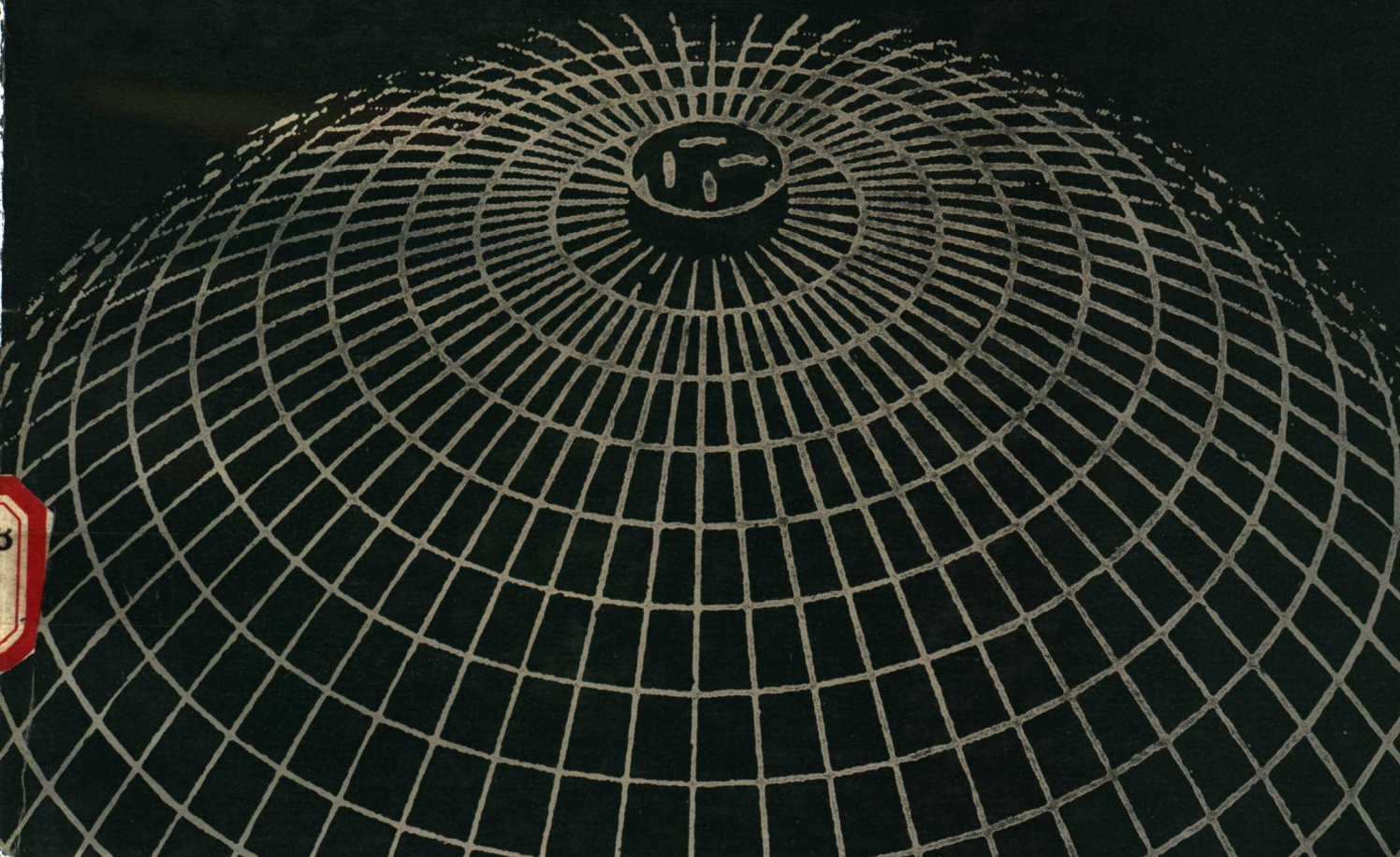


Analysis, Design and
Construction of
**BRACED
DOMES**

穹顶网壳分析
设计与施工

【英】Z. S. 马柯夫斯基 著

赵惠麟等 译著
江苏科学技术出版社



Analysis, Design and
Construction of
**BRACED
DOMES**

TU3 B.3
2M137

江苏工业学院图书馆
藏书章

穹顶网壳分析
设计与施工

(苏) 新登字第002号

穹顶网壳分析、设计与施工

赵惠麟等 译著

出版发行：江苏科学技术出版社

经 销：江苏省新华书店

印 刷：无锡春远印刷厂

开本787×1092毫米 1/16 印张33.5 插页2 字数813,000

1992年3月第1版 1992年3月第1次印刷

印数1—1,500册

ISBN 7-5345-1328-6

TU·27

定价：13.50元

责任编辑 华锡全

我社图书如有印装质量问题，可随时向承印厂调换。

818304

【英】Z. S. 马柯夫斯基 著

赵惠麟等 译著

江苏科学技术出版社

内 容 提 要

《穹顶网壳分析、设计与施工》是当代空间结构著名学者英国马柯夫斯基教授 (Z.S.Makowski) 主编的, 并由法国、意大利、日本、墨西哥、罗马尼亚、西班牙、英国、美国等国际公认专家参与撰写的权威性著作, 它充分反映了穹顶网壳结构体系的最新科技成就, 几乎涉及了穹顶网壳结构体系的理论研究、设计、施工及加工制造的全部问题。本译著还介绍译著者近几年的科研成果和新的结构体系。该书的出版将为我国推广这一结构体系起极大的推动作用。

本书的特点是既有理论研究, 又有大量工程实例, 且包含宝贵的工程事故分析资料。

本书可作为高等院校工民建专业、建筑学专业选修课教材, 也可供建筑师、结构师、制造单位、土建类研究生及科研工作者参考使用。

前 言

由于穹顶网壳结构比平板型网架结构造型更优美、受力更合理、刚度更大、用材更省，故这类结构深受工程界欢迎，已成为国际上广为流行的空间结构体系。当前世界上跨度最大的穹顶网壳当推美国新奥尔良的超级穹顶屋盖 ($D=213$ 米)。1990年9月我国成功地举办了第11届亚运会，穹顶网壳结构已开始在其中某些场馆得到应用，为这一盛会增色不少，开始引起我国工程界瞩目，可以预见这一结构体系定将在我国得到广泛应用。然而，由于该结构体系的造型及结构分析均较平板型网架结构复杂，而当前又缺乏实际建造经验的借鉴及权威性专著和法规的指导，致使在我国推广这一结构体系遇到极大的困难，有鉴于此，我们特翻译了当代空间结构著名学者英国马柯夫斯基教授 (Z.S.Makowski) 主编的《穹顶网壳的分析、设计与施工》(Analysis, Design and Construction of Braced Domes) 这一专著，和近年来我们在这方面的研究成果以解燃眉之急。

马柯夫斯基主编的《穹顶网壳分析、设计与施工》是由法国、意大利、日本、墨西哥、罗马尼亚、西班牙、英国、美国、德国等国际公认的专家参与撰写的权威性著作。它充分反映了穹顶网壳结构体系的最新科技成就，几乎涉及了穹顶网壳结构体系的理论研究、设计、施工及加工制造的全部问题。为此，这一专著便成为在这一领域从事研究及工程实践的人们不可多得的著作，它将在我国为推广这一结构体系起极大的推动作用。

本书由赵惠麟、马军、邓其萱、朱万福译著，由赵惠麟统稿、审定，全书由宋启根校订。另外英国瑟雷大学空间结构研究中心 (Space Structures Research Centre, University of Surrey) 单文孝博士校订了部分译稿，东南大学建筑设计研究院孙光初及上海市吴泾化工设计院俞盛鐸初译了部分内容，在此一并致谢。

为便于某些读者阅读本专著中一些较专门的内容，译著者对此作了专门注解。对原著中的错误，译著者在仔细论证后作了一一订正，有的还专门请原作者作了校订，一般不再在译文中注明。

限于水平，不当之处，敬请读者指正。

译著者

于东南大学1991.3.

序 言

工程师及建筑师们对能够跨越大跨度的结构体系总是特别感兴趣的。体育场、会议大厅、展览中心、游泳池、商店拱廊以及工业建筑，更是要求有大的自由空间及内支承相互干扰最小的结构的典型例子。

穹顶在这方面具有特殊意义，因为穹顶能以最小表面积覆盖最大空间体积，而且结构材料消耗非常经济。

空间结构近期发展的回顾说明，近10年来钢及铝穹顶网壳领域在很多国家已有显著的发展。多种新型杆系已研制出来，而若干新型的预制穹顶网壳已为制造商所引进。工程师们已认识到穹顶网壳结构的全部潜力，将它们大量地推广到商业及工业建筑中去。一般说来，它们提供了一个综合解决节约材料及降低造价的办法。

穹顶网壳的精确分析，多年来一直是非常困难的工作。然而，由于大型电子计算机的引用及结构的代数数据处理的最新发展，设计师们现已能以很高的精度定出穹顶网壳的应力分布。因此，这种结构形式所提供的多种令人鼓舞的可能性现在已能简易而可靠地予以实现。

这是第一本关于以综合方式研究在穹顶网壳的分析、设计及施工中所遇到各种问题的英文版本的权威性著作。本书由法国、意大利、日本、墨西哥、罗马尼亚、西班牙、英国、美国、德国等国际公认的专家参与撰写，以便使这本书成为穹顶网壳工程信息的主要来源。本书包括：穹顶的精确及近似方法的详细论述，穹顶稳定最新研究成果以及特别适用于描述复杂穹顶网壳图形的形式代数的最新概念。本书中从事各种类型的钢及铝质穹顶网壳设计及制造厂商人士的撰文则有很大的实际意义。

本著作由英国瑟雷大学空间结构研究中心主持的穹顶网壳的分析、设计、施工短期课程的内容扩写而成。该中心以研究空间结构而获得了国际声誉。多年来，由于它通过研究和理论分析来阐明空间构架体系的性质，促进使用这一体系，从而日益成为这一领域的活动中心。

由于穹顶网壳在结构设计中的实际重要性，所以在最近十年中穹顶网壳在瑟雷大学空间结构中心的研究中受到了特殊关注。因此，本书的若干章节由结构中心的一些人员来撰写是合适的。

可以确信，本著作将成为专业土木及结构工程师、顾问工程师、承包商、建筑师，以及希望探索应用金属穹顶网壳这一迅速发展领域最新发展趋向的政府研究机构中的研究工作者的主要参考文献。

齐·斯·马柯夫斯基
(Z.S. Makowski)

目 录

第一章 穹顶发展史及其最新国际成就展望

齐·斯·马柯夫斯基 (Z.S.Makowski) (1)

§ 1-1 引言..... (1)

§ 1-2 各种穹顶网壳的发展..... (4)

§ 1-3 铝质穹顶..... (35)

§ 1-4 三极穹顶..... (38)

§ 1-5 木穹顶..... (41)

§ 1-6 最引人瞩目的穹顶..... (42)

§ 1-7 穹顶网壳的设计..... (49)

参考文献 (55)

第二章 穹顶网壳分析简介

泼·马洛特 (P.Mullord) (58)

§ 2-1 穹顶网壳的数学抽象..... (58)

§ 2-2 穹顶网壳的性质..... (58)

§ 2-3 分析..... (59)

§ 2-4 刚度法..... (60)

§ 2-5 刚度法的计算机执行过程..... (62)

参考文献 (64)

第三章 骨架结构线弹性静力分析的通用程序

斯·鲁滨逊 (S.Robinson) (65)

§ 3-1 引言..... (65)

§ 3-2 刚度法..... (65)

§ 3-3 分析程序..... (67)

§ 3-4 结果..... (91)

参考文献 (99)

第四章 穹顶网壳的稳定和事故分析

乌·杰·舒泼莱 (W.J.Supple) (100)

§ 4-1 引言..... (100)

§ 4-2 失稳现象..... (100)

§ 4-3 连续体穹顶的研究..... (102)

§ 4-4 穹顶网壳的分析方法..... (104)

§ 4-5 骨架穹顶的研究..... (107)

参考文献 (112)

第五章 一座大跨度穹顶网壳倒塌的调查

姆·弗·苏亚雷 (M. V. Soare)	(113)
§ 5-1 引言	(113)
§ 5-2 主要设计参数	(113)
§ 5-3 穹顶倒塌情况	(115)
§ 5-4 对穹顶倒塌的进一步鉴定	(118)
§ 5-5 结论	(121)
参考文献	(121)

第六章 穹顶网壳的形式代数表示

简·斯·桑切斯·阿尔瓦雷斯 (J. S. Sanchez, Alvarez)	(123)
§ 6-1 引言	(123)
§ 6-2 具有简单旋转对称特性的球面构形	(124)
§ 6-3 具有双向对称扇形的球面构形	(154)
§ 6-4 将平面网格投影到球面上所得到的构形	(168)
§ 6-5 由循环对称的双曲抛物面子块组成的构形	(179)
参考文献	(189)

第七章 适用于分析穹顶网壳应力分布的拟壳法

齐·斯·马柯夫斯基 (Z. S. Makowski)	(190)
§ 7-1 引言	(190)
§ 7-2 适用于等边三角形交叉梁系组成的穹顶网壳的拟壳法	(191)
§ 7-3 施韦德勒穹顶的拟壳法	(197)
参考文献	(205)

第八章 用有限差计算法分析某些周期对称结构

阿·衣·塔尔齐 (A. I. Tarzi)	(207)
§ 8-1 引言	(207)
§ 8-2 理论范围及定义	(207)
§ 8-3 参考坐标系	(208)
§ 8-4 位移镜像对称的规定	(209)
§ 8-5 单轮周期对称结构	(209)
§ 8-6 双轮周期对称结构	(214)
§ 8-7 理论的讨论	(215)
参考文献	(216)

第九章 连续介质——构架体系穹顶网壳的有限元分析理论评述

尔·霍拉韦和弗·奇·伊沙凯姆 (L. Hollaway and V. G. Ishakian)	(217)
§ 9-1 引言	(217)
§ 9-2 穹顶网壳	(217)
§ 9-3 构架 连续介质体系的回顾	(218)
§ 9-4 有限元法在分析一般空间结构问题的连续介质——构架体系中的特点	(223)

§ 9-5 层状式穹顶.....	(226)
§ 9-6 理论及模型试验.....	(226)
§ 9-7 两种结构形式的比较.....	(228)
§ 9-8 考察.....	(230)
参考文献	(230)

第十章 不同边界层下穹顶风压分布的风洞试验

姆·托伊和斯·乌·翁 (N.Toy and C.W.Wong)

.....	(232)
§ 10-1 引 言.....	(232)
§ 10-2 仪器设备	(233)
§ 10-3 讨 论.....	(235)
§ 10-4 结 论.....	(239)
参 考 文 献.....	(240)

第十一章 各国确定穹顶风载的规范比较

斯·贝克 (S.Baker)

.....	(241)
§ 11-1 引 言.....	(241)
§ 11-2 尖边界和曲边界结构周围的气流情况	(242)
§ 11-3 风荷载实用规范的比较	(244)
§ 11-4 结 论.....	(254)
参 考 文 献.....	(254)

第十二章 球形穹顶网壳分割的经济方法及一些设计建议*

简·科洛索乌斯基 (J.Kolosowski).....

.....	(256)
§ 12-1 引 言.....	(256)
§ 12-2 建议的分割方法	(256)
§ 12-3 所建议的分割方案在双层穹顶中的应用	(267)
§ 12-4 所推荐的分割方法的讨论	(268)
§ 12-5 实践因素	(268)
§ 12-6 设计公式的推导	(277)
§ 12-7 穹顶初步及最后设计过程的建议	(282)
§ 12-8 初步设计例子	(287)
参 考 文 献	(291)

第十三章 测地线穹顶发展的回顾

尔·莫特罗 (R.Motro)

.....	(292)
§ 13-1 引 言.....	(292)
§ 13-2 测地线穹顶的几何性质	(292)
§ 13-3 设计及建造示例	(299)
§ 13-4 卓越的成就	(302)
§ 13-5 结 论.....	(309)
参 考 文 献	(310)

第十四章 二维和三维三角形网格化穹顶的多联体系

泼·皮尔斯 (P.Pearce)	(311)
§ 14-1 构件种类最少而造形变化最多的建筑体系	(311)
§ 14-2 经典测地线穹顶体系	(311)
§ 14-3 “Min-A-Max” 建筑体系	(312)
§ 14-4 构 件	(312)
§ 14-5 空间单元	(314)
§ 14-6 “Min-A-Max” 体系的三角形网格化	(316)
§ 14-7 六边形三角锥体网架	(317)
§ 14-8 空间单元体的三角形网格化	(320)
§ 14-9 “Min-A-Max” 体系多面体	(323)
§ 14-10 其他空间体系	(326)
§ 14-11 住宅建筑的造型	(327)
§ 14-12 多层建筑的造型	(329)
§ 14-13 “Min-A-Max” 体系的学校建筑	(336)
§ 14-14 付诸实践	(339)
参 考 文 献	(339)

第十五章 穹顶网壳的设计与施工

赫·勃·沃尔克 (H.B.Walker)	(340)
§ 15-1 引 言	(340)
§ 15-2 穹顶结构的 种 类	(340)
§ 15-3 设计 荷 载	(343)
§ 15-4 设 计	(345)
§ 15-5 施 工	(347)
§ 15-6 结 论	(351)

第十六章 里琼要塞疗养中心穹顶

夫·衣·斯·威斯特 (F.E.S.West)	(352)
§ 16-1 概 述	(352)
§ 16-2 穹顶设计	(354)
§ 16-3 穹顶安装	(356)
§ 16-4 改进设计的几点建议	(356)
参 考 文 献	(356)

第十七章 钻石穹顶体系

富·马楚希塔 (F.Matsushita)	(357)
§ 17-1 引 言	(357)
§ 17-2 穹顶体系	(357)
§ 17-3 结构杆件及其连接	(363)
§ 17-4 分 析	(363)
§ 17-5 车间制造	(367)
§ 17-6 安 装	(368)
§ 17-7 托莫埃格米 (Tmoegumi) 穹顶的回顾与总结	(374)

第十八章 顿科 (Temcor) 铝穹顶的发展

特·尔·里克特 (D.L.Richter)..... (383)

- § 18-1 引言..... (383)
- § 18-2 历史回顾..... (383)
- § 18-3 顿科 (Temcor) 空间结构..... (387)
- § 18-4 几何学比较..... (389)
- § 18-5 南极多框架穹顶..... (392)
- § 18-6 莫哈韦 (Mojave) 多框架..... (393)
- § 18-7 顿科多面晶穹顶..... (395)
- 参考文献..... (396)

第十九章 单层和双层米罗穹顶

赫·埃伯莱因 (H.Eberlein)..... (397)

- § 19-1 引言..... (397)
- § 19-2 米罗体系的结构部件..... (397)
- § 19-3 米罗体系的几何外形..... (400)
- § 19-4 结构分析..... (406)
- § 19-5 覆盖层..... (407)
- § 19-6 特殊方案..... (415)
- 参考文献..... (419)

第二十章 西班牙维多利亚双层穹顶网壳

简·玛格丽特·孔萨尔拉姆和克·巴克拉·里贝

(J.Margarit Consarnau and C.Buxade Ribot) ... (420)

- § 20-1 引言..... (420)
- § 20-2 穹顶设计..... (420)
- § 20-3 方案..... (428)
- § 20-4 工厂制造和组装..... (434)
- § 20-5 结构分析..... (437)
- § 20-6 结构单元的尺寸..... (437)
- 参考文献..... (438)

第二十一章 穹顶的形式、功能和建筑造型

斯·迪·沙托 (S.DuChâteau)..... (439)

- § 21-1 引言..... (439)
- § 21-2 穹顶的形式和技术..... (439)
- § 21-3 SDC 体系..... (439)
- § 21-4 格朗瓦尔 (Grandval) 穹顶..... (440)
- § 21-5 雷歇巫雷斯的沙特尔圣·约翰教堂穹顶..... (443)
- § 21-6 罗伊菲耶克斯教堂穹顶..... (444)
- § 21-7 阿加迪尔商场屋盖..... (445)
- § 21-8 德朗西的慕尼雪佩尔游泳馆穹顶..... (446)
- § 21-9 莫-博瓦尔热电站穹顶..... (449)
- § 21-10 圣·梅雷·埃格利斯空袭陈列馆穹顶..... (451)

§ 21-11	圣·旺商场穹顶·····	(451)
§ 21-12	阿尔让泰依尔商场穹顶·····	(452)
§ 21-13	布鲁塞尔测地线龟形网壳·····	(453)
§ 21-14	布卢瓦多元大厅屋盖·····	(456)

第二十二章 斯温登娱乐中心游泳馆网状穹顶

	夫·阿·奥尔德 (F.A.Auld) ·····	(458)
§ 22-1	引言·····	(458)
§ 22-2	一般背景材料·····	(458)
§ 22-3	网格布置和结构详图·····	(461)
§ 22-4	设计荷载假定·····	(462)
§ 22-5	薄膜应力分析·····	(464)
§ 22-6	顶部和底边环的不连续效应·····	(465)
§ 22-7	剪力和转动刚度的调节·····	(466)
§ 22-8	对应于整体屈曲、局部屈曲和单杆屈曲的稳定性·····	(466)
§ 22-9	结构试验大纲·····	(467)
§ 22-10	施工情况·····	(471)
	参考文献·····	(471)

第二十三章 意大利测地线穹顶发展近况

	阿·奥兰迪 (A.orlandi) ·····	(472)
§ 23-1	引言·····	(472)
§ 23-2	普拉托穹顶·····	(472)
§ 23-3	结构分析·····	(474)
§ 23-4	安 装·····	(475)
§ 23-5	扁壳穹顶·····	(477)
	参考文献·····	(481)

第二十四章 沙迦国际机场穹顶网壳屋盖

	奇·姆·平福德 (G.M.Pinfold) ·····	(482)
§ 24-1	引言·····	(482)
§ 24-2	穹顶的结构形式·····	(482)
§ 24-3	覆盖层的热膨胀性·····	(483)
§ 24-4	穹顶的安装·····	(485)

第二十五章 三极体系穹顶

	阿·乌·埃利奥特 (A.W.Elliott) ·····	(488)
§ 25-1	三极节点体系·····	(488)
§ 25-2	穹顶结构·····	(490)
§ 25-3	工程研究·····	(491)
§ 25-4	覆盖层·····	(497)
	参考文献·····	(498)

第二十六章 穹顶网壳的非线性分析及板片结构体系概述

赵惠麟 邓其萱 马军

§ 26-1 引言..... (499)

§ 26-2 穹顶网壳节点的弹-塑性分析..... (499)

§ 26-3 单层网壳屈曲全过程分析..... (505)

§ 26-4 板片结构体系概述..... (516)

参考文献 (521)

第一章 穹顶发展史及其最新国际成就展望

齐·斯·马柯夫斯基 (Z. S. Makowski)

§ 1-1 引言

大跨度总是强烈地吸引着建筑师及工程师们。穹顶结构提供了一种覆盖大面积的既方便又经济的方法,并且经常被了解这种结构形式优点及其美观造型的设计师们所采用。使用穹顶可能的最早记载是在亚述 (Assyria) 尼尼微 (Nineveh) 的塞纳-切里巴 (Senna-Cheribbo) 宫废墟发现的亚述柱浅浮雕 (公元前705~681)。这组浮雕表示了一组看来是半球形和尖顶覆盖的建筑群。

穹顶的发展同所用的建筑材料发展密切相关。在古代,穹顶用石头建造,后来逐渐被砖石结构替代,在中世纪木材便成了穹顶的主要覆盖材料,并且这时期的一些木穹顶至今还保存着,它们主要集中在德国、法国、意大利、俄罗斯、斯堪的那维亚。它们常被用作石砌穹顶的外部围护。

用穹顶所能覆盖的大跨度,常常激发建筑师们的想象力。在19世纪,曾用穹顶覆盖几个非常大的展览建筑物,铁的应用曾是这种趋向的决定因素,对于很快地认识到铁的轻质、高强优点及其发展潜力的工程师和建筑师们来说,铁为他们开创了一个新纪元。

第一座铁穹顶建于1811年,由贝朗热 (Belanger) 和布吕内 (Brunet) 以铁穹顶覆盖了巴黎的科恩 (corn) 商场的中心部分。虽然这个穹顶仅仅是将木结构的作法改用熟铁,但这一结构还是引起了工程师及建筑师们的极大兴趣。

采用强度高得多的钢材,是各种形式穹顶网壳的发展过程中使之适用于大跨度的一个首要影响因素。罗马人都用混凝土建造穹顶,素混凝土虽然受压较强,但抗拉却非常弱,所以无筋混凝土穹顶必须做得非常厚实,例如,在本世纪初建造的跨度为18.3米 (60英尺) 的英国威斯敏斯特 (Westminster) 大教堂穹顶的拱脚处的厚度为0.91米 (3英尺)。

混凝土中加入钢筋以提高混凝土的受拉能力,这就开辟了结构工程的新领域。第一批钢筋混凝土穹顶中的一个是由马克斯·贝格 (Max Berg) 设计,并于1912年在波兰的洛兹拉夫 (Wroclaw) 市建造的百周年纪念大厅的著名带肋穹顶,这个穹顶是最早的而且至今还是最大的钢筋混凝土带肋穹顶,这个穹顶覆盖直径65米 (213.3英尺) 的圆面积,它支承在竖直柱面与球形顶部交线形成的四个斜拱上。中央穹顶由32根径向肋及与之相交的5根平行环组成,四个球边拱顶作为扶墙与支承君士坦丁堡 (Constantinople) 的圣·索菲亚 (St. Sophia) 扶墙很相似。然而这种形式的建筑显得过于笨重而且没有充分利用混凝土的优点。

由德国耶拿 (Jena) 蔡司厂 (Zeiss) 的总工程师瓦尔特·鲍尔斯费尔德 (Walter Bauersfeld) 博士于1922年建造的第一座钢筋混凝土薄壳穹顶, 它是世界上最早的轻质钢骨架结构, 结构上覆盖以钢丝网水泥, 这就开创了土木工程史上第一座混凝土薄壳结构, 由于这穹顶的净跨为25米 (82英尺), 但钢筋混凝土薄壳厚仅为60.3毫米 ($2\frac{3}{8}$ 英寸), 这就标志着一个惊人的进步。这个覆盖天文馆的结构是当时的一个最新成就, 并从而促成了大量钢筋混凝土穹顶的建造, 其中包括耶拿的第二个钢筋混凝土穹顶, 它的直径为40米 (131英尺), 而壳厚却仍为60.3毫米 ($2\frac{3}{8}$ 英寸)。

然而, 一旦设计者了解到这一结构形式的缺点, 即钢筋混凝土壳很费工, 同时大量消耗模板, 施工很慢, 因而最终造价并非真正经济, 采用钢筋混凝土薄壳的热情就大为减弱。这一时期人们认识到了使用钢材、铝合金及玻璃纤维增强塑料的优点。由于富有胆略地采用金属网壳, 本世纪最后25年将具有举世瞩目的特殊地位。

由于穹顶能以最小的表面积包含最大的空间体积及结构材料消耗非常经济, 所以工程师及建筑师们对此特别感兴趣。对于覆盖需要大的自由空间及内部支柱间较小干扰的体育场、会议大厅、展览中心、游泳池及工业建筑, 穹顶是特别适合的。在运动大厅中为大多数观众提供通畅的视线是最基本的要求, 而采用穹顶则容易满足这一要求。

穹顶是一种同向曲面的典型例子, 在这曲面上任一点所有方向的曲率是同号的。同向曲面亦称正高斯曲率面及不可展面 (即穹顶面当表面不伸长缩短时不能展成平面), 实际上这是穹顶之所以不能由同样长度杆件组成的原因之一, 甚至测地线穹顶也需用不同长度的杆件组成。

大多数实际建成的穹顶面是一条平面曲线绕一根垂直轴旋转形成的。这条旋转曲线称为子午线或经线。而水平截线通称纬线, 任一条曲线能用作经线, 如圆周能形成一个球面, 椭圆形成一个旋转椭球面, 而一条抛物线形成一个旋转抛物面, 上述三种曲面均属同向曲面。

理论上我们也能由平移得到穹顶面。当一条平面曲线A沿着通常与之正交的另一条平面曲线B平行移动时就可得到穹顶面。由于可以采用任何一种形式的曲线组合, 所以可得到大量的平移曲面。虽然这种曲面中的某些曲面无疑会具有某一特殊的建筑艺术感染力, 但在土木工程中却很少采用平移曲线来构成穹顶。实际上大多数穹顶是圆基面上的球面。

早期的多数建筑物都是建在圆基面上, 而穹顶则是覆盖这些建筑物的简便方法。穹顶开始时可能只作为一种屋顶覆盖形式, 但在异教徒、早期基督教及伊斯兰教时期穹顶已被作为坟墓、神龛、浸洗所、基督教堂、清真寺、皇家接见厅, 这就变成了宗教象征。

鲍尔维·史密斯 (Balwin Smith) 在1950年的一项研究中指出: 穹顶包含了建筑与宗教思想的特殊联系。他指出了穹顶不仅是一件砖石砌体的实际形式, 而且还具有体现拜占庭、伊斯兰、印度三大建筑风格崇高品质的象征意义。

在中、晚拉丁时期, 穹顶意指“房屋”、“屋面”、“圆屋顶”。而在中世纪及文艺复兴时期穹顶在整个欧洲被用以指明神圣的房屋 (Domus Dei)。穹顶意指重要房屋的说法在意大利至今还沿用着, 而在德国、冰岛及丹麦语中穹顶 (Dom) 表示“大教堂”, 在古

英国表示它为“城镇房屋”、“会馆”、“州议会大厦”或“城市大礼拜堂”。

罗马人常用穹顶作皇宫、花园亭阁、大公共浴池和陵墓的顶盖。所有罗马穹顶中最大者为建于公元120~124年的罗马万神庙。该穹顶的基面为直径44米(144.4英尺)的圆,这一万神庙穹顶在其建成后的1800年间仍是最大的穹顶。最初,人们认为其是由实体混凝土建成的,而最近的研究表明该结构实际上是由埋入稠的砂浆的砖块建成。这一著名的屋顶内部是一个半球,而沿支座处产生的理论上很高的环向力将由一个厚达7米(23英尺)的大混凝土块体基础承担。

享有盛誉的拜占庭建筑——土耳其君士坦丁堡的圣·索菲亚教堂建于公元532~537年。主穹顶呈扁球形,它的跨度为32.6米(107英尺)而矢高仅为14米(46英尺)。在此,拜占庭建筑师们使用了矢高为18.3米(60英尺),而悬挑为7.6米(25英尺)的大型穹隅,这些穹隅成为穹顶的圆形拱脚。穹顶由尺寸为68.6×68.6厘米(27×27英寸)~61×61厘米(24×24英寸)的特轻质砌块埋置在5.1厘米(2英寸)的砂浆层内构成。

这样尺寸的扁平穹顶在拱脚将产生一个很大的水平推力,而圣·索菲亚教堂的这一拱脚推力是由一个块体支墩及半穹顶体系承担。

在这一建筑物中,用砖建造特别扁平的中央穹顶几乎完全是受压的。穹顶的水平及竖向反力被传递到4个穹隅上,而后再转而传到4个大拱上。所以,中央穹顶的水平反力沿一根轴线方向被2个半穹顶承受,而沿另一轴线方向为4个块体支墩承担。虽然圣·索菲亚穹顶的跨度只有32.6米(107英尺),小于万神庙屋顶的净跨44米(144.4英尺),但由于它带有半穹顶及斜向前墙,使教堂的跨度大大增加,以致它的实际空间感觉也大大增强,这样宽敞的空间使人赞叹不已。史学家普罗科皮乌斯(Procopius)在公元560年(即此建筑完工后23年)认为,支承这中央穹顶的4个大支墩使用了熔化铅作为粘合材料。关心砖石穹顶发展历史的人们将发现,考恩(H.J.Cowan)教授1977年的那篇论文是很有意义的。

一些美丽的带肋穹顶,在中世纪的意大利是用砖砌的。最优秀的意大利文艺复兴时期的穹顶可能是由意大利建筑家米开朗琪罗(Michelangelo)设计的罗马的圣·彼得(St. Peter)穹顶。这穹顶的建造史十分奇特,原始的设计由意大利建筑家多纳太·布拉曼特(Donata Bramante)作出,意大利建筑家拉斐尔(Raphael)接替了多纳太·布拉曼特的工作,而后又为佩鲁齐(Peruzzi)所代替,结构的一部分由意大利另一建筑师圣加洛(San-gallo)建造,而时年72岁的米开朗琪罗则成为圣彼得的第五建筑师、米开朗琪罗未能看到这项工作的完成,在此他曾重新设计了这一结构,并在逝世时留下了一个模型及一些图纸,后来贾科玛·德拉·波尔塔(Giacomo della porta)按照米开朗琪罗的原始图纸和指示于1590年监督建造了这一穹顶。

我们必须牢记这一结构的设计是依据瓦工的经验与设计师的直感完成的。那时还没有数学理论,而这方面的工作是后来为解释穹顶建成后的裂纹开展才发展起来的。在1744年必须用若干道拉力环加固这一穹顶以防倒塌。