure and Buildings for the ESO Very Large Telescope, VLT Report, No 46, Garching: ESO, 1986: 8
- 4 Forbes F F. In: Ulrich M H ed. Very Large Telescope, Their Instrumentation and Programs, Garching: ESO, 1984: 29

- 5 Michael S. In: Stepp L M ed. *Advanced Technology Optical Telescopes V*, Washington: SPIE, 1994: 465
- 6 Mikami I, Yamauchi H, Itoh N *et al.* In: Stepp L M ed. *Advanced Technology Optical Telescopes V*, Washington: SPIE, 1994: 430
- 7 Salinari P, Hill J M. In: Stepp L M ed. *Advanced Technology Optical Telescopes V*, Munich: SPIE, 1994: 442
- 8 Keith R, Robert F, Paul G *et al.* In: Stepp L M ed. *Advanced Technology Optical Telescopes V*, Munich: SPIE, 1994: 452
- 9 Charles H, Cavedoni C P, Rees N P *et al.* In: Stepp L M ed. *Advanced Technology Optical Telescopes V*, Munich: SPIE, 1994: 494
- 10 Frank S P. In: Stepp L M ed. *Advanced Technology Optical Telescopes V*, Munich: SPIE, 1994: 542
- 11 Walter A, Siegmund J, Charles C. In: Scottini S, Trigari S eds. *1986 European Conference on Optics, Optical System and Applications*, Washington: SPIE, 1986: 369
- 12 Beniston M, Hertig J A, Zago L. In: Scottini S, Trigari S eds. *1986 European Conference on Optics, Optical System and Applications*, Washington: SPIE, 1986: 3601
- 13 Thomas M, David S P. In: Sebring T A, Andersen T eds. *Telescope Structure, Enclosure, Controls, Assembly/Integration/Validation and Commissioning*, Washington: SPIE, 2000: 311
- 14 Torben A, Christensen P H. In: Sebring T A, Andersen T eds. *Telescope Structure, Enclosure, Controls, Assembly/Integration/Validation and Commissioning*, Washington: SPIE, 2000: 373
- 15 Sarasola J M, Alcantud M. In: Sebring T A, Andersen T eds. *Telescope Structure, Enclosure, Controls, Assembly/Integration/Validation and Commissioning*, Washington: SPIE, 2000: 621
- 16 Daniel B. In: Sebring T A, Andersen T eds. *Telescope Structure, Enclosure, Controls, Assembly/Integration/Validation and Commissioning*, Washington: SPIE, 2000: 552
- 17 Martin C, Jason S. In: Sebring T A, Andersen T eds. *Telescope Structure, Enclosure, Controls, Assembly/Integration/Validation and Commissioning*, Washington: SPIE, 2000: 194
- 18 Daniel H N, Jose T U, Edward A *et al.* In: Sebring T A, Andersen T eds. *Telescope Structure, Enclosure, Controls, Assembly/Integration/Validation and Commissioning*, Washington: SPIE, 2000: 135
- 19 Javier S, German P. In: Sebring T A, Andersen T eds. *Telescope Structure, Enclosure, Controls, Assembly/Integration/Validation and Commissioning*, Washington: SPIE, 2000: 143
- 20 Jose T U, David S, Edward A *et al.* In: Sebring T A, Andersen T eds. *Telescope Structure, Enclosure, Controls, Assembly/Integration/Validation and Commissioning*, Washington: SPIE, 2000: 155
- 21 Yao Z Q, Cui X Q, Tan D B *et al.* In: Sebring T A, Andersen T eds. *Telescope Structure, Enclosure, Controls, Assembly/Integration/Validation and Commissioning*, Washington: SPIE, 2000: 164
- 22 Anthony G M. In: Sebring T A, Andersen T eds. *Telescope Structure, Enclosure, Controls, Assembly/Integration/Validation and Commissioning*, Washington: SPIE, 2000: 173
- 23 Good J. private communication, 2000-12-05

Progress in Modern Astronomical Enclosure

Yao Zhengqiu Zhou Fang

(National Astronomical Observatories/Nanjing Institute of Astronomical Optics & Technology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210042)

Abstract

Various astronomical enclosure designs, especially the comparison of the functions among different designs, are described. The research of improving the dome seeing and reducing the cost,

as well as the preliminary design of the enclosure for extremely large telescopes are presented. Concerning the Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope (LAMOST), the enclosure design and its related study are also introduced.

Key words astronomical facilities and observational data—astronomical enclosure—review—seeing—thermal control

* * * * *

《天文学进展》征稿启事

1. 本刊刊登反映国内外天文学研究的最新进展和作者见解的述评、前沿介绍、专题讲座 (以上一般不超过 8000 字)、研究简讯 (约 3000 字)、学术活动报导和短评 (均应少于 1500 字)。反映新思路、新手段、新成果的短评优先发表。
2. 来稿须包括: 题名、作者署名、作者单位及所在地与邮政编码、摘要、关键词、正文、参考文献、英文摘要、英文关键词等。
3. 来稿应论点明确、叙述精练、条理清晰、深入浅出, 以利非本分支学科的读者阅读。
4. 摘要应简明扼要地概括正文中的主要信息。采用第三人称的写法, 不用“本文”、“作者”等作主语。稿件如果不以英文发表, 英文摘要不宜太短, 一般应控制在半页 (约 1800 个英文字符) 至一页之间。
5. 关键词请尽可能参照 ApJ、MNRAS 和 A&A 共同采用的关键词表选用, 可适当扩充。
6. 稿件中引用论点、公式、图、表均需注明参考文献 (按文中出现顺序编码, 在右上角用小方括号标出)。正文后则按编码次序依本刊要求的编排格式列出相应的参考文献。
7. 审定稿后需提供字迹清晰的清稿样, 以及清稿样的电子文本。本刊采用 CCT (中西文 Latex) 系统软件排版, 采用其它排版软件者请将 *.doc 文件发送至我部。稿件所有内容请置于同一文件中。
8. 图、表务求精、简、规范, 以配合文字阐明观点。公式务求精约, 杜绝公式推导过程。
9. 请勿一稿两投。来稿请一式两份, 挂号寄至上海市南丹路 80 号《天文学进展》编辑部, 邮政编码: 200030; 联系电话: (021)64386191×345 或 346; E-mail: twxjz@center.shao.ac.cn。

《天文学进展》编辑部

2003 年 9 月 1 日