

1982.11.18

002831

剛架結構工作的研究

技术科学碩士

A. B. 葛美尔林格 B. И. 特罗菲莫夫 著
И. Е. 米列依科夫斯基 Е. Е. 高切尔果娃

建筑工程出版社

蘇聯中央工業建築科學研究所

剛架結構工作的研究

翁兆祥 譯

季直倉 校

建築工程出版社出版

• 1958 •

內容提要 本书为苏联中央工业建筑科学研究所科学通报第21期, 其中介绍了关于刚架式骨架和平面多层刚架的实验和理论研究工作的结果, 以及钢刚架节点的试验结果。

所获得的这些结果可应用于计算各种高层工程结构物, 如水塔、冷却水塔、矿井结构物、链桥和高架栈桥的支架、多层大厦的骨架等等。

本书供工程师、设计工作者、科学研究工作者和研究生参考用。

原本說明

书 名 ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ РАМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

作 者 А. В. Геммерлянг, В. И. Трофимов, И. Е. Милейковский, Е. Е. Кочергова

出版者 Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре

出版地点
及 年 份 Москва—1955

剛架結構工作的研究

翁兆祥譯

*

建筑工程出版社出版 (北京市東城門外大街)

(北京市書刊出版業營業許可証出字第052号)

建筑工程出版社印刷二廠印刷·新華書店發行

書号920 70千字 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張 $1\frac{1}{4}$

1955年10月第1版 1955年10月第1次印刷

印量: 1—2,560册 定价(10) 0.80元

目 录

前 言	4
第一章 科学文化宫大厦骨架壳体模型的試驗	6
(一) 壳体在弹性阶段內的試驗	19
(二) 底座在弹性阶段內的試驗	35
(三) 模型試驗(将模型試驗至丧失承载能力)	41
第二章 骨架壳体模型的計算	48
(一) 計算方法的基本原理	48
(二) 微分方程組的精确积分法	62
(三) 求模型的內力和位移	78
(四) 壳体模型計算的結論	90
第三章 多层刚架模型的試驗	92
第四章 鋼刚架节点的試驗	102
(一) 梁与大型方鋼柱連接节点的試驗	103
(二) 梁与宽翼緣工字鋼柱連接节点的試驗	118

前 言

水塔、冷却水塔、矿井结构物、鏈桥和高架栈桥的支架、多层大厦的骨架以及其他許多的结构形成了高聳工程结构类。这类结构物的特点是有很大的水平荷载（如风荷载等），结构构件的尺寸在很大的程度上取决于这些水平荷载。

这类结构的計算在大多数的情况下是采用极为近似的方法进行計算，用这种方法不可能准确求出构件的实际内力值，这样就妨碍了确定最經濟而可靠的答案。

根据上述见解，計算这类结构宜于采用更为精确的方法，这种方法对于内部靜不定结构尤为重要。

中央工业建筑科学研究所 A. P. 尔然尼采教授所制定的組合杆件原理法是这类结构最合理計算方法中的一种，这种方法曾用于計算如华沙科学文化宮（ДКН）大厦中央部分骨架多孔壳体那样复杂的结构。

采用这类計算方法和用模型对这类計算方法进行的实验校核揭露了空間体系工作的許多重要特性，因此这些所获得的结果提供了实际的和理論的价值。本通报由四章組成。

在技术科学碩士 A. B. 葛美尔林格和 B. И. 特罗菲莫夫所編写的第一章“科学文化宮大厦骨架壳体模型的試驗”中，簡要地敘述了大厦的骨架、骨架模型的制造原則及其試驗結果，并将試驗結果与用組合杆件法計算模型的数据进行了比較。

在技术科学碩士 И. Е. 米列依科夫斯基編写的第二章“骨架壳体模型的計算”中，闡明了这种計算方法并敘述了骨架中

央部分模型的計算。

在技术科学碩士E·E·高切尔果娃所編写的第三章“多层刚架模型的試驗”中,叙述了在承剪支撑为各种組合的情况下三跨十六层刚架的試驗結果。

在也是E·E·高切尔果娃所編写的第四章“鋼刚架节点の試驗”中,列举了通过实验确定的各种不同結構节点的特性。

中央工业建筑中央科学研究所管理处

第一章 科学文化宫大厦骨架 壳体模型的試驗

在莫斯科已經建成的和正在修建的多层的和高臺的大厦中,有些大厦是純剛架式骨架,有些是帶有支撐桁架的剛架式骨架,也有在骨架中加入鋼筋混凝土壳体。

在大厦的中央当建有能够承受全部水平荷載的刚性壳体时,就可以大大地減輕和簡化大厦骨架中的其余部分。因此,在設計华沙科学文化宮时,大厦的中央部分采用了骨架中帶有壳体的方案。

为了加速骨架的安装,壳体决定用鋼材制造。

大厦的高臺部分(除底层以外)在平面內呈正方形。因此,壳体也决定作成橫截面为正方形的棱柱体。大厦下部壳体截面的尺寸采取 22×22 公尺。壳体四周与外牆間的距离均为一个模数——7.8公尺(图1)。

在稍高于标高115.0公尺处,大厦的尺寸在平面內逐級縮小,漸次轉为尖頂。壳体的尺寸也因此相应地逐級縮小。

在标高21.45公尺以下的大厦底部設有大厅和楼梯,因而按建筑的需要在这儿布置整片的連續壳体壁便不可能。在这段高程內,壳体中断而代以四个单独的联杆(角隅柱墩),每一联杆呈角鋼形,其边长为7.8公尺。基本壳体支承在这些角隅柱墩的頂端,每一角隅柱墩有一根共有的柱子。

此外，另有16根单独的柱子支承着壳体。这些柱子就是壳体窗間牆的延續部分。

具有刚性壳体的骨架的大厦，其变形在很大的程度上决定于此壳体的刚度。

科学文化宫骨架壳体的計算，采用了中央工业建筑科学研究所 A.P. 尔然尼采教授所制定的組合杆件原理。这一計算結果曾用大厦骨架壳体簡化模型进行了驗証。

在标高21.45~115公尺区段内下部棱柱形壳体，承受了最大的荷載并且处于最复杂的边界条件中，因此，决定制造标高115公尺以下的大厦部分模型以进行实验研究。

因此，模型須与大厦的两个在构造上不同的部分一致(图2)：由窗間牆和过梁組合而成的高为93.55公尺的上部結構(壳体本身)，以及由4个角隅柱墩和沿壳体外緣設置的独立柱子所构成的下部結構(高度为26.65公尺)——底座(壳体本身的支座)。

大厦中布置了大量的在自身平面内刚劲很大的层間樓板，从而阻止了壳体橫向截面周边的变形和柱軸間距离的变动。这一情况在按組合杆件原理計算壳体时，可以認為承剪支撐是弹性柔韌的，而橫向支撐是刚性的，这就大大地簡化了

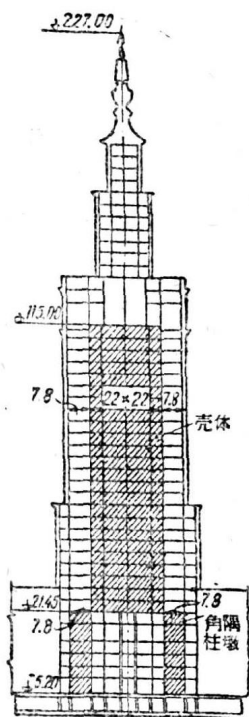


图1 科学文化宫中央部分骨架的結構图

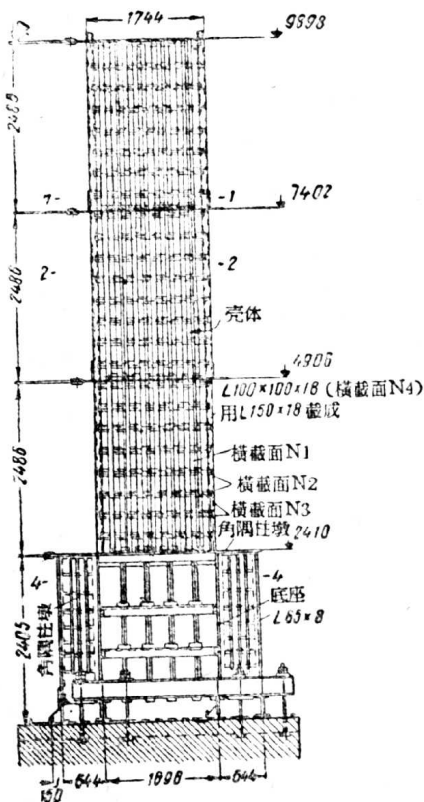


图 2 模型结构

用于大厦两面的风荷载进行计算时求得壳体顶端的横向挠度为11.48公分,比惯性矩相同的整体式梁挠度超过1.4倍。

骨架模型按实际尺寸 1:12.5 的比例用标号CT·3 钢制成^①。模型简图与自基础顶部至标高 115 公尺的大厦骨架相符。

① 壳体模型的设计以及试验用的装置全由国立钢结构设计院制定。

全部计算。

中央工业建筑科学研究所建筑力学实验室采用这一方法完成了科学文化宫大厦骨架的风荷载计算,风荷载在平面内系平行地作用于大厦的两面。发现壳体和底座的结合处产生边缘效应:在边柱受压和受拉面内的边柱上出现法向应力的集中,因而大大地超过了横截面相同的整体式梁内所产生的应力。

因此,计算证明了在风荷载作用下骨架工作上最重要的地方是第一层和第二层壳体的角柱,以及在接头区域内的底座柱。按平行地作

試驗用的模型全圖如图 2 所示。图 3 示壳体模型中三个区段中的一个区段(根据運輸条件將壳体分成三个全同的部件)以及所用模型构件的截面。

模型全高为 9900 公厘：下部(底座)高 2405 公厘；上部(壳体自身)高 7495 公厘。

壳体在平面內的尺寸在整个高度內均为 1744×1744 公厘。底座連同角隅柱墩的尺寸为 2784×2784 公厘。

当水平力作用时，模型就象一根空心截面梁那样受弯工作，因此它的弯形基本上决定于空心截面的慣性矩。在这种情况下，模型內那些单独的纵向构件(窗間墙、角柱等)的截面形状便没有任何实用意义，因为每个构件对于自身中心軸的慣性矩只占全截面总慣性矩中极其微小的一部分。所以在設計模型时窗間墙和角柱仅根据橫截面面积模拟实物，而这些构件每一构件的慣性矩并不与实际的相符。

模型纵向构件的面积按下式选用：

$$F_M = \frac{F_K}{12.5^2} = \frac{F_K}{157},$$

式中 F_M ——模型构件的橫截面面积；

F_K ——骨架构件的橫截面面积；

12.5——模型比例。

这样选择构件截面的結果，使模型全部橫截面的慣性矩与所要求的已十分接近，即符合下列关系：

$$\frac{J_M}{J_K} 12.5^4 = 0.95.$$

但是帶有大量門窗孔洞的空心壳体与实体式截面的梁不同，空心壳体有相当大的剪移变形。也正是这些变形的必须考虑說明了計算骨架和模型运用組合杆件原理的正确性。

壳体的承剪刚度决定于支撑屈从性的程度。这些支撑将所有各独立的纵向构件组合成一个单一的体系——壳体。模型(同样也在骨架内)門洞上面的过梁就充作这些支撑。此时过梁承受弯曲并将窗間墙也引入受弯工作。

模型中过梁的横截面系根据其应力与骨架中过梁的应力大致相等的条件选取,即采用由3公厘厚鋼板弯成高为96公厘的槽鋼形式。

由于計算风荷载在大厦的骨架内产生下列应力:

壳体底层窗間墙内的法向应力

(假定它象整体梁一样工作)

$$\sigma_1 = 165 \text{ 公斤/公分}^2,$$

过梁内的弯曲应力

$$\sigma_2 = 410 \text{ 公斤/公分}^2,$$

过梁腹板内的切应力

$$\tau = 310 \text{ 公斤/公分}^2,$$

骨架壳体底部截面内的弯矩

$$M_K = 67500 \text{ 吨公尺}。$$

根据在頂端截面上作用一集中水平力 $H = 4.6$ 吨的計算选择壳体模型的截面。在該水平力作用下,模型壳体底部截面内的弯矩 $M_M = H \times 7.5 = 4.6 \times 7.5 = 34.6$ 吨公尺,或考虑模型的比例:

$$M_M \times 12.5^3 = 34.6 \times 12.5^3 = 67500 \text{ 吨公尺}。$$

由力 H 的作用在模型的构件内产生下列应力:

壳体底层窗間墙上的法向应力

$$\sigma'_1 = 173 \text{ 公斤/公分}^2 \approx 165 \text{ 公斤/公分}^2,$$

过梁内的弯曲应力

$$\sigma'_2 = 460 \text{ 公斤/公分}^2 \approx 410 \text{ 公斤/公分}^2,$$

过梁腹板內的切应力

$$\tau' = 272 \text{ 公斤/公分}^2 \approx 310 \text{ 公斤/公分}^2.$$

由此应力比較可见，所用模型构件的截面已足够保証模型与骨架的良好相似。

◆ 模型中的窗間墙和过梁的截面形状并不与实物中截面的形状相符：在骨架中，窗間墙和过梁均选用有双向对称軸的工字形横截面，并且沿壳体的高度窗間墙和过梁的截面尺寸均变化三次；在模型中，为了制造簡易，窗間墙和过梁沿壳体的高度均为截面不变的槽鋼形式。

窗間墙的槽鋼断面系由 4 公厘厚的鋼板弯成。槽鋼的高为 216 公厘，翼緣寬为 40 公厘（见图 3 中的剖面 1）。

过梁系由两个已弯成的横截面构成：在壳体周边平面內的槽形横截面 2，和垂直于壳体周边平面的横截面 3。

横截面 2 厚 3 公厘，高 96 公厘，翼緣寬 20 公厘。横截面 3 厚 2 公厘，高 180 公厘，翼緣寬 40 公厘。由于横截面 3 几乎沿着横截面 2 的中和軸水平地布置，因而不包括在过梁的計算截面內。同理，鋼筋混凝土楼板也不包括在骨架过梁的計算截面內。

角鋼形的横截面 4 沿着模型壳体的四角上下貫通，其尺寸为 $100 \times 100 \times 18$ 公厘。系由 150×8 公厘的角鋼截成。

壳体由三个单独的区段装配而成，每区段高为 2496 公厘，相当于大厦的 8 层。在各区段的頂上均設有 10 公厘厚鋼板制成的横隔板（见图 3）。各区段均用螺栓装配。在窗間墙与过梁間沿各自全寬加以联結，并使窗間墙的翼緣向外，而使过梁的翼緣面向壳体內部。壳体各区段与区段之間的結合用角鋼搭接。

模型的底座（图 4）由四个角隅柱墩以及 16 根和壳体窗間

墙中心相重合的柱子組成。

如上所述,在設計模型时,特別注意了壳体本身在模型与骨架間的相似情况。底座的結構,特別是角隅柱墩,不可能制造得与实物完全相似,所以底座的試驗有其一定的特点。

在底座全高的三分点处設有用10公厘厚鋼板制成的橫隔板,沿其外緣鑲有 $100 \times 75 \times 8$ 公厘的角鋼。

底座的下端設有用30号槽鋼构成的輔加构架,其上裝有特制的承台,用以將模型固定在施力的底板上。

底座的支柱由两个 50×5 公厘的角鋼构成,支柱系用間断焊縫焊成箱形的橫截面(见图4中的剖面 $a-a$)。

角隅柱墩由2公厘厚的鋼板构成,鋼板配置得互成直角,并用 65×8 公厘的角鋼相联。鋼板的宽度等于520公厘和628公厘。鋼板的一个側面焊于橫截面4上(由 $L 150 \times 18$ 制成),此橫截面与壳体的角柱(即由橫截面4构成)相重合。角隅柱墩的自由端側面用 65×8 公厘角鋼鑲成构架。沿底座全高角隅柱墩的橫截面保持不变。角隅柱墩的鋼板上用 35×4 公厘角鋼制成垂直的和水平的肋加强其刚度。

整个底座先用螺栓装配。装配后用高为 $h = 2-80$ 間隔100公厘的間断焊縫將角鋼焊于鋼板上,并将联接的节点周边环焊。为了不产生附加內应力和顧慮薄板发生翹曲,角鋼形加劲肋并不焊接。

整个模型在施力底板上进行装配。將壳体的三个区段依次架設在精密校准过并用特制承台加固的底座上,而后用螺栓把它們彼此联結起来。

只有在整个模型装配完成并經校准以后,方才进行窗間墙和过梁間以及模型各区段間連接节点的焊接。为了避免模型上薄壁构件的翹曲,所以决定了这样的施焊順序。

在每个节点的四角上用4~50公厘的間断焊缝进行窗間墙和过梁的焊接接合(见图3)。所有焊缝均以 $\varnothing 42$ 厚涂料焊条的电弧焊焊成。

模型构件的制造、装配、架設和焊接均极其精确地进行。每层312公厘的高度与設計尺寸的偏差不超过0.3公厘。模型在全高9900公厘內对鉛垂綫的总偏差,用經緯仪在两个方向內測定为4~5公厘。

在模型的頂部(截面0—0)、壳体全高的每个三分点处(截面4—4和10—10)以及壳体和底座的連接处(截面15—15),施加水平荷載以进行試驗。

为便于模型施加荷載,在同一个施力底板上距壳体中心2700公厘处架設一个高达10公尺的格构式塔架,其上有4个处于各个加載标高的平台(图5)。在这些平台上装有25吨或100吨的液压千斤頂,依靠連接在壳体橫隔板上的刚劲拉杆以及粗大的橫梁,便可使这些千斤頂各自单独地或是全部同时在模型上施加荷載(图6)。是在模型四个截面的每一截面上对模型施加一个力(由一个千斤頂加力),是基本的試驗;四个力同时对模型同时施加是校核性的試驗。由于模型体系的靜不定性,进行这样的加載必須保証所有的荷載始終保持均匀。

根据大体的計算,在模型过梁內由一个16吨的集中水平力所产生的弯曲应力达1600公斤/公分²。同时,假如該力作用于頂部,則窗間墙內的应力未超过600公斤/公分²。当16吨的力作用于任一中間层截面上时,过梁和窗間墙內的应力将更要小些。因此,在16吨的荷載作用下模型保持弹性状态。

在进行每一次的試驗时,荷載需經過三个阶段才提高到最大值,而加載时变形的讀数不从零而是从不大的荷載0.6~

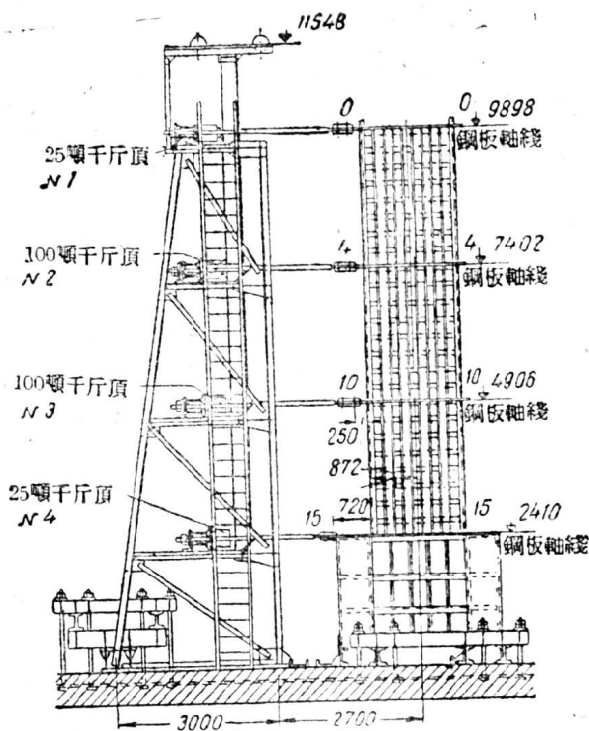


图 5 模型和施力塔架全图

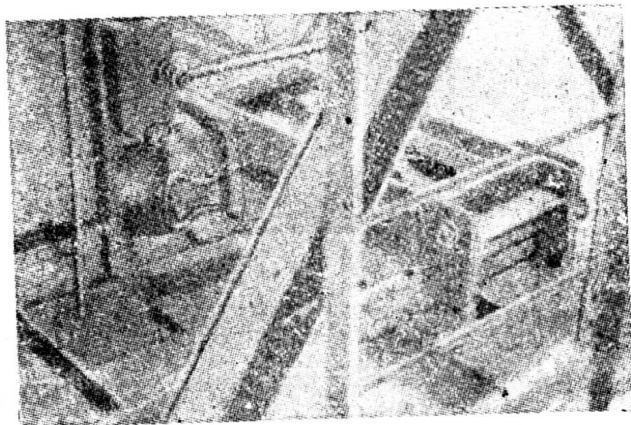


图 6 加荷設備(橫梁、拉杆和千斤頂)