

北京天文馆营建史探赜

A Historical Study of the Design and Construction of Beijing Planetarium

刘亦师 | LIU Yishi

摘要：现代天文馆是1920年代诞生于德国的一种新建筑类型，是光学、电气、机械制造、结构设计等多个工程学科合作的成果，不但利用新技术创造出新的建筑新形象，星空剧场的演示方式也成为人们的新娱乐方式，在科学和社会等方面产生了重要变革。本文追溯德国天文馆建筑设计的缘起及其在世界各国的传播和改进，在此基础上论述1954—1957年间北京天文馆筹备建设的策划和建设过程，讨论最早使用喷射混凝土技术的这一新中国著名建筑的设计和施工特点及其经验得失。

关键词：北京天文馆、天象仪、双层穹顶、Z-D薄壳结构、喷射混凝土施工

Abstract: The modern planetarium emerged as a new type of architecture in Germany in the early 1920s, epitomizing a number of engineering fields including optical engineering, electrical engineering, mechanical engineering and structural design. Planetariums not only employ cutting edge technologies to create new architectural form, but also provide a new entertainment to change science and social life tremendously. This paper traces the genesis of the modern planetarium and its spread worldwide with significant improvements, on which basis it delineates the programming of Beijing Planetarium between 1954 and 1957, and investigates the design and construction characteristics of this critical example which first applied shotcrete in the early years of the PRC with lessons learned in the process.

Keywords: Beijing Planetarium, Planetarium, Domical double-shell, Zeiss-Dywidag system, Shotcrete

一、引论：天文馆建筑及其研究意义

人类在远古时代就开始观察星空，形成了各种有关天象的神话传说，成为人类精神生活的重要组成部分。从科学史的角度而言，天文学作为探索天时变化规律与人类活动关系的工具，是历史最为久远一门自然科学，并深刻影响了数学和物理等学科的发展^①。

天文学家为了展示观察到的天文现象，很早就制作出各种仪器（如我国的浑天仪）并在世界各地建造了不少古天文台或观象台。17世纪开始，人们尝试建造观众可以进入球体中观察天体运行的机械装置——天球仪，著名者如布雷（Étienne-Louis Boullée）设计于1784年的牛顿纪念馆和英

国剑桥大学于1785年建成的世界上首座天球仪（zodiack）。后者是直径18英尺（5.5m）、可容纳30人进入的空心球体，其可绕与地球自转轴相平行的周转动。“球上洞穿数多小孔，光从外入代表星辰。南极附近一部分球面削去，插入一平台，观众便在这台上，看假天的运行。”^②这一以机械为动力运转、与光电设备密切结合的球体建筑也被称为“球形剧院”^③。这类建筑后来被不断加以改进，其建造一直持续到20世纪初（图1）。

天球仪自其诞生起就旨在成为西方自然历史博物馆的组成部分，也是寓教于游观的重要方式之一。但是，这些天球仪存在一些难以解决的问题，如一次可容纳的观众人数太少、机械力推动球体转动时易起噪声等，尤其这种装置无法模

作者：

刘亦师，美国加州伯克利大学建筑系博士、清华大学建筑学院副教授、博士生导师。

国家自然科学基金（51778318）“机构史视角下的北京现代建筑历史研究”、清华大学研究生教育教学改革项目（202104J002）资助。

Doi: 10.12285/jzs.20220805005

拟行星的运行轨迹和月球盈亏等动态变化，“并不能表示观察者在地球上所见的现象”^④，难以有效实现科学教育的目的。

真正意义上的现代天文馆于1920年代初诞生于德国。在构思和设计新型天文馆时，以光学仪器制造和机械设计闻名的蔡司公司（Carl Zeiss AG）的工程师一反此前以复杂机械推动球体以模拟星体运动的技术路线，而将幻灯机置于球体中心，以光学投影技术模拟星体运动，从而将问题简化为投影仪设计和半球穹顶的设计与建造（图2）。而且，蔡司公司开发出全新的钢网骨架，并由具有丰富的混凝土结构工程经验的迪威达格公司（Dywidag，全称Dyckerhoff & Widmann AG）协助，将当时刚发明不久的喷射混凝土技术应用于穹顶施工。1923年初，蔡司公司在其耶拿总部的一幢办公室楼顶上建成了世界上第一座钢筋混凝土薄壳穹顶，亦即现代天文馆穹顶的原型。

耶拿穹顶一俟建成即吸引了数万观众观看“假天”表演，而人们沉浸于“星空剧场”（star theater）的休闲方式也使之成为第一次世界大战后德国城市生活中的新亮点，预示着这一新建筑即将风靡全世界。可以说，诞生于德国的现代天文馆不但创造了新的建筑类型、结构体系和施工方式，同时也改变了城市的面貌及其文化景观和休闲方式。

并且，以耶拿的穹顶实验为起点，蔡司公司和迪威达格公司认识到这一新结构

和施工方式的巨大潜力，此后10余年间对钢筋混凝土薄壳的多种形式进行了细致、深入的研究，形成了蔡司-迪威达格薄壳建造体系（Zeiss-Dywidag system，简称Z-D体系）。除天文馆外，还广泛应用于工厂、机库、市场、展览馆、体育馆等各类无柱大空间建筑中^⑤。这一过程突出地体现了德国工程师以计算和实验为基础进行理论建构的特点，以及对工业化和标准化的追求，对现代建筑的发展产生了深远影响。

我国近代在科学普及运动的推动下，对肇兴于德国的天文馆进行过不少介绍和报道，但直至新中国成立后才最终于1957年建成北京天文馆。北京天文馆既是我国现代建筑史上的名作之一，也是我国社会主义科学文化建设成就的重要体现。目前，关于天文馆这一建筑类型设计及其建造方式的中文著述很少，尚无系统总结；至于北京天文馆，除张开济在其将近竣工时的设计总结^⑥和陈遵妫、李元等人的回忆外^⑦，甚少开掘新史料，也未见深入、具体的研究。因此，本文拟首先梳理德国学派工程师创造现代天文馆的过程，讨论其对此后建筑设计和社会生活的影响，并考察若干具有代表性的各国天文馆，辨析其与耶拿原型在设计 and 施工上的异同和改进之处。在此基础上，本文着重论述北京天文馆的策划、设计和建造过程，探讨这一工程对新中国建筑业发展的启示与意义。

二、“耶拿奇观”：德国学派与新建筑类型和新结构形式之创出

1913年底，德国慕尼黑博物馆决定新建一座球形剧院，要求以沿轨道移动的电灯泡代替太阳、月亮和各行星，并据此委托蔡司公司提出光学照明和机械设计方案。由于第一次世界大战爆发，这一工作延宕至1919年才正式开始。负责此项目的蔡司公司总工程师鲍尔斯菲德（Walther Bauersfeld，1879—1959）创造性地提出采用投射法的技术路线，用4年时间设计出这种特殊的投影设备——天象仪。为了将星体的影像投射到半球穹顶上，鲍尔斯菲德首先以自然界中面数最多的正20边形为对象，将其顶角削去处理为20个正六边形和12个正五边形组成的拟似球形体，亦即最趋近球体的几何组合体（图3）。在这种空间几何分析的基础上，鲍尔斯菲德发明了由32个^⑧放映镜头组合而成的球形投影仪（恒星球），球心是一个500瓦的放映灯泡，放映镜头则分区投射4500颗恒星和银河在夜空的位置^⑨，在天幕上组成完整的星空^⑩。“太阳、月亮和行星由3组不同的马达控制，能根据演示需要按4分钟、1分钟和7秒钟展示全年的星体运行轨迹，也能展现前后5000年间的星空景观”^⑪。这具世界上最早的天象仪采用的设计原则——将恒星和太阳、月亮及行星分别投影等，一直沿用至今^⑫（见图1）。

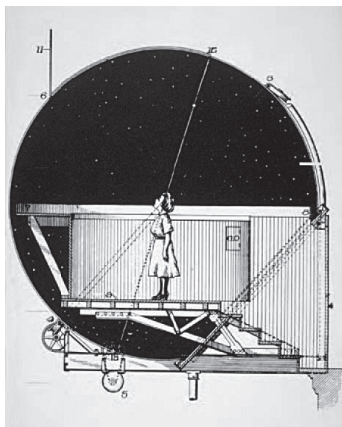


图1：芝加哥的阿特伍德天体球剖面示意图，1911年



图2：耶拿实验穹顶内景及第一具天象仪照片，1923年

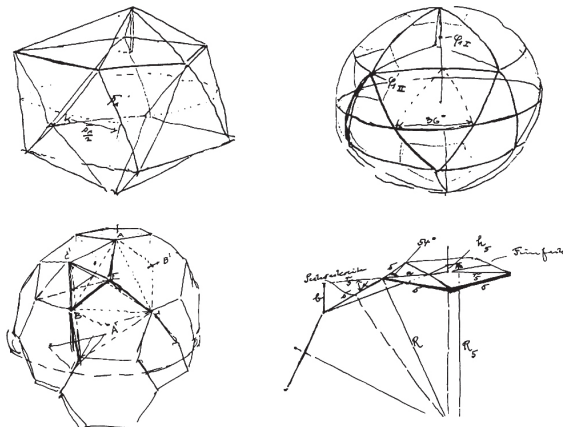


图3：正20面体经切削后与球体相切之示意图，鲍尔斯菲德手稿，1920年代初

1923年初，为了测试天象仪原型机的演示效果，鲍尔斯菲德开始尝试建造一个造价合理、形式上尽量完美的半球穹顶，作为天象仪的投影界面，以准确反映恒星在夜空的相对位置。实际上，他在设计天象仪时已开始构思半球穹顶的材料和建造方式，即采用了和天象仪设计类似的方法，即将正20面体（各面均为正三角形）向外投射到球体表面，从而将球体分割为20个面积相等的区域，再对每一区域进一步细分成尺度更小的三角形。为了建造一个直径16m的半球穹顶，鲍尔斯菲德经过比较确定K值（细分数）为16，即对球体表面最初形成的20个空间三角形的各边再加以16等分^⑬（图4）。因此，整个球体被分割成5120个空间三角形，共7680条边（实际所需者为此半数），并通过计算确定其长度：“将近4000根钢片分为50种长度，但绝大部分标准件长约60cm”^⑭。

这种钢片组成的穹顶是西方建筑史上未有先例的新式结构体系，整个钢片网具有很高的刚度和整体性，不但能支撑自身重力，甚至可承受多名工人在网架上同时施工作业。鲍尔斯菲德在设计中体现出其机械设计的丰富经验和创造力，不但细致地考虑到钢杆件间的连接构造，也严谨地计算出全部杆件的空间位置及其长度，并采用当时静力学分析的主流理论——弹性理论计算出网架各点的受力情况（图5）。这说明，在这一穹顶正式建造之前，工程师依据理论分析和数学计算已洞悉其构件尺寸、构造方式和受力情况，这也是德国工程学派研究和实践的重要特征。

钢片网架设计完成后，鲍尔斯菲德原拟以固定在网架内的石膏板，拟合成穹顶

内表面，但因石膏板不能防水而放弃。为了快速建成一个造价低廉的穹顶外围护结构，鲍尔斯菲德向与蔡司公司一直有合作关系的迪威达格公司求助，在其总工程师迪辛格（Franz Dischinger, 1887—1953）的建议下，采用当时发明不久的喷射混凝土技术，“在钢网架里面固定拟合成球面的木模板，在其上分层薄喷混凝土以避免混凝土在较陡的坡面流失，数天内水泥固结后即可撤去木模板，再对混凝土底面进行涂刷即可得到理想的投影界面”^⑮。

最终，一个直径16m的穹顶在1923年春正式建成，其混凝土壳体平均厚度不足8cm，再在穹顶外部覆以金属板作为饰面层。这座穹顶原本为检测天象仪而建，但对公众开放后，其星空剧场吸引来大批民众和媒体，在短短两个月内接纳了50000名观众^⑯，被称为“耶拿奇观”（Wonder of Jena）（图6）。这种前所未有的新建筑不但带来新的娱乐方式，并使德国工程技术和文化生活再次得到全世界

的关注和肯定，“人造的夜空既可靠又壮丽……星空剧院带来的欢乐显然对沉浸在国家军事上的失败及东部的土地损失中的人民非常有吸引力。”^⑰

蔡司公司楼顶上的这座临时建筑是现代建筑史上第一座钢筋混凝土薄壳建筑，不但采用了钢杆件网架这种既有很强现代性的新结构，创造出新的无柱空间形式，带来了空间的新感知和体验，并且应用了新施工方式，预示着其将得到建筑界的广泛关注和应用。例如，距离耶拿不远的包豪斯学校学生曾在格罗皮乌斯、阿道夫·迈耶（Adolf Meyer）、纳吉（László Moholy-Nagy）、希尔博赛玛（Ludwig Hilberseimer）等人带领下，前去参观耶拿实验穹顶和柏林等地兴建的天文馆建筑。他们不约而同地关注到钢筋混凝土薄壳的结构骨架——施工过程中即将被隐藏的钢网架（图7）。这种全新的结构形式和空间体验呼应着20世纪后半叶崛起的空间网架结构，成为推动现代主义建筑发展的一股潜流。

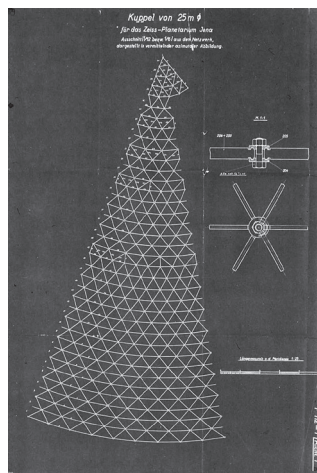


图5：鲍尔斯菲德手稿中对钢片网各部件之计算及钢片连接节点设计图，1921年

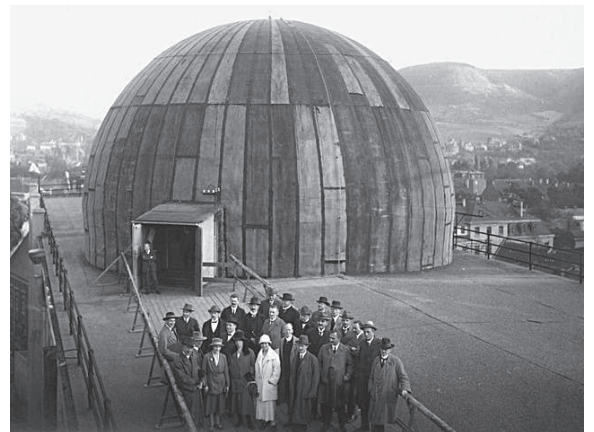


图6：排队进入耶拿实验穹顶的民众，1923年

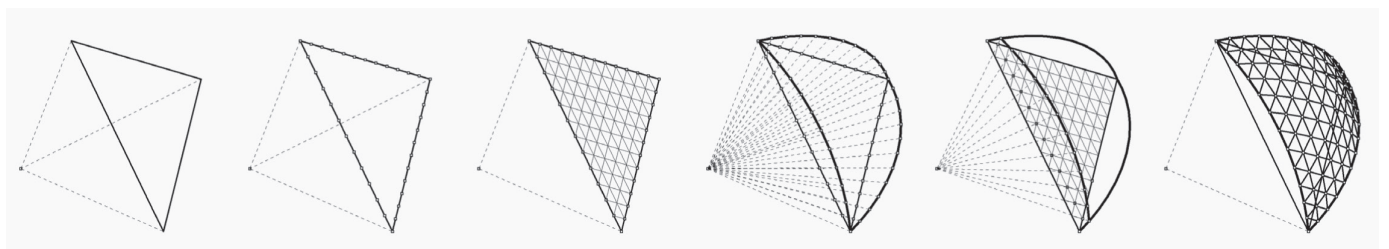


图4：三角形各边细分及其投影到空间表面的关系简图

不止于此，由于预见到钢筋混凝土薄壳屋顶的应用潜力，鲍尔斯菲德和迪辛格二人合作下开展了针对矩形平面的筒壳和半椭圆形薄壳结构的研究，同样以薄膜理论和弹性计算为工具建立分析模型，将成果应用于蔡司公司的新建办公楼和一系列无柱大空间市场的建造上。此后，迪辛格主持了力学和经济性能更突出的双曲薄壳的研究（图8），不断创造出新的建筑形式。以筒壳、半椭圆形壳和双曲薄壳为代表的钢筋混凝土薄壳结构体系，是以耶拿的实验穹顶为地点发展而来的，被统一称为“蔡司-迪威达格”结构体系（简称Z-D体系），曾在1920年代至1960年代的全球建筑业中占据重要地位。Z-D体系还具施工快捷、受力合理、节省材料等优点，在1930年代以降逐渐风行各国。同时，苏联工程师和建筑师从1930年代开始对Z-D体系进行了不少重要改进和修正，随之使薄壳结构成为社会主义阵营国家在工业和民用建筑中广泛应用的结构形式，我国亦莫能外^⑧。

现代天文馆的产生与天象仪的设计和薄壳结构的建造密不可分，其设计、实验和实践等过程均体现了德国工程学派擅长的数学计算和理论建构等特征，集中了光学、机械设计、建筑结构等不同领域的智慧而总其大成。由此可见，现代天文馆之最先诞生于德国绝非偶然。而且，类似钢杆件网架和筒壳结构的计算，本来是建筑师陌生而工程师熟悉的领域。在天文馆设计中，建筑师和工程师开展合作，使建筑空间布置与薄壳结构设计相得益彰，创造出不同的建筑形态，也指出了现代建筑发展的一种重要趋向。

三、20世纪前半叶世界各地天文馆的建造经验

耶拿实验穹顶被拆除后，耶拿市随即于1924年组织了一场天文馆设计竞赛。包豪斯学派的重要成员阿道夫·迈耶也参与了此次竞赛，他的设计方案剔除了冗余装饰，有很强的现代主义风格（图9）。值

得注意的是，这一方案中的穹顶采用了抛物线形外观，说明在其内部还有一层球形穹顶——天象仪的投影面必须为半球形，其直径则可根据设计条件在18~30m之间选取。耶拿天文馆的竞赛展现出天文馆设计中采用双层穹顶的趋势，一方面促生出更加丰富的建筑形象，另一方面也有利于穹顶内部（天象厅）的保温及声学处理，进一步优化星空剧场的观演效果。迈耶的设计虽未被选为实施方案，但其造型却影响了数年后莫斯科天文馆的设计。

在耶拿天文馆竣工前，德国的数座城市如德累斯顿、杜塞尔多夫、柏林、莱比锡等，相继建成了各自的天文馆。它们都是独立建筑，主体部分为天象厅，兼容一定的展厅、办公或科研用房作为附属功能，外观上则以隆起的穹顶统率全局，但间或也将穹顶包裹在古典主义风格的坡屋顶下（图10）。天文馆的选址多与博物馆接近或作为博物馆的一部分如慕尼黑等，但也常选取在植物园、动物园旁边，如柏林天文馆即选择与动物园毗邻而建，有利向市民尤其儿童普及自然科学知识^⑨。

一战结束初期，苏联和德国在1920年代通过开展涉及军事、经济、文化等诸方面的密切交流。1926年11月，苏联的意识形态理论家、马列主义研究院院长梁赞诺夫（David Riazanov）访问柏林时参观了刚竣工的柏林天文馆，在亲身体会了星空剧场后，他意识到天文馆内的表演既是破除迷信和向民众宣贯唯物主义宇宙观的有效工具，也有助激发少年儿童的远大理想——“我们要在学习劳动中生长，开拓走向辽远星球的道路”，此后这句话成为苏联少年宫常见的标语^⑩。并且，他认为天文馆的星空剧场能生动展示不同维度的星空景象，“这对领土广阔的苏联而言是十分有用的功能”^⑪，能起到增强社会凝聚力和促进爱国主义思想等作用。因此，他向苏共中央提议在莫斯科建设一座天文馆，指出可参照柏林将其选址与西郊动物园附近，并扩建为包括动物园、博物馆和图书馆的大型博物馆园区^⑫。梁赞诺夫后来向蔡司公司采购一具当时最先进的天象



图7：包豪斯的主要成员希尔博赛玛对柏林天文馆施工时的影像记录

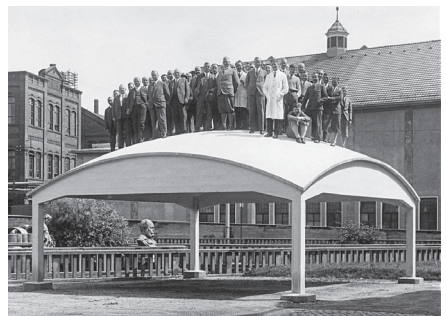


图8：迪辛格指导的迪威达格公司双曲薄壳荷载试验，1931年

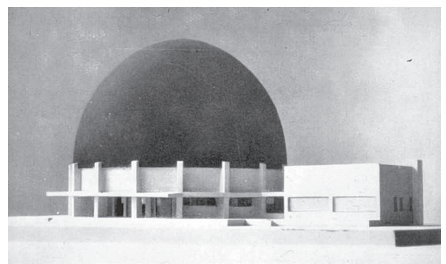


图9：迈耶参与耶拿天文馆竞赛的方案，1925年

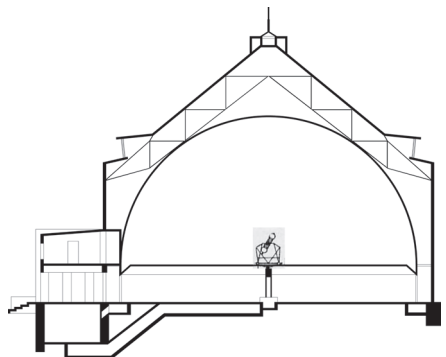


图10：莱比锡天文馆剖面示意图，二战期间被毁

仪，并委托其负责建造莫斯科天文馆的球形穹顶。

莫斯科天文馆的设计由甫从呼捷玛斯（即莫斯科高等技术与艺术学院，Vkhutemas）^②毕业的巴尔西（M. Barshch）和西亚夫斯基（M. Sinyavsky）主持。莫斯科天文馆的初始设计完成于1927年春，并迅即由《近代建筑》杂志刊出^③。其圆形平面的主体为2层，底层为入口门厅、展厅和小讲演厅，二层为天象厅。天象厅为双层穹顶，外层为抛物线形（图11），外覆金属保护层。其他功能空间如楼梯、办公、储藏等或突出于圆形主体之外，或以水平带状体块与主体形成对比（图12）。初始方案经修改，采用内径25m的半球穹顶，可容纳500余皮椅（原设计1440多座）。

1929年建成的莫斯科天文馆是德国之外最早建成的现代天文馆之一，也是苏联建筑界即将转由社会主义现实主义思想主导之前，最后采用现代主义风格建造的大型公共建筑之一。自此，莫斯科天文馆成

为苏联“传播自然科学知识、在广大的各阶层的人民中作反迷信的宣传，同时也为了有系统地辅助学校教育”^④的天文学教育中心。1930年代和1940年代，其天象厅不远处又建起一座小型天文台和天文广场，这种建筑布局和管理方式也是之后北京天文馆筹备和建设时的重要参考对象。

1920年代中期德国多地建起天文馆后，吸引了络绎前往欧洲访游的美国富商的注意，随之将这一新建筑类型和休闲方式引入大洋彼岸。从1920年代末开始，美国主要城市如芝加哥、洛杉矶和纽约等相率建造了一批以捐资人姓名命名的天文馆。其中，最早建成的阿德勒天文馆（Adler Planetarium）位于芝加哥面向密歇根湖的北岛北端，也是1933年芝加哥博览会场址的一部分。阿德勒天文馆平面为正12边形，采用集中式布局分为上下两层，天象厅同样位于上层，附属功能如售票厅、讲堂等全部位于底层，于1930年建成营业（图13）。

1933年，位于洛杉矶好莱坞山南坡的格里菲斯天文台（Griffith Observatory）动工兴建，1935年竣工营业。该天文台功能较为复杂，除天象厅外，还包含两个天文台，分别放置蔡司公司制作的大口径天文望远镜和观测太阳结构的太阳望远镜，创造了天文馆和天文台合建的新模式。因此，格里菲斯天文台在造型上出现了一大两小共3个穹顶（图14），同时八角形门厅独立出来，成为整幢建筑的交通枢纽（图15），居中布置著名的傅科摆（Foucault Pendulum）。格里菲斯天文台的建筑细部装饰体现了当时流行的装饰艺术风格（Art Deco），集中于入口正门、墙面檐口周匝及八角形门厅的青铜顶等部位（图16）。

应该注意到，无论阿德勒天文馆还是格里菲斯天文台，虽然都采购了蔡司公司的天象仪，但二者的天象厅穹顶施工方式均非Z-D体系，而是用了当时在美国流行的由若干道径向钢肋和环向钢箍组成的钢

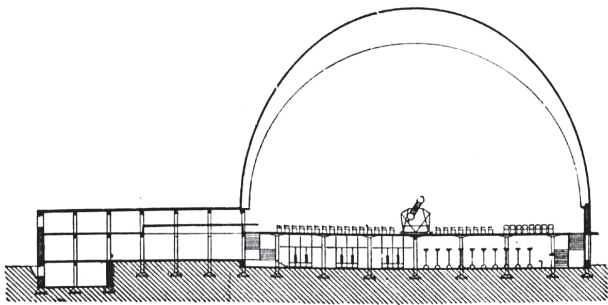


图11：莫斯科天文馆剖面图，1927年

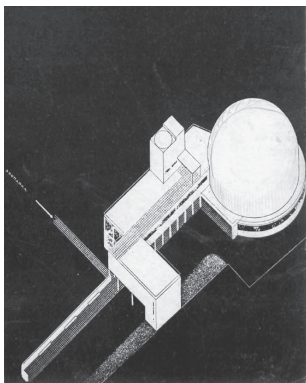


图12：莫斯科天文馆轴侧示意图，1928年
第8期苏联《莫斯科建设》封面

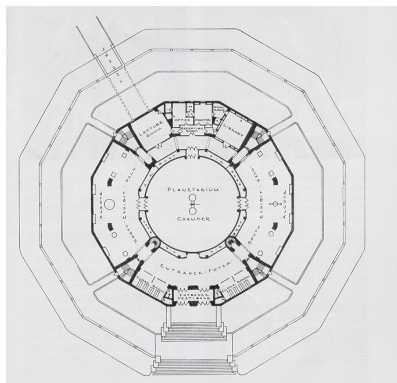


图13：阿德勒天文馆首层平面图，圆形的天象厅居中布置，1928年



图14：格里菲斯天文台竣工前照片，1935年

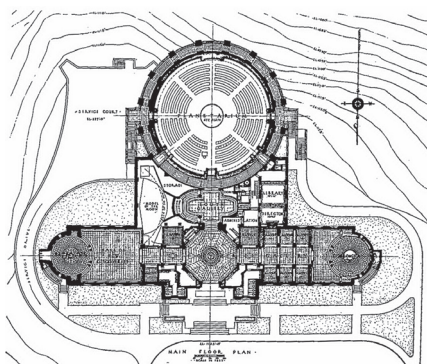


图15：格里菲斯天文台首层平面，1933年



图16：格里菲斯天文台门厅外望，可见正门装饰及前景之傅科摆

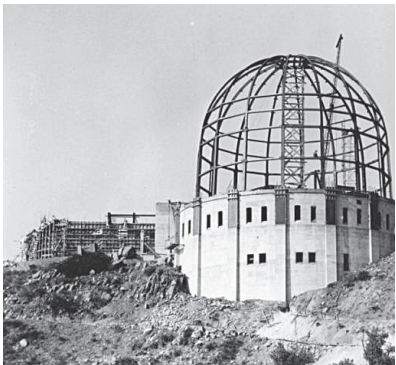


图 17: 格里菲斯天文台天象厅施工过程中照片, 1933年



图 18: 海登天文馆竣工时鸟瞰照片, 其属于纽约自然历史博物馆, 1935年

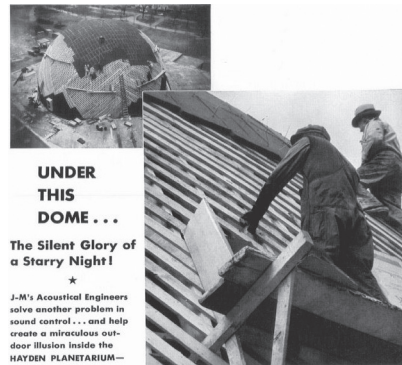


图 19: 海登天文馆外层穹顶施工过程, 右下为铺设带曲度的木模板, 左上为覆于木模板上的黑色石棉层(吸声兼防水层)。石棉层外铺设钢筋网, 再喷射混凝土。1935年

骨架, 再搭建模板、浇灌混凝土, 因此壳体厚度和建材的耗费远比 Z-D 体系大 (图 17)。直至 1933 年, 蔡司公司派其工程师特底斯科 (Anton Tedesco, 1903—1994 年) 到美国协助即将建造的纽约海登天文馆 (Hayden Planetarium), 才建成了美国首座以 Z-D 薄壳体系建造的天文馆。特底斯科后来加入美国籍, 此后 20 年间在美国建造了 60 多座 Z-D 薄壳建筑, 被称为“美国钢筋混凝土薄壳之父”²⁶。

海登天文馆平面为布局紧凑的方形, 居中划出一个正八边形空间, 其底层作为太阳系星体运行演示馆, 上层则为 742 座的天象厅 (图 18)。在正八边形周边很紧凑地布置陈列陨石、绘画等展品的展厅, 地下室则用作空调制冷等设备用房。海登天文馆的穹顶建造方式和施工步骤已大不同于 10 年前鲍尔斯福德式钢片网。当时圆形截面的钢筋已取代了之前矩形截面的钢片并得到广泛应用, 而且钢片网经喷射施工被埋入混凝土中, 用钢量已嫌太大。在海登天文馆施工中, 特底斯科指挥施工队先用木模板搭建好穹顶曲面, 在木板外侧用无头钉固定石棉覆层 (兼做吸声及防水), 再在外层铺设钢筋网, 最后喷射混凝土²⁷。混凝土壳体顶部仅厚 7cm, 而水泥固结后, 撤去木模板和无头钉, 石棉本身已与混凝土壳体结合为一, 此即外穹顶 (图 19)。而内穹顶则以钢片网构成自承重的半球形骨架, 但以穿孔金属薄板固定在内侧作为天象仪的投影界面, 使星空照

场的声音能被附着在外侧穹顶的石棉覆层吸收, 从而保证穹顶内混响时间和音效最佳, 在德国天文馆施工技术的基础上又有进步。

第二次世界大战之前, “世界上除了德国有 10 多座天文馆外, 其他国家如苏联、美国、意大利、法国、比利时、日本、瑞典等共有 12 座”²⁸, 其中亚洲只有日本在 1935 年和 1936 年建造了大阪和东京两座, 但均置于博物馆或报社大楼顶层, 并非独立的天文馆。二战期间战火损毁了不少天文馆, 至 1950 年代初仅存 27 座, “而英国当时还尚未建成一座”²⁹。

四、北京天文馆的设计与建造 (1954—1957 年)

1. 民国时期学者对西方天文馆建筑的引介

我国近代的天文学家和科普工作者很早就关注到德国天文馆的建设风潮, 而且亲身观摩并将建筑格局和观摩经历向国内读者介绍。最早的记述追溯至 1925 年《东方杂志》的一则报道³⁰, 提及天象厅“顶为半圆形, 内涂白垩, 四周布置自然风景……参观之人, 坐于室内, 恍如游身宇宙, 二三刻钟之久, 可见数十年后各星运转之状。”³¹

1932 年, 中国天文学会的创始人高鲁从德国游览回国后, 将其到耶拿天文馆观

摩的经历撰写为《假天——假天就是一架天象仪》, 以“假天”命名天象仪或天象厅, “假天的妙处有时竟能超出乎真天”。³²文中附具天象厅的剖面图 (图 20) 和天象仪的构造简图, 有利人们了解这种新建筑及其主要设备的基本情况。他尤其在文中指出天象仪设计精巧, “不仅可为通俗天文学之试验, 并可称为天文教育必需之用品”, 指出天文馆在科学普及和大众教育方面具有巨大潜力, “入假天之室, 如入学校, 如进剧场, 增加参观的人兴趣百倍”³³。

天文学会的另一位耆宿张钰哲也在 1932 年撰文论述天象仪的工作原理和欧美最新建成的天文馆情况, 除图文更丰富外, 还明确提出天文馆是启发民智、破除迷信和“补助通俗教育的利器”, “比诸动植物博物馆实在是尤其不可缺少”, 在文末还展望“于国都所在地设立一座假天院, 也孰曰不宜。”³⁴此外, 1930 年代还出现了一批介绍欧美天文馆建设最新进展的文章。天文馆作为一种造型独特的新建筑类型, 得到不少读者的关注, 因此一些期刊曾以天文馆为封面 (图 21), 使天文馆的形象逐渐深入人心。应该看到, 中华人民共和国成立前关于天文馆的文章, 多为介绍历史背景和资产设备等内容, 很少提及建筑设计本身, 只有个别文章因直接节录翻译自西方杂志, 才会吐露出若干工程细节³⁵。而且在政治动荡、内外交困的局面下, 根本没有建设毫无经济效益的天文馆的可能。但不应忽视的是, 近代中国天文学工

作者颇注意收集西文资料，如后来参与筹建北京天文馆的李元提到中华人民共和国成立前他在上海的旧书摊上“偶然购得纽约天文馆的参观指南，使我对于一个完整的现代的天文馆有所了解”⁴⁸，这些资料也是之后北京天文馆筹备和设计过程中的重要参考。

2. 北京天文馆建馆筹备与设计原则之确定

1949年以后，天文学家们一方面继续向国内读者普及天文常识并宣传天文馆建设的必要性；一方面配合着新中国科学和文化政策的推行，为筹建新中国第一座天文馆进行了多方面的积极努力。这一时期，介绍天文馆知识文章将焦点转向苏联的成就，尤其是已运营20多年的莫斯科天文馆的建筑特征、表演内容、管理方式及其文化、社会影响等，作为新中国将来建设天文馆所学习的范例。例如，李元在1953年的文章《莫斯科假天馆》中，详细记述了该馆各层的布局和星空剧场的表现，并介绍馆内外的科学活动，指出“莫斯科假天馆一直是苏联传播进步的天文知识的中心……我们希望不久的将来，在祖国首都北京，会建立起我们自己的假天馆，开展我们这方面的有意义的事业，而莫斯科假天馆正是我们学习的最好榜样。”⁴⁹

除莫斯科天文馆外，苏联在二战结束后还兴建了使用蔡司气象仪的斯大林格勒天文馆和列宁格勒天文馆，以及十多个小

型天文馆。后来参与北京天文馆筹备的卞德培根据1956年莫斯科天文馆和其他苏联天文馆的参观经历，撰文详细记述莫斯科天文馆的星空表演和科普工作等情况，并描述刚建成的斯大林格勒天文馆建筑(图22)：

“在斯大林格勒市中心的和平街尽头，它的圆铜屋顶上，耸立着一个高大的和平女神……从设计到正式开幕总共用去3年时间。天文馆内外都极富丽堂皇。主楼是一座三层建筑物，除地下为食堂等外，底层为展览厅、教室等，上层才是表演人造星空的天象厅。斯大林格勒也有一个较大的天文广场和设备相当完善的天文台。”⁵⁰

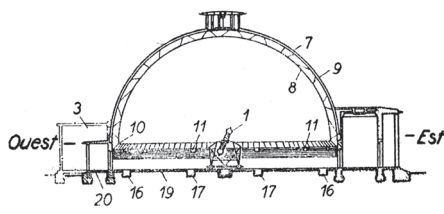
1950年代初关于苏联天文机构、苏联天文馆的研究和译介后被汇编为《苏联天文学的辉煌成就》⁵¹。与李元一样，卞文也提到“苏联天文馆的工作方式、方法，特别是它们的具有高度思想性的工作，将是我们新中国天文馆的最好的学习榜样。”⁵²

1953年初，中国科学院派出各专业专家组成的考察团访问苏联，其中天文学代表张钰哲回国后写成《苏联天文学专业考察报告》，重提他20多年前的建议，即在首都兴建一座大型天文馆，并组织草拟了《关于建立北京假天馆(天文馆)的计划》的报告，交中科院并报中央讨论⁵³。恰在此时东德因与我国有贸易逆差，主动提议我国购买蔡司公司(其总部耶拿位于东德境内)的天象仪作为外贸补偿。在此形势下，中科院从全国调集精干力量组成北京天文馆筹备委员会，“中国科学院负责拨

款，北京市政府负责拨地，北京市科普协会负责配备人员，全国科普协会负责具体工作总协调”，但从开始就明确了“天文馆成立时，科学院将天文馆移交到全国科普协会领导”⁵⁴。

《建馆计划》包含了对建筑设计方面得到几条要求：“1) 定出规模、面积和地址，要选在风景优美、交通便利之处；2) 设计；3) 兴工建筑；4) 安装仪器”⁵⁵。天文馆的选址工作在北京市副市长、市人民政府文化教育委员会(市文委)主席吴晗的主持下，由中科院、都市计划委员会和设计单位等多方参与讨论，经过反复比较，采纳了北京天文馆馆长陈遵妫的主张，选定西郊现址。陈遵妫认为该地不但环境开阔、风景优美，区位优势与莫斯科天文馆(原型是柏林天文馆)很相似，“面对动物园，有人多、青少年多，正好向他们普及天文知识。”而且，天文馆和已竣工的苏联展览馆(今北京展览馆)也遥相呼应，外观上“一个是尖塔，一个是圆顶，整体布局也很好”⁵⁶，构成了北京西郊的新轮廓线，将来“更可以形成一个首都的文化娱乐中心”⁵⁷(图23)。

同时，陈遵妫对当时普遍使用的“假天馆”名称提出不同看法，认为“假天”(即天象仪和天象厅)虽然无可置疑地将在新建筑中扮演最主要的角色，但“只用一种手段来普及天文知识是不够的”，而应参照苏联的经验，举办展览和科学讲座并组织各种天文爱好小组的活动等。因此，“假天馆”的名称无法涵盖新建筑的全部功能，应改之以“天文馆”，而且它“不



- 第二图 天象厅室图案
- | | | | |
|---------|--------------|----------|-------------|
| 1 恒星球 | 6 电线管道 | 11 照耀通用灯 | 16 暖水管道 |
| 2 星际轨道 | 7 铁质圆顶 | 12 会计室 | 17 空气管道 |
| 3 星际贮藏室 | 8 圆顶内幕 | 13 预储室 | 18 出气管道 |
| 4 司机室 | 9 圆顶吸音部 | 14 大门 | 19 三和土地上铺漆毯 |
| 5 探测附属楼 | 10 黑玻璃片及反射钢板 | 15 便门 | 20 外壁 |

图20: 天象厅结构及主要设备示意图



图21: 近代中国天文学家对西方天文馆的介绍

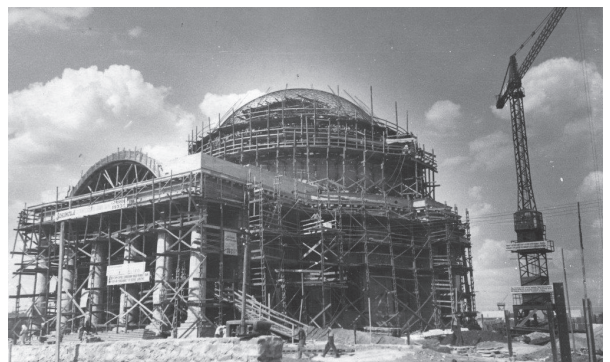


图22: 斯大林格勒天文馆施工过程照片, 1950年代初

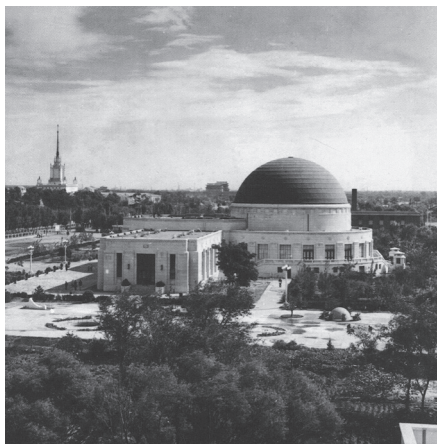


图23：从西东望建成后的天文馆，可见苏联展览馆的尖塔和远处西直门城楼，1957年

应当是天文电影院，而应该是没有围墙的天文学校”^{④6}。为此，全国科普协会召开过三次常委会议专题讨论名称事宜，最终于1954年确定了“天文馆”的名称^{④7}。

经过市文委和科学院、全国科普协会等多次讨论，明确了北京天文馆需以莫斯科天文馆为样例，其建筑功能包括天文馆、天文台、气象台和气象广场等主要部分，以及部分办公用房、宿舍和车库等，既融合星空剧场和科学研究，同时兼顾休闲娱乐与科普工作。依据这些原则，张开济领导的北京建筑设计院第二室开始了建筑设计工作。

3. 北京天文馆的设计

1954年秋天天文馆项目在比较讨论选址问题的同时，就同步开始了设计工作。当

年10月中旬北京市副市长吴晗召开了一次关于天文馆设计问题的市文委联合办公会，出席者除全国科普协会和中科院的代表外，还有都市计划委员会和北京市建筑设计院的专家如梁思成、华揽洪、朱兆雪、张开济等参与讨论。经讨论明确了其性质为文化设施，“除工作人员的必要办公室外，不得附设其他机关办公用房”，同时在布局上“因此项建筑在我国系首次建造，设计时应留出20%面积，作为后备面积用。”会议要求设计单位抓紧于11月初完成设计草图，尽快开始备料，“其他设计中的具体事，俟草图制出后再讨论决定。”^{④8}

1954年底，天文馆选址确定在西郊后，设计院也按期制定出几种比较方案。1955年1月，吴晗再次主持讨论天文馆设计的市文委联席会议，在比选设计院的几种方案后，提出“基本上以市设计院提出的第一方案为基础……基建面积按市设计院第一方案的5600m²进行设计。在设计使用方面应多加考虑，不必过分追求装饰”。全部基建投资限制在120亿元，“其中该馆的主体——圆形大厅的建筑投资不超过100亿元”^{④9}。这些就是此后实施方案深化时遵循的基本原则。

在具体设计上，张开济将基址分作两个相互独立区域，办公等附属用房位于东区，天文馆、天文台和气象台则集中布置在西区，且遵照市文委的设计原则使其留有发展余地，以期“将来把这一游览区进

一步扩大为一个天文公园”（图24）。由于地段南侧因铁道穿行造成噪声，因此天文馆主体建筑只得尽量靠北布置，使门厅与天象厅（圆形大厅）直接相连，唯为使天象厅穹顶能在正门入口处也能凸显出来，故将天象厅地坪提升10级台阶（图25）。天文馆的主入口朝向北侧道路，与道路另侧的动物园和苏联展览馆相对。

由于在设计开始之前就积极提供了天象仪和耶拿天文馆等技术资料，而且莫斯科天文馆和刚竣工不久的斯大林格勒天文馆都相继寄来建筑图纸和照片，张开济及其设计团队已对天文馆的建筑设计 and 施工有详细的了解。而且，设计团队在同陈遵妫、李元、卞德培等人协助下获取了西方国家天文馆设计的技术资料。张开济在设计时显然研究过美国的格里菲斯天文台^{⑤0}和海登天文台，北京天文馆以天象厅大穹顶隆起统率水平舒展的两翼的布局形制，与格里菲斯天文台颇类似。而且二者均以八角形门厅为交通枢纽通向两翼及主轴线上天象厅，且门厅均居中安置高悬垂下的傅科摆（图26）。不同的是，格里菲斯在穿过门厅之后还要经过一个较小的、扁平矩形展厅才得进入天象厅，而北京天文馆则因地段限制取消了这种过渡，使主要流线更短捷，而将陈列和讲演功能独立布置在东、西两翼。

张开济在设计总结中提到门厅与天象厅直接相连的平面布局时，虽未提及格里菲斯天文台的原型，但吐露了他的担心：

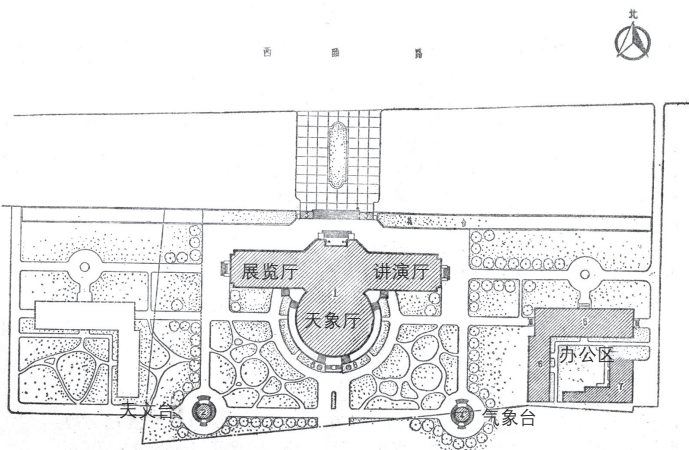
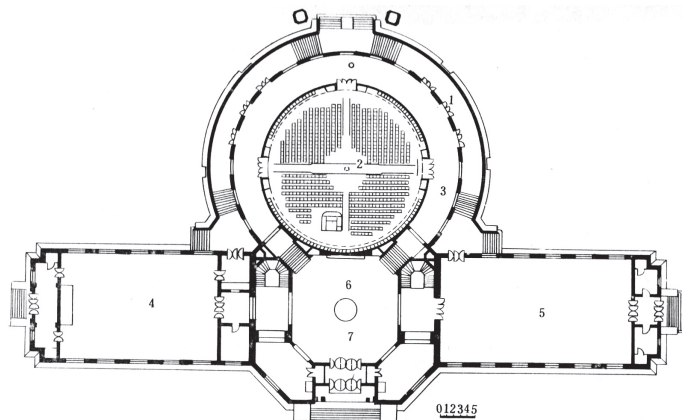


图24：北京天文馆总平面图



1 舞台 2 天象厅 3 廊道 4 展览厅 5 展览厅兼报告厅 6 门厅 7 傅科摆
图25：北京天文馆首层平面图

“由于前面部分门厅的体积较大，又是八角形的体形，所以从正面看来尤其是正立面图的图纸看来容易使人误会，以为这大圆顶就在这门厅上部，而不是在它的后面。我们也说不出这样有什么不好，但是总感觉是一个问题，想另做处理。”^⑤

之所以有这些顾虑，除平面布局上缺少过厅衔接而易造成视错觉外，还因为格里菲斯天文台的天象厅位于俯瞰山谷的南坡，其遗世独立的建筑形象具有显著特征。但北京天文馆位于平原的城市繁华地段，需作为重要的文化设施需要融入城市环境和市民的日常生活中（图27），且能与周边建筑相互映照、熠熠生辉，此后半个多世纪的使用表明这种设计是成功的。

另一处与格里菲斯天文台的不同之处，是张开遵照市委提出的“不必过分追求装饰”原则，在立面、正门和窗户等处不像前者那样大事装饰，外立面力求简单，“庄重拘谨也许有余，新颖活泼可能就很不够了”^⑥。为节约计，全部立面采用拟似石材的浅褐色斩假石为饰面手段，也因此形成其独特的格调，惜近年因装修喷涂假石漆而被遮掩。

4. 德国技术援助与天象厅施工

北京天文馆由北京市建工局第四公司负责施工。天文馆的基建工程于1955年10月24日阴历寒露日正式开始动工，先着手办公楼和宿舍楼的建设，而北京天文

馆的主体——建筑面积3586m²的天象厅则委托给蔡司公司设计和制作构件，直到1956年6月才开始施工。实际上，1920年代蔡司公司和迪威达格公司就对钢骨架穹顶和Z-D薄壳体系注册了一系列专利，此后一直通过收取专利费和派员指导设计和建造在海外拓展业务^⑦，一直延续到1950年代。

北京天文馆天象厅也是双层球形穹顶，外层穹顶直径25m、内层穹顶23m，跨度与莫斯科天文馆一致，能容548个座位。蔡司公司的卡尔博士负责穹顶的结构设计，采取的技术方案与1923年鲍尔斯菲德的耶拿实验穹顶并无二致：外层穹顶用“7992条8cm厚、22cm宽的钢片铰接组合起来，在许多水平环形钢片间再用钢片斜角连接成包含许多三角形的环带”。这种钢杆件半球骨架能很好地拟合曲面，具有很高精度，“全部钢片网的构件都是德国制造的准确性达到1/20cm”^⑧。

但是，鲍尔斯菲德自己就说过1924年以后Z-D体系的一个主要改进方向就是寻找替代这种耗钢量大的建造方式^⑨，而在美国的施工实践中已广泛使用圆形截面钢筋布筋，在工序上也发生改变，如海登天文馆在1930年代就采用先以木模板搭建穹顶曲面再于其上布筋。但在北京天文馆的设计中之所以仍采用当时已过时且耗费更大的技术方案，可能部分因为那时中国工人对穹顶施工不熟悉，“一般圆顶的模板一向（是）艰巨的工作，不但要耗费

大量工料，还很难获得高度准确性”^⑩。采取钢片网结构则因半球形网架已支立，可相对方便地在其内侧用“8#铅丝扎上5cm厚的木丝板作为喷射砼的模板，亦作为圆顶的保温层”^⑪，最后在外层覆以紫铜面材。可见，这种结构施工虽然耗费大但可确保施工精度，是不得已的技术路线选择。

为了搭设这些木模板，在德国施工专家的建议下，施工部门在工地又搭建起一种活动脚手架，“共用木料40m³，铁活4t，由48种不同构件组成。本身重量达28t，工料费达11373.02元”，明显耗费过大。施工部门对比当时国内普遍采取的杉篙绑扎活动脚手架甚至满堂红脚手架，前者总费用仅621.52元，后者也不过5916元^⑫。这也说明当时东德对我国的建筑技术援助存在着与我国实际技术经济水平不一致的地方，普遍耗费较大（图28）。

天象厅的外层穹顶被支撑在圆形的钢筋混凝土圈梁上，圈梁则坐落在圆筒形的砖砌体上。外层穹顶因外形陡峭必须采用喷射混凝土方式施工，为此特地向联邦德国订购了一台水泥喷浆机^⑬，并由德国施工专家对工人展开培训，每班组10人合作施工。“所用的设备主要有空气压缩机和水泥枪（包括有喷嘴的软管）两种机械”，前者设在靠近建筑物的院内场地上，水泥枪则置于高出地坪约3.5m的脚手架马道上^⑭（图29）。

按东德专家的要求，每日喷射完的混



图26：北京天文馆八角形门厅正中的傅科摆



图27：城市日常生活中的北京天文馆，1960年代

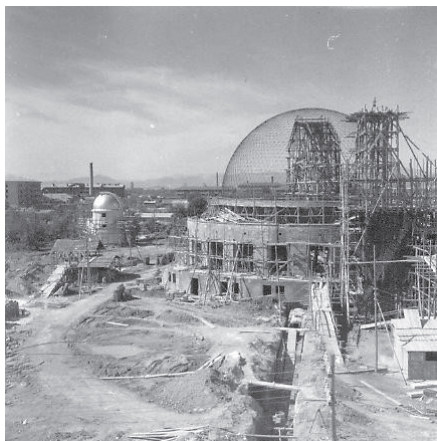


图28：天文馆施工过程中照片，可见气象厅外侧穹顶钢片网已搭建完，其内可见造价高昂之活动脚手架。1956年

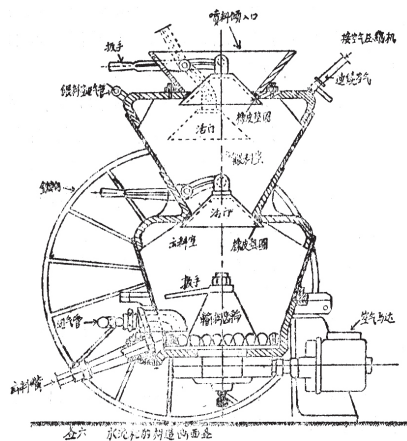
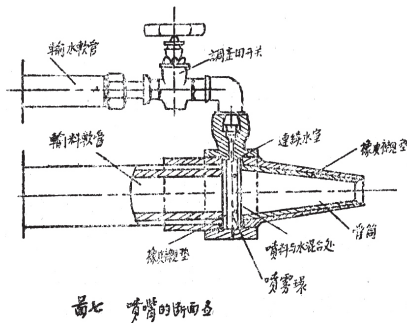


图29：外贸购买的喷射混凝土水泥枪及其喷嘴断面图，1956年



第七 喷嘴的断面图



图30：建工局四公司施工喷射混凝土施工现场照片



图31：民主德国专家卡尔博士(右)和库尼斯工程师(左)在施工现场指导施工

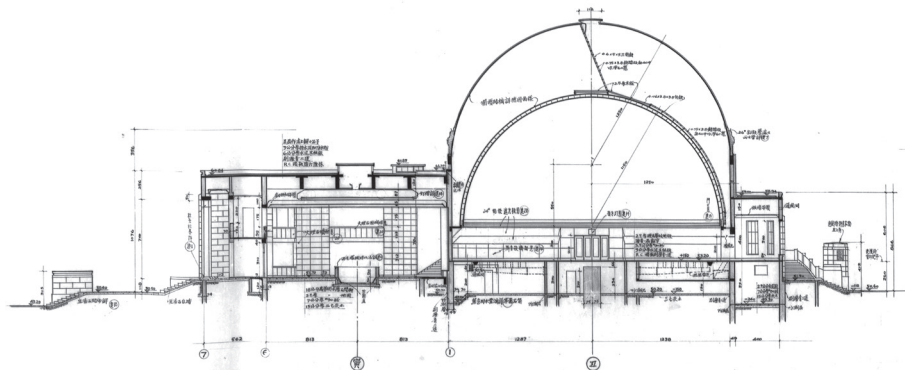


图32：北京天文馆剖面图，1956年。可见气象厅内穹顶上的爬梯和与外穹顶天窗相通的爬梯

混凝土必须进行小心养护，是以每天落日前混凝土必须达到初凝，因此11月初施工时每天下午4点就停止施工进行养护，无法提高施工速度；11月中旬天气骤冷后又进行蒸汽养护作业，也导致了造价上升——每立方米混凝土的造价高达63.61

元，“单就壳体结构的单项工程单位价格而言，这是比较昂贵的”^⑥。但是，北京天文馆毕竟是我国首个大规模使用喷射混凝土进行施工的工程，施工过程中东德专家经常到场示范和指导，施工部门在操作中也不断积累了不少经验和教训，确定了相应的

施工流程并总结出各种技术要点，“这对今后采用喷射法施工是有很多好处的”^⑥（图30、图31）。

内层穹顶是气象仪直接投影的界面，其结构与外层穹顶类似也是钢片网结构，但购买东德生产的白色麻布作为幕布。内穹顶的钢片铰接处相隔一段距离固定木板，白麻布自后面被钉牢在木板上，“以上作法所构成之球形面，其半径偏差不得大于1.5cm”^⑥。内外穹顶的这种施工精度要求在当时不啻为尖端建造技术。为了解决室内声学问题，在内穹顶钢片网外铺3层5cm厚的玻璃棉，其上并铺油纸一层防水，共同用作吸声层。这种处理方法与美国天文馆采用的穿孔吸声法截然不同。

气象厅的两层穹顶间留有大约70cm的间隙，其南入口门上方的圈梁处设有检修口，容人侧身而入，并可利用内层穹顶附设的爬梯直上顶部，并与外层穹顶的天窗相通。这些设施至今仍可正常使用（图32、图33）。

在天文馆主体建筑以外，其西侧高11m多的天文台也同时进行施工。其为砖混结构，顶部也是一个圆形穹顶，但因天文观测要求需设置可以开关的天窗，直径约8m。设计团队考察了紫金山天文台的穹顶设计^⑥，将之设计成木肋穹顶、外覆金属板，由苏州的厂家加工完成后送京安装到顶部，其天窗可通过滑车组进行开闭。这部分的造价每平方米不过150元^⑥。（图34）

1957年5月气象厅施工完毕，6月



图 33：北京天文馆天象厅内穹顶的爬梯和钢片网，钢片网下为声学处理层和幕布

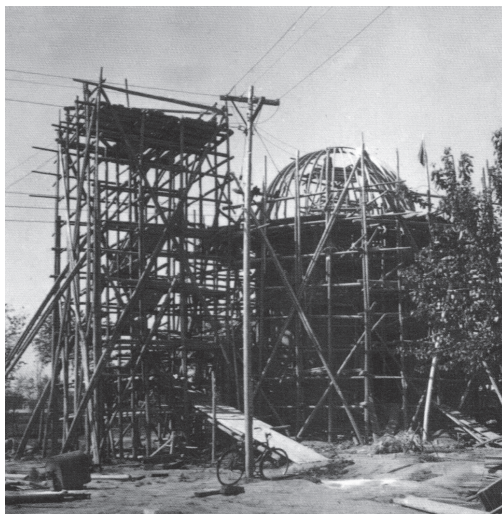


图 34：北京天文馆的天文台部分施工过程照片，1956年

17日举行了我国第一次星空剧场演出。继之为庆祝建军节30周年，在8月1日向6000多名解放军官兵举办10场表演，并最终在当年国庆前两天正式向群众开放。从此，“北京天文馆就成为我国天文馆事业的开端，也进入了世界天文馆行列”^⑥，天文馆的建筑形象和其中举办的各种科普的活动照片不断出现在各种媒体上，成为“党重视科学教育的重要体现”和我国社会文化事业快速发展的缩影。正式对外开放后数天，苏联成功发射世界上首颗人造卫星（10月4日），因此北京天文馆又添加了观测和收集人造卫星轨迹数据的任务，也理所当然地成为科普教育和政治宣传的重要场所，“有力地显示出社会主义制度的无比优越性。”^⑦

五、结语

现代天文馆是德国工程师于1920年代初动荡的环境中创造出来的新建筑类型，而且同时发展出一整套与之相配的新结构设计理论和施工方法。这一过程中，德国工程师开展各专业密切协同，凸显出德国学派重视计算和实验及理论建构等若干典型特征。天文馆建筑和Z-D薄壳体系被迅速传播到世界各地，不但改变了城市的物质和文化景观，也大大推动了现代建筑尤其是钢筋混凝土建筑的发展，而且苏

联和美国的工程师在天文馆的设计理论和施工方面做了不少改进，使天文馆从最初以经营性为主演进为融合观演、博览和科研等多功能的现代科普机构。

北京天文馆是二战结束以后亚洲兴建的第一座大型天文馆，其设计和施工都不可避免地带有强烈的意识形态色彩。它的设计比照莫斯科天文馆进行，但也默而不宣地取法了美国的先例。北京天文馆的重要的文化属性和象征意义决定了设计中的技术路线选择。首先，作为主体的天象厅选择了技术先进且已颇为成熟的钢筋混凝土薄壳结构，而未加考虑当时同时从苏联引进、但存在技术瑕疵的建造技术，如替代材料或双曲砖拱结构^⑧、裂环结构等。这种对成熟、可靠技术的路径选择是北京天文馆得以建成并矗立至今的重要前提。其次，北京天文馆的建造是“中国与民主德国技术合作的一个结晶品”^⑨，但也因遵从外国专家的建议而造成了很大浪费，如天象厅外层穹顶的钢片网结构就属于落后技术，之后再未出现在中国现代建筑的发展中。但是，在此施工过程中的Z-D薄壳体系以及首次出现的喷射混凝土技术则得到非常广泛的应用，并在数年后首都国庆工程中大放异彩^⑩。北京天文馆60余年的历史证明它是深得几代北京市民喜爱的文化设施，也是集中反映新中国现代建筑设计思想和技术发展的重要案例。

注释

- ① Kurt Firniss. The application of the planetarium as an education tool. PhD thesis. The Open University, 1981: 22-23.
- ② 张钰哲. 天文学论丛. 南京: 国立编译馆, 1934: 171.
- ③ 张钰哲. 假天. 科学. 1932, 16 (11): 1585-1595.
- ④ 鼓纳端. 新近开幕之海腾假天院. 科学画报. 1936, 3 (11): 438-439.
- ⑤ 刘亦师. 钢筋混凝土薄壳结构之统绪及其在中国的发展: 以Z-D体系为中心. 建筑学报.
- ⑥ 张开济, 宋融, 邱圣瑜. 北京天文馆[J]. 建筑学报, 1957 (1): 1-13.
- ⑦ 陈永汶. 行走天穹: 我国现代天文学家陈遵妫传. 北京: 华文出版社, 2007. 李元. 我国第一座天文馆的建造[J]. 中国科技史料, 1980 (2): 88-98.
- ⑧ 根据计数方法不同, 恒星球分31个或32个放映镜头之说, 但其分区投射恒星在星空的位置及亮度的设计原则是一致的.
- ⑨ 李元. 第一座天文馆的诞生[J]. 今日科苑, 2007 (7): 26.
- ⑩ 张钰哲. 天文学论丛. 南京: 国立编译馆, 1934: 180.
- ⑪ Walther Bauersfeld. Projection planetarium and Shell Construction[J]. The Engineer, 1957/5: 76-80.
- ⑫ B. Goesl, H. von Herrmann, K. Suzuki (ed.). Zum Planetarium: Wissensgeschichtliche Studien. Berlin: Wilhelm Fink, 2018.
- ⑬ Oroslyá Gaspar. Bauersfeld's concept for the subdivision of the first built geodesic dome structure. Proceedings of the IASS Annual Symposium 2020/21.
- ⑭ M. Fernández-Serrano and J. López. Projecting Stars, Triangles and Concrete. Architectura, 2017, Band 47: 92-114.
- ⑮ Walther Bauersfeld. Projection planetarium and Shell Construction[J]. The Engineer, 1957/5: 76-80.
- ⑯ M. Fernández-Serrano and J. López. Projecting Stars, Triangles and Concrete. Architectura, 2017, Band 47: 92-114.
- ⑰ 法尔布雷斯. 天文馆简史. 朱桔译. 北京: 中信出版社, 2019: 54.
- ⑱ 刘亦师. 钢筋混凝土薄壳结构之统绪及其在中国的发展: 以Z-D体系为中心. 建筑学报.
- ⑲ Katherine Boyce-Jacino. Space and Spectacle in the Berlin Planetarium, 1926-1930. Technikgeschichte, 2017, (84) 4: 329-352.
- ⑳ 周保昌. 在列宁格勒日丹诺夫少先宫. 人民日报. 1959-12-28, 第8版.
- ㉑ 法尔布雷斯. 天文馆简史. 朱桔译. 北京: 中信出版社, 2019: 83.
- ㉒ Планетарий в москве. Стронтельство Москвы, 1928/8: 1-3.
- ㉓ 在其于1930年被解散前, 呼捷玛斯一直致力于从事现代主义建筑的教学和实践, 被称为“苏联的包豪斯学校”。
- ㉔ Планетарий. Стронтельство Москвы. 1927/3: 79-81.

- ②⑤ 李元. 莫斯科天文馆. 科学大众. 1953/12: 482-484.
- ②⑥ Richard Weingardt. Anton Tedesko: Father of Thin-Shell Concrete Construction in America. Structure Magazine. 2007/4: 69-71.
- ②⑦ 喷射混凝土施工技术的发明人阿克利(Carl Akeley)就是纽约自然历史博物馆的研究院, 该技术用于海登天文馆的施工中。
- ②⑧ 李元. 中国天文馆事业的回顾和展望[J]. 科普研究, 2008 (04): 41-47.
- ②⑨ 张开济, 宋融, 邱圣瑜. 北京天文馆[J]. 建筑学报, 1957 (1): 1-13.
- ③⑩ 张楠. 中国天文演示仪器: 类型、功能及嬗变[D]. 上海交通大学, 2018: 152.
- ③⑪ 王滨海. 新发明之天文仪器[J]. 东方杂志. 1925, 22 (21): 125.
- ③⑫ 侯师. 使天文学普化的假天院. 科学画报. 1935, 2 (20): 768-769.
- ③⑬ 高鲁. 假天假天就是一架天象仪. 宇宙. 1932, 2 (8): 113-121.
- ③⑭ 张钰哲. 假天. 科学. 1932, 16 (11): 1585-1595.
- ③⑮ 珣. 杂俎富郎克林学院之费尔斯特假天院. 科学. 1934, 18 (3): 441-442.
- ③⑯ 李元. 我国第一座天文馆的建造[J]. 中国科技史料, 1980 (2): 88-98.
- ③⑰ 李元. 莫斯科天文馆. 科学大众. 1953/12: 482-484.
- ③⑱ 卞德培. 苏联天文馆. 北京天文馆编. 苏联天文学的辉煌成就. 北京: 科学普及出版社, 1957: 208.
- ③⑲ 北京天文馆编. 苏联天文学的辉煌成就. 北京: 科学普及出版社, 1957.
- ④⑩ 卞德培. 莫斯科天文馆的人造星空. 大公报. 1956-6-16, 第3版.
- ④⑪ 胡琛琛. 新中国第一座天文馆建成始末——专访北京天文馆创始人李元先生. 科技中国. 2005/9: 70-73. 郭霞. 中国天文馆的发展与探索[J]. 科普研究, 2009, 4 (03): 83-88.
- ④⑫ 陈曦. 北京天文馆创建始末[J]. 科普研究, 2007(5): 67-73.
- ④⑬ 李元. 我国第一座天文馆的建造[J]. 中国科技史料, 1980 (2): 88-98.
- ④⑭ 陈永汶. 行走天穹: 我国现代天文学家陈遵妫传. 北京: 华文出版社, 2007: 173.
- ④⑮ 张开济, 宋融, 邱圣瑜. 北京天文馆[J]. 建筑学报, 1957 (1): 1-13.
- ④⑯ 陈曦. 北京天文馆创建始末[J]. 科普研究, 2007(5): 67-73.
- ④⑰ 张楠. 中国天文演示仪器: 类型、功能及嬗变[D]. 上海交通大学, 2018: 156.
- ④⑱ 北京市委. 文委联合办公会第三十一次会议记录. 1954年. 北京市档案馆. 档卷号11-2-284.
- ⑤⑩ 北京市委. 本委关于研究有关天文馆建馆等问题会议摘要. 1955年. 北京市档案馆. 档卷号11-1-145.
- ⑤⑪ 设计过程中社会热心人士曾给天文馆筹备部门寄赠《美国洛杉矶格利菲斯天文台(馆)图册》. 陈曦. 北京天文馆创建始末[J]. 科普研究, 2007 (5): 67-73.

- ⑤⑫ 张开济, 宋融, 邱圣瑜. 北京天文馆[J]. 建筑学报, 1957 (1): 1-13.
- ⑤⑬ 同上
- ⑤⑭ Ronald May. Shell Sellers. The International Dissemination of the Zeiss-Dywidag System, 1923-1939. Proceedings of Fifth International Construction History Congress, Chicago, 2015.
- ⑤⑮ 张开济, 宋融, 邱圣瑜. 北京天文馆[J]. 建筑学报, 1957 (1): 1-13.
- ⑤⑯ Walther Bauersfeld. Projection planetarium and Shell Construction[J]. The Engineer, 1957/5: 76-80.
- ⑤⑰ 张开济, 宋融, 邱圣瑜. 北京天文馆[J]. 建筑学报, 1957 (1): 1-13.
- ⑤⑱ 常永茂. 北京天文馆薄壳圆顶的施工. 北京建筑通讯, 1957/4: 20-23.
- ⑥⑩ 同上.
- ⑥⑪ 陈曦. 北京天文馆创建始末[J]. 科普研究, 2007(5): 67-73.
- ⑥⑫ 常永茂. 北京天文馆薄壳圆顶的施工. 北京建筑通讯, 1957/4: 20-23.
- ⑥⑬ 常永茂. 北京天文馆薄壳圆顶的施工(续完). 北京建筑通讯, 1957/5: 25-26.
- ⑥⑭ 常永茂. 北京天文馆薄壳圆顶的施工. 北京建筑通讯, 1957/4: 20-23.
- ⑥⑮ 常永茂. 北京天文馆薄壳圆顶的施工(续完). 北京建筑通讯, 1957/5: 25-26.
- ⑥⑯ 陈曦. 北京天文馆创建始末[J]. 科普研究, 2007(5): 67-73.
- ⑥⑰ 常永茂. 北京天文馆薄壳圆顶的施工(续完). 北京建筑通讯, 1957/5: 25-26.
- ⑥⑱ 李元. 我国第一座天文馆的建造[J]. 中国科技史料, 1980 (2): 88-98.
- ⑦⑩ 北野. 再生. 北京天文馆. 北京: 北京出版社, 1958: 61.
- ⑦⑪ 北京地区1955年以后因抗震问题禁用双曲砖拱结构. 中华人民共和国建设委员会. 国家建设委员会关于答复“关于双曲线砖拱建筑的结论意见的报告”. 1955年. 北京市档案馆.
- ⑦⑫ 张开济, 宋融, 邱圣瑜. 北京天文馆[J]. 建筑学报, 1957 (1): 1-13.
- ⑦⑬ 刘亦师. 1959年北京“十大建筑”的若干新研究成果综汇. 张复合, 刘亦师编. 中国近代建筑研究与保护(12). 天津: 天津人民出版社, 2022.

图片来源

- 图1: Wallace W. Atwood: The Atwood Celestial Sphere, in: Bulletin of the Chicago Academy of Sciences. 1913, 4 (2).
- 图2: B. Goesl, H. von Herrmann, K. Suzuki (ed.). Zum Planetarium: Wissensgeschichtliche Studien. Berlin: Wilhelm Fink, 2018.
- 图3: B. Goesl, H. von Herrmann, K. Suzuki (ed.). Zum Planetarium: Wissensgeschichtliche Studien.

Berlin: Wilhelm Fink, 2018.

图4: M. Fernández-Serrano and J. López. Projecting Stars, Triangles and Concrete. Architectura, 2017, Band 47.

图5: Joachim Krausse. Architektur aus dem Geist der Projektion. von der Ernst-Abbe-Stiftung. 80 Jahre Zeiss-Planetarium Jena. Konzeption und Redaktion: Hans-Christian von Herrmann, 2006.

图6: Zeiss Archives

图7: J. Vischer and L. Hilberseimer. Beton Beton als Gestalter. Stuttgart: Julius Hoffmann, 1928.

图8: Knut Stegmann. Die Dywidag-Versuchsschale in Wiesbaden-Biebrich von 1931. Beton- und Stahlbetonbau, 2016, 111 (8): 532-538.

图9: B. Goesl, H. von Herrmann, K. Suzuki (ed.). Zum Planetarium: Wissensgeschichtliche Studien. Berlin: Wilhelm Fink, 2018.

图10: Планетарий. Строительство Москвы. 1927/8. 重绘

图11: НАУЧНЫЙ ТЕАТР ДЛЯ ШИРОКИХ МАСС. СОВРЕМЕННАЯ АРХИТЕКТУРА. 1927/3.

图12: Строительство Москвы. 1928/8.

图13: Philip Fox. Adler Planetarium and Astronomical Museum of Chicago. Chicago: The lakeside Press, 1933: 7.

图14: UCLA University Library Archives

图15: Merrill Schleier (2011) The Griffith Observatory in Ray's Rebel Without a Cause (1955). The Journal of Architecture, 16 (3): 365-385.

图16: UCLA University Library Archives

图17: Los Angeles Public Library

图18: New York Public Library

图19: 同上

图20: 高鲁. 假天就是一架天象仪. 宇宙. 1932, 2 (8): 113-121.

图21: 《科学画报》, 1935年底8期封面

图22: Kadyrova Yulduz 提供.

图23: 北京天文馆. 北京天文馆五十年(1957—2007). 内部资料.

图24: 张开济, 宋融, 邱圣瑜. 北京天文馆[J]. 建筑学报, 1957 (01): 1-13.

图25: 北京市建筑设计志编纂委员会. 北京建筑设计资料汇编(上册). 内部资料, 1994.

图26: 北京天文馆. 北京天文馆五十年(1957—2007). 内部资料.

图27: 北京天文馆提供

图28: 北京天文馆提供

图29: 北京建筑通讯, 1957/4: 32.

图30: 北京建筑通讯, 1957/4: 33.

图31: 北京天文馆提供

图32: 北京市城建档案馆

图33: 作者拍摄, 2022年

图34: 北京天文馆. 北京天文馆五十年(1957—2007). 内部资料.