

薄壳结构施工法

常永莪 譯 著

建筑工业出版社

PDG

薄壳结构



416064

常永莪 譯著

建筑工程出版社出版

• 1958 •

內 容 提 要

本书系阐述薄壳施工的主要方法，介绍有关薄壳施工现场的规划管理、技术操作和试验测定方面的知识。

本书主要内容第一篇“薄壳的施工方法”是介绍目前日本壳体结构的施工规程草案，第二篇“北京天文馆25公尺跨度薄壳圆顶的施工方法”是介绍 1956 年度北京天文馆的薄壳圆顶在民主德国施工专家库尼斯同志热情的指导下所采用的一些主要施工方法：如何利用起保温作用的木丝板代替混凝土的模板使用，如何掌握水泥枪作好喷射混凝土的工作等。

这些施工方法都是薄壳结构施工上比较成熟的方法，可供建筑工程技术人员参考。

薄 壳 结 构 施 工 法

常 永 我 譯 著

※

建筑工程出版社出版（北京市阜成门外大街）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第052号）

建筑工程出版社印刷二厂印刷·新华书店发行

书号 894 40千字 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张 1 $\frac{7}{8}$

1956年9月第1版

1956年9月第1次印刷

印数：1—2,960册

定价：(19) 0.23元

PDG

目 录

前 言	2
第一篇 薄壳的施工方法	
壳体结构施工规程草案	4
一、 緒 言	4
二、 壳体结构施工规程草案	7
总 則	8
1. 施工組織設計	9
2. 基礎工程	10
3. 模板工程	10
4. 鋼筋工程	23
5. 混凝土工程	26
6. 防水工程	39
7. 設備管路的处理	40
8. 試驗及測定	40
三、 結 束 語	40
第二篇 北京天文館25公尺跨度薄壳圓頂的施 工方法	42

前 言

鋼筋混凝土薄壳結構适用于大跨度屋頂，对節約鋼材与混凝土用量具有极大的經濟意义，为现代建筑中极有发展前途的新型結構。

鋼筋混凝土薄壳屋頂在1925年由苏联諾沃德沃尔斯基教授首先在巴庫地方应用，同年德国之德克荷夫卫德曼公司与蔡司公司亦建成一筒形薄壳，是为薄壳結構在建筑工程中应用的开始。三十年来，薄壳結構在設計計算理論与施工技术上已有甚大的发展，世界各个工业先进国家近年已多大量采用。苏联自1931年后曾在第聶泊制鋁联合工厂、克拉馬托尔工厂、西伯利亚金属制造厂、等处广泛采用筒形薄壳屋頂，近年更大量开始采用双曲壳頂，至1956年底苏联已建成 40×40 公尺之装配式組合壳頂，全重达570吨，利用四台带式提升机一次頂升至13.5公尺高度。最近更进一步設計了 100×100 公尺的同型壳型。东欧人民民主国家如民主德国、匈牙利、波兰、捷克等亦均于近年建筑了很多新型薄壳屋頂。其他資本主义国家如美国，英国及法国与墨西哥等对薄壳屋頂亦有甚多的建造。我国自1948年曾在常州試建薄壳倉庫一处、解放以后自1951年起始陸續在太原、上海、北京、天津等地建筑薄壳屋頂数处，至1956年后已有甚多的发展。目前我国已建成之壳頂例如1954—1955年之北京苏联展覽館工业館壳頂，波宽达32公尺；1956年北京天文館的天象館壳頂直径达25公尺，1957年北京清华大学学生飯厅双曲壳頂跨度达21公尺，天津大学第四飯厅壳頂跨度达25公尺，同年北京玻璃厂采用装配式壳頂跨度达15公尺。各地設計与建筑中的薄壳結構正如雨后春笋陸續出現。

与薄壳結構設計理論发展的同时，鋼筋混凝土薄壳結構之施

工技术水平亦有极大之发展，三十年来苏联及其他工业先进国家对薄壳结构施工中之模板制备支拆与混凝土浇注技术等均有深湛的研究。苏联在薄壳模板方面曾大量設計了各种装配式及移动式模板，对提高模板周轉率与降低成本具有极大意义；特別在采用移动式模板方面苏联自1947年即开始大量采用并于1951年由全苏标准設計与技术研究所(КТИС)制訂出移动式金属模板之标准設計，可以适应于不同的車間跨度及高度，使用极为有利。其他如美英等国亦均相繼于近年来大量采用移动式模板。另外，以苏联为首，在近年試建成功以模盘法制备装配式薄壳之施工方法，对节约模板与提高质量及减小壳頂厚度等更为有利，前述苏联最近建成 40×40 公尺壳頂即系采用此法，在混凝土浇注技术上，例如对如何保持壳頂曲面厚度及如何在壳頂上采用快硬性混凝土問題以及混凝土浇注过程中如何組織分段流水，与混凝土供应及施工縫位置等問題均为較复杂之技術問題，另外对在壳頂中如何采用噴射法施工，冬季施工以及采用預应力鋼筋等各国施工技術界亦均甚注意研究。

我国薄壳屋頂的建筑經驗尙少，仅在近一二年始逐渐发展，但极为迅速。施工水平亦日益提高，例如在完成的各地壳頂工程中，北京天象館壳頂即系采用噴射法施工，北京玻璃厂壳頂首先采用装配式薄壳，天津大学土木館壳頂則曾首次試用移动式模板成功，其他各地对壳頂施工之先进經驗亦正紛紛試成。相信在第二个五年計劃期間，我国在薄壳結構之設計及施工技術水平上亦必将有极大的跃进。

由于薄壳施工在我国技術界中尙較生疏，本书爰将日本最近对薄壳施工规范一篇譯出，并将北京天文館天象館壳頂工程施工方法进行簡要的介绍，目的在于这些資料可以在今后薄壳施工中提供參考。

第一篇 薄壳的施工方法

壳体結構施工規程草案

一、緒 言

近年来，壳体結構之所以在现代建筑中逐渐推广，是由于其跨度大而可获得較大的利用空間所致。这种新技术体现了建筑的巨大力量，阿尔卑士山的征服者說过：“因为有山我們就要登上去”，目前我們要創造新技术的山，并且要树立到达其頂峰的信念。我們对旧有的建筑施工方法是通晓的并有較多的經驗，而对特殊技术，則一般不够熟悉，在新技术的施工中又会碰着很多問題，我們切記勿因遭受几次失敗，就心灰意冷，向困难低头消沉下来，这对新技术的提高是莫大的障碍。當我們在新事物的面前失敗时，应吸取其經驗教訓，善于找出原因和检查执行方法，以逐步探求正确合理的方向。在此仅提出壳体結構的特点以及以往施工中存在的主要問題，供今后施工工作上的参考。对有效的利用曲面板的力学特点而进行壳体施工的有关問題，我們做了多次的理論分析及实践考查，目前國內(指日本——譯注)对壳体施工呈现着高潮，有的是正在进行，有的是在計劃进行。亮的外形一般以圓筒形为主，球形、圓錐形、截断的球形等特殊形状的也不少。壳体結構的特点与框架結構不同，其曲面的垂直荷重由曲面內应力来平衡，形成薄膜应力状态，因此曲面形状及支持物的制成是較重要的問題，能否通过曲面板結構本身并达到整体的均匀性 (*homogeneity*) 来滿足結構設計的意图、并对計算中的缺陷作到

糾正的程度，均有賴于施工工作。壳体結構在理論方面，以采用高次偏微分方程較复杂的数值計算法发展最快，最近除以弹性理論为基础外，在設計上考虑极限設計 (*limit design*) 的新問題已逐渐得到解决，因此施工新技术、新机械、新建筑材料亦将相应的提高。目前的設計和施工人員尚缺乏經驗，預想不到的障碍和困难将不断出現，这在新技术面前也是难免的事，通过实验求得問題的解决是关键所在，实际上，这方面的研究工作也正在发展，今暫以下列施工中应注意的中心問題提出研究。

壳体結構的决定因素，取决于其外形和支持方法，其曲面本身同时起着复盖作用，故在施工时必须注意下列各項：

(1) 严格地按照設計外形施工，壳体的厚度必須与設計相符合。

(2) 浇注混凝土时要求密实。

(3) 注意混凝土的收縮。

(4) 浇注混凝土及拆模时，必須对称的进行。

(5) 复筋的处理問題。

(6) 注意混凝土的持久变形。

(7) 对受拉杆件的处理。

去年利用建設部技术研究補助金，承蒙有关方面的协助，成立了以建設部营繕局为中心的“壳体結構施工方法研究委员会”，并对以往的施工进行了調查和反复研究，今应大家对施工技术的要求，特提出“壳体結構施工规程”草案。該规程草案是壳体結構在施工中的最低要求，故必須遵照执行。很多尚未规定的問題有待今后研究解决，因此本草案按暫行规定提出。本草案对新技术的发展毫无約束，对技术的墨守不是作者的意图，欢迎尽量采用新的施工方法。

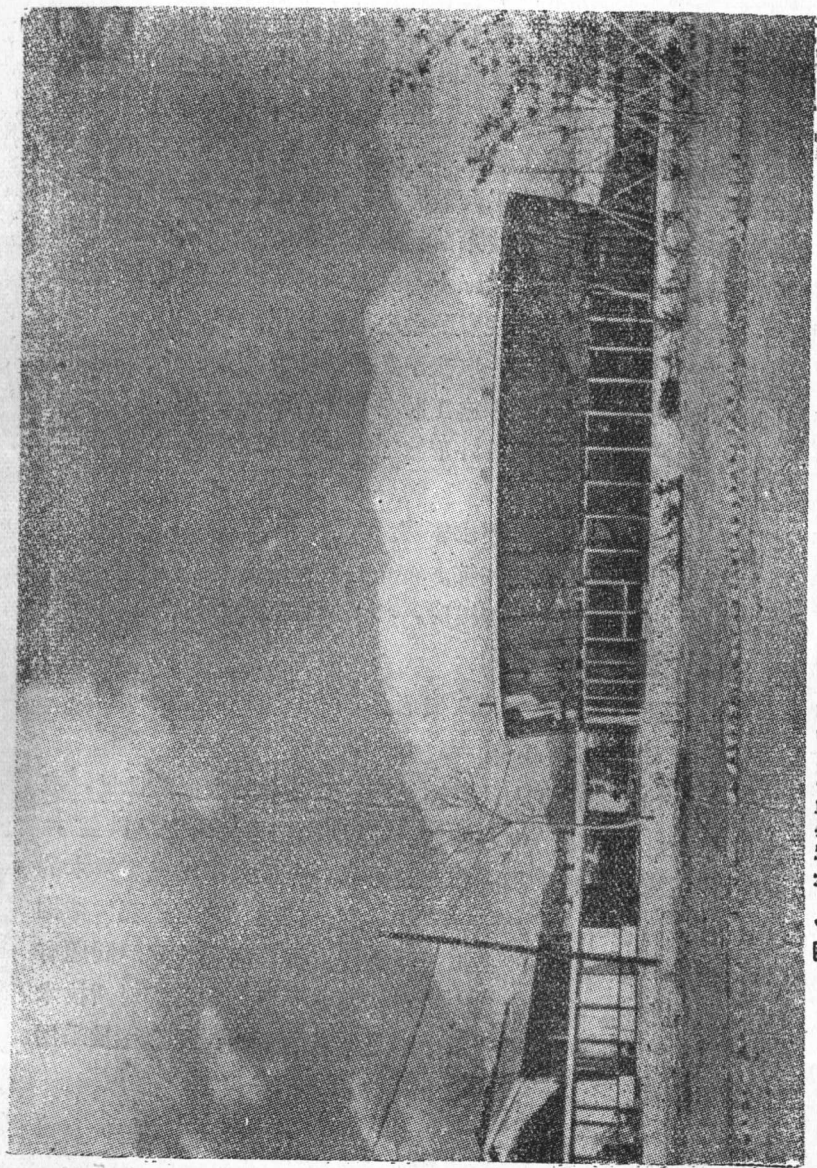


图 1- 外部半径为10公尺、中心半径1公尺、坡度1:3的圆锥形薄壳

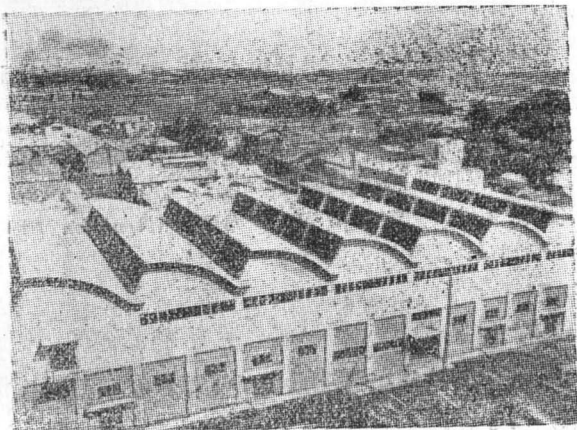


图 2 锯齿形长薄壳

(縱向長20.7公尺, 橫向長7.2公尺, 半徑為8.2公尺, 其中心角為 46°)

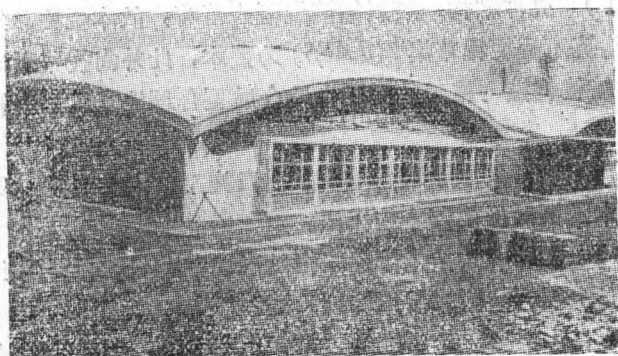


图 3 平面尺寸为 27×22.5 公尺, 曲率半徑為35公尺的截断球形薄壳
(它的連系梁支承在四角的立柱上)

二、壳体結構施工規程草案

S.S.S.壳体結構施工規程草案及說明

总 則

目的：本规程系根据壳体结构的特点，对薄壳工程作出合理的施工标准为目的。

用途：壳体结构适用于各种建筑，以下所指的壳体结构为采用曲面板作屋盖的一般建筑。

简称：本草案简称 *S.S.S.* (*Shell-construction Standard Specification*)。

总 則

目 的

为完成壳体结构施工这项工作，必须拟定施工规程，一般说来，对于经验不足或没有经验的工程技术人员，不论在何处，若能按本规程施工，则可顺利完成任务，本规程草案包括之内容如下：

(1) 壳体结构一般属钢筋混凝土范畴，故本规程草案原则上以“建筑工程规程草案”(JASS)为蓝本，此外尚搜集整理了有关壳体结构构造与施工的问题，为今后更合理地施工作一般性的规定。

(2) 在不局限于现行建筑设计及施工技术的规定，积极采用新技术的同时提出基本施工法。

(3) 随着有关技术理论研究的进展，随着新材料的出现，新施工方法经充分研究后应即列入规程。

有关壳体工程，除一般的应遵守 JASS 外，随着新材料的出现、理论的进展，今后如何尚难预料；此外移动模板、喷射法施工、预制混凝土、预应力混凝土等新施工方法，欧美资料已作广泛介绍，但国内对这方面的经验尚很缺乏，若以规范的性质肯定下来强求技术上的统一，则有碍于新施工技术的发展，因此，本规程是以施工中应注意的事项为主，对移动模板、喷射法施工、

預制混凝土及預应力混凝土等新施工方法不加論述，仅供一般构造施工参考。由于新材料、新机械的日益发展，不宜机械地按照本规程施工，而应积极的采用新的施工方法。

用 途

本规程为建筑用壳体結構施工的基本准则，原则上，它适用于任何建筑用的壳体結構，以下論述的系以曲面板为屋頂的壳体結構，它具有圓筒形薄壳、球形薄壳、圓錐形薄壳等各种外形。壳体結構是以曲面板本身作为承重結構，一般的承重結構則是由框架构成，于橫梁之間复盖曲面板，这两种結構往往不易識別，但施工中則有共同之处，因此，将上述两种情况均列为壳体結構的范畴。

簡 称

本规程按施工順序分类，包括有：施工組織設計、基础工程、模板工程、混凝土工程等，簡称S.S.S.。本规程包括建筑工程规程JASS以外有关的施工注意事項，本应与JASS合并，但本规程并非JASS的組成部分，故簡称S.S.S.，以便独立的去处理今后的有关問題。

1. 施工組織設計

当进行壳体工程的施工时，应对材料供应、架設模板、綁紮鋼筋、浇注混凝土、施工工序、施工进度、运输路綫、作业场地等，編制周密的組織設計并取得原設計人的同意。

壳体結構的关键在于作出与设计相符的曲面，并保证整体的均匀性。施工时为了提高曲面結構的准确度，应注意模板变形及立柱的拆除时间及拆除方法。为了保证結構的均匀性，应慎重地进行材料的选择保管、鋼筋的綁扎、以及混凝土的浇注等工作，例如，在支模前应設法防止立柱因浇注混凝土而可能产生的下沉，在浇注混凝土时，应按組織設計进行混凝土的攪拌及运送，尽

量地避免出现施工縫，同时必需按照編制的組織設計全面地組織模板的架設、鋼筋放样、材料及模板立柱的儲备等。上述各点亦适用于一般工程施工，由于曲面結構与一般的框架結構不同，因此对曲面結構更应遵守。

2. 基础工程

施工时，必須防止支承壳体結構的立柱及牆壁的基础产生不均匀的沉陷。

壳体結構一般是为获得較大的空間而被采用，因此立柱的荷重通常很大。由于立柱的不均匀沉陷就会引起曲面变形，发生意外的应力，而导致裂縫的产生，为了防止这种現象，应对地基認真地进行处理，如正确地进行打桩或充分夯实卵石垫层等工作。虽然根据JASS 4.9.2.关于卵石垫层的說明，卵石垫层是不适用于单层建筑，而只适用于两层以上的建筑。由于壳体結構的荷重是直接传给地基，因此地基必須进行調查，并按設計慎重的进行泥土檢驗，务使其底层不存有有机土才行。当地基处于松軟的情况时，必須采用其它方法进行施工。系梁是承受拉力的，在施工时必須注意鋼筋的錨碇和接头情况。当壳体位于地面以上的时候，应将混凝土地面与基础預先施工以便架設模板的立柱，否則，应采用其它方法防止立柱下沉。

3. 模板工程

3—1. 設置放样間

为了預制模板，鋼筋加工应先設置放样間，在施工期間提出統一的标准图。

3—2. 模板的制作

模板的曲面必須精確且无縫隙，并須考虑到拆模的方法。模板的型式及用料应取得設計人的同意。

3—3. 模板的架設与检查

架設壳体模板必須精確，在澆注混凝土等一系列工作時，亦不允許有移動及變形的現象發生，模板架設後，應全面地進行檢查，務使所構成的曲面與圖紙符合。

3—4. 模板的垂度

架設模板時，必須考慮模板的垂度，其大小取決於澆注混凝土時支承體系的變形，包括木龍骨、托梁、支柱相互間的擠壓變形、模板在荷重作用下的彈性變形以及木材干燥的收縮變形等，壳體的彈性變形另作考慮，確定模板垂度時，必須取得技術負責人的同意。

3—5. 模板的塗料

澆注混凝土前，模板上可使用塗料。

3—6. 模板的上層蓋板

壳体下部，由於坡度增大，可使用雙層模板，上層模板應設有澆注口及檢查口。

3—7. 支柱的種類

鋼管、方木、杉槁等都可作為支柱，但在同一平面上立支柱時不得同時採用不同材料的支柱。

3—8. 支柱的架設

原則上支柱應支承在混凝土地面或木地面上，並避免搭接。施工中應防止模板翹曲及橫向移動，並以水平拉桿或其他有效方法使其穩定。

3—9. 支柱及模板的拆除

拆除支柱及模板時須根據計劃逐步地並保持支點對稱進行拆除。

3—10. 模板的拆除時間

模板支柱宜同時拆除，拆除時間必須在28天以上，必要時可縮短到21天以上，但混凝土的抗壓強度，試驗後應達到28天以上的強度。上層模板不在此限。

3—11. 支柱的更換

拆模前支柱不得更換。

3—1. 放样間的设置

壳体結構一般是利用很薄的鋼筋混凝土所制成。为使曲面正确，鋼筋位置要恰当，必須根据放样后的标准图进行加工和架設。为了繪制标准图，开工前应設立放样間，在施工期間在放样間繪制大样以作为制做模板、鋼筋加工等工序的依据，因此它的位置应設置在不妨碍工程进行的地方，并且要使用不易变形的材料建成。为避免风雨吹洒和侵襲放样間地面，放样間应做好防风、防雨設備。为使工程进行不受雨天影响，放样間应設在現場附近的广场上，地面可鋪木地板、混凝土，或利用道路，其中以木地板、混凝土地面最为普通。地面必須平整，根据所調查的20个施工实例中，除用混凝土道路的6个外，其它14个均为木地板。其构造方法一般用 9×9 公分或 10.5×10.5 公分的方木作龙骨，間距1公尺上面鋪設15~21公厘杉木板，也可以敷設模板。

3—2. 模板的制作

制作薄壳的模板时，如何利用木板的平面拼成精确的曲面，并保証长期不发生变形现象是最主要的問題。模板用料可采用拼板，在曲率半径較大的位置使用填挡板。最近亦有采用鉄皮及弯曲胶合板者。在曲面上鋪設的鋪板必須光滑密实，板与板之間、挡与挡之間如有空隙，应以鉄皮封严，避免浇注混凝土时产生漏浆。当采用拼板时，其厚度应在5公分以上，当采用填挡板时，其形成的誤差可不予考虑，填挡板宽度应使曲面厚度的誤差小于

$\pm \frac{1}{20}$ 。茲例举圓筒形薄壳当采用填挡板时，其宽度的計算公式：

填挡板的宽 $2A$ ，圓弧半径 R ，直綫与圓弧在中点相差为 $\delta/2$ ，模板构成如图 $AB-BC\dots$ ， A 点、 M 点、 B 点誤差为 $\delta/2$ 。填挡板宽 AB 必須使所产生的誤差 $\delta/2$ ，小于厚度 t 的 $\frac{1}{20}$ 。令 AB 的内接

圓為 $A'B'$ ，則壳體內緣的圓弧曲綫 $A'M'B'$ 與直綫 $A'B'$ 之差約為 δ ，若 δ^2 略去不計，則

$$a^2 = 2R \cdot \delta。$$

將填擋板寬 $2a$ 及 $\delta = 1/10t$ 代入，即：

$$2a = 2\sqrt{2R \cdot \delta} = \sqrt{0.8 Rt}，$$

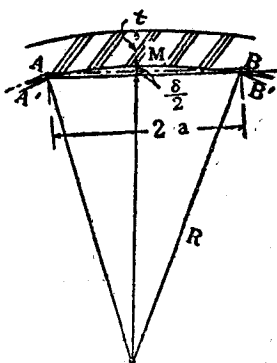
$$\text{則 } 2a \approx 0.9\sqrt{Rt}。$$

$$\textcircled{1} \quad R=6\text{公尺}、t=12\text{公分時}$$

$$\text{填擋板寬 } 2a = 0.9\sqrt{600 \times 12} \\ \approx 76 \text{ (公分)}。$$

$$\textcircled{2} \quad R=6\text{公尺}、t=9\text{公分時}$$

$$2a = 0.9\sqrt{600 \times 9} \approx 66 \text{ (公分)}。$$



① 的情形是填擋板的寬度在 2 尺 5 寸以下；② 的情形為填擋板的寬度在 2 尺 2 寸以下。用填擋板時，圖示的 $AB-BC-CD\cdots$ 必須按照小於厚度的 $1/20$ 的誤差進行配制，而不應以內接圓 $A'B'-A'C'\cdots$ 配制。圓筒形薄殼的調查的實例中，除個別採用拼板厚為 $15\sim 16.5$ 公厘的杉木板以外，一般多用 2 尺 $\times$ 6 尺（ 600×1800 ）的填擋板。填擋板多用杉木或松木，亦有用 3 分厚的膠合板。今後膠合板的使用將會更多，龍骨的标准尺寸為：

1 寸 5 分見方（ 4.5×4.5 公分），間距 1 尺 $\sim$ 1.2 尺（ $300 \sim 360$ 公分），此外亦可用 $21 \sim 30$ 公厘的厚板或膠合板，制成間距為 45 或 90 公分的曲綫狀構件，托梁的标准為 10×10 公分，以 $9.0 \times 9.0 \sim 10.5 \times 10.5$ 公分的杉木或檜松支承在支柱上，龍骨、模板用釘子或鐵件順次釘牢。托梁與龍骨合用時，通常是在 10×10 公分的方木上敷設模板。模板的架設方法有把托梁、龍骨支承於支柱設計高度上，支柱之間以木楔加固，然後根據大樣圖用經緯儀找出曲面外形的方法；有利用大樣圖在地面進行桁架組合，然後安裝到支柱上構成

立体的方法;有托梁沿曲面放置,而其本身是沿着軸綫方向,依据設計曲面預制成弯曲外形的方 法;有利用厚度拼成組合龙骨,組合托梁的方法;亦有在龙骨上敷設預制网,在网上涂抹砂浆以代模板,并兼內粉刷的方法;或用填土至壳形以代替模板的方法,以及壳体在地面預制后,再行装吊的施工方法等。为适应特殊的环境,施工負責人应根据具体情况,选择有效的施工方法。此外,对連續壳体可用一个移动模板反复使用,但此时模板单元不得小于一个单元壳体,壳体模板未架設完成时,不允許澆注混凝土。曲面构成后壳体才發揮其作用,在曲面尚未构成以前若将模板拆除,就会产生难以預料的应力,致使薄壳因强度不足而引起破坏,因此只在构成了单元壳体之后,才允許拆移模板。如在各种模板构造方案中,

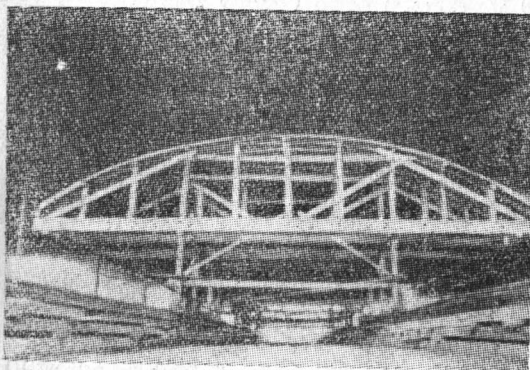


图 4 移动式模板拆除的情形

要选择实际施工的构造方案时,必須考虑到拆模方法,随着混凝土的硬化,模板易被粘住,使其自身亦呈荷重状态,造成拆模困难。为此宜預先拆除壳体四周的或壳頂的带状模板,拆模时就从該

部分开始,向两侧进行,因此要求对拆模方法应預先进行周密的考虑,模板构成的曲面必須精确,在澆注混凝土及其他工序的施工中,模板必須防止振动,或防止因曲面承受荷重而产生的变形移位。由于壳体結構的外形是首要問題,因此模板的构造及用料应事先仔細研究,并取得設計人的同意,同时,应使直接从事工作的工