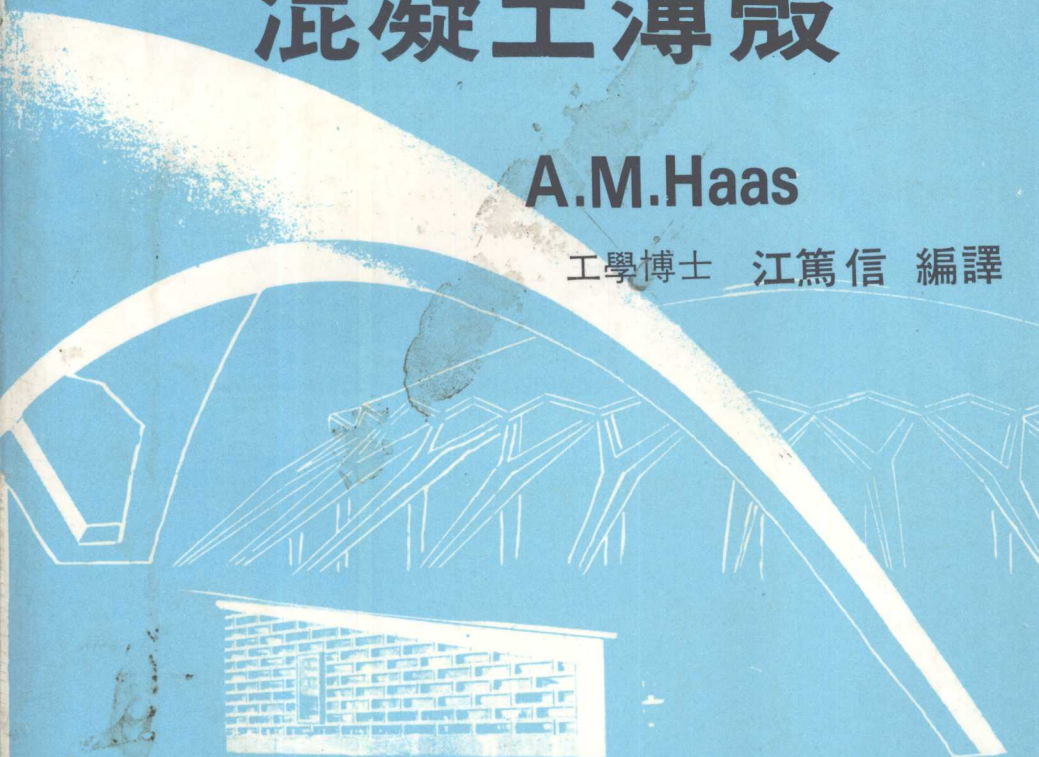


世界名著 土木工程

混凝土薄殼

A.M.Haas

工學博士 江篤信 編譯



THIN CONCRETE SHELLS

復文書局

土木工程

混凝土薄殼

THIN CONCRETE
SHELLS A.M. Haas

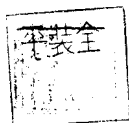
工學博士 江篤信 編譯

復文書局

土木工程 混凝土薄殼

著作權執照台內著字第 號

版權所有



翻印必究

中華民國六十九年九月初版發行

上册	元	全册平裝	120元
下册	元	全册精裝	元

著 者： A.M. Haas

編 譯 者： 工學博士 江 篤 信

發 行 者： 吳 主 和

發 行 所： 復 文 書 局

地址：臺南市東門路421巷28號

電話：(062)370003號

郵政劃撥帳戶32104號

No.28. LANE421 DONG-MEN
ROAD TAINAN TAIWAN REPUBLIC
OF CHINA
TEL:(062)370003

本書局經行政院新聞局核准登記發給
出版專業登記證局版台業字第0370號

序 文 一

寫本書時作者並未企圖提供一本完整的薄殼設計及分析的論著，作者倒是嘗試寫一本書，適於學生及實際工作的工程師們有足夠及實際的資料作為設計及建造混凝土薄殼結構的指南。

作者相信成功的薄殼設計，在於設計者對薄殼建築的發展需要有三方面的鑑識：設計觀念、結構分析及實際的建造。在知道與瞭解這三項概念很多問題與困難後，即可預測或避免。是故本書乃基於完整的探討薄殼結構為原則而編成數冊來討論。第一冊將研討正曲率指數之雙重曲線薄殼，特別是軸對稱殼的設計及分析。負曲率指數之雙重曲線薄殼將在第二冊分別討論。但是本書主題的區分並非固定，實地建造的工作將在第一冊更廣泛的討論，特殊的設計問題如撓曲的處理將在第二冊討論。

依作者在狄夫特工業大學從事本課程的教授及當他在 1957、1958 及 1961 年在美國講授薄殼設計時與學生及實地工程師的接觸，知道即使在研究生方面數學基礎亦亟待加強。因此作者瞭解薄殼設計論著的迫切需要。混凝土薄殼結構比較起來是較為新穎而且仍未充分發展的藝術。做為最創新的結構工程其實際的建造較科學的分析發展為快。雖然作者較願繼續從事近來的基本研究發展以及簡化分析，但由於薄殼結構所引起的廣泛興趣，作者認為綜合敘述現階段的發展實不能再拖延，作者僅限自己基於彈性力學及線性理論來從事此初步的介紹。

本書的材料乃作者在狄夫特的薄殼設計講義，當作者被美國德州大學的 Phil M. 費格遜教授邀請對研究生講授此課程時曾加強此書的計劃，因此作者感激費格遜教授的鼓勵。密蘇里大學的阿德里安·包教授當他任狄夫特的傅爾布萊特講座時，協助翻譯作者的原始講義，作者非常感激包教授的協助及合作，不斷的修正、安排教材及訂定手稿。在此作者亦感謝狄夫特大學的包馬教授，他同意閱讀全部手稿並給予很有價值的修改及評論。

他的助教 Th. 莫尼爾先生對手稿的準備幫助很大， J. L 普魯格先生準備本書的圖， G. M. 威恩小姐將手稿打字，作者僅致莫大謝忱。

狄夫特 1962 年 1 月 15 日
A. M. 哈斯

序 文 二

在介紹第一冊時曾聲明這本叢書的第一冊將討論正曲率指數的雙重曲線薄殼設計與分析，而負曲率指數的薄殼將在第二冊中討論，雖然這種固定的幾何分類法，用以分別主題顯然無法完全概括。唯本冊仍照前述宗旨討論負曲率指數的薄殼。

爲提供漸進的介紹主題，第一冊由旋轉殼開始討論，第二冊則由淺殼的薄膜理論開始，隨後有一章討論彎曲理論及非延伸變形，再後有二章討論橢圓拋物面殼及旋轉拋物面殼。撓曲問題的特殊設計包括三個實例亦將討論。到目前爲止，對雙曲拋物面殼的普通彎曲理論仍無簡易解法。但是若僅限常用的幾何形狀如球形殼及平移殼，則只要有充分的知識即足夠指導設計者。因此彎曲理論這一章，作者集中討論這類薄殼，最後作者將介紹狄夫特大學史蒂芬實驗室及同在狄夫特的荷蘭工技研究院土木工程研究所的報告及出版物。這兩機構在這方面的研究結果亦將引用。爲了易於充實這方面的知識，必須的數學基礎亦將提供以說明解題步驟，使讀者易於瞭解。

作者深信成功的薄殼設計及建造，必有三方面的知識：設計概念、結構分析及實際構造。因此在各種幾何形狀的不同章節裏，都有一部份討論設計概念及構造特性。

寫這兩冊的間隔時間較預期爲長，而且若非作者被邀在巴得的科羅拉多大學暑期班講學的話，可能更長。在此研究所講學給我完成原稿的動力，爲此以及所予的鼓勵，作者向詹姆士·泰恩教授致親切的謝意。

最早本希望與早期合作的亞得里安·包教授再次繼續合作，可惜無法如願。不過很幸運的 G. 哈潑博士來狄夫特大學做國科會超博士研究學者，並且願意從事原稿的編輯工作，他的協助與建議，提供最後定稿最重要的發展，爲此作者深爲感謝。

作者也感激狄夫特大學的 A. L. 包馬教授，他讀了全部原稿

並且對修正提供很有價值的意見。作者也感謝他的助教 P. 史都爾芬先生，他幫助整理原稿；及 E.W. 楊遜小姐她繕寫及打字。最後作者要感謝他的妻子的鼓勵與瞭解，她所貢獻於此書的實在無法可以言喻的。

狄夫特，1966 年 9 月
A.M. 哈斯

PROF. DR. IR. A. M. HAAS

'S-GRAVENHAGE.
"DUINWIJCK" FLAT No. 401
VAN ALKEMADELAAN 350
TEL. 070-280391.

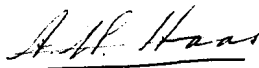
PREFACE

During my visit to Taiwan and at the lectures given at the Feng Chia College of Engineering at Taichung Interest and enthusiasm were shown for the subject of shells. Already then, in 1971, the thought took shape to have a textbook on the subject in the Chinese language.

In the course of the years this idea has been encouraged by colleagues and in particular by those who studied in the Netherlands.

Dr. D.H. Jiang who after his study at Delft International Courses, got his degree at leuven University, Belgium, has translated my book on shells.

With this my wish to spread adequate and applied knowledge on shell structures could once more be realised. During the many years of study we became friends and I know how much time and willingness he devoted to the tedious work of presenting my book in Chinese characters. Thanks I owe to Dr. Jiang and also to his wife for what he has accomplished.



Prof. Dr. Ir. A.M. Haas

Emeritus Professor Delft University
of Technology, the Netherlands

Honorary President of the International
Association for Shells and Spatial
Structures

譯 者 序

民國五十八年我很幸運地獲得荷蘭戴富德工業大學國際水工學院 (IHE, Delft Technological University, The Netherlands) 的獎學金到該校進修得以拜列哈斯教授 (Prof. dr. ir. A.M. Haas) 門牆，他當時身兼國際薄殼學會 (International Association of Shell Structures) 主席，及戴富德工大土木工程學院院長，承他的青睞欲收我為博士研究生，無奈他將屆退休年齡，按規定不得收學生。故將我轉託到比利時魯汶大學 (Katholieke Universiteit Leuven, Belgium) 的范拉登教授 (Prof. dr. ir. M. Van Laethem) 門下，他本人仍任協理指導教授。留歐期間，承兩位恩師熱心指導，吸收不少新知。畢業後他們一本經常繼續提拔指點，這種亦師亦友的指導方式，使人親切的獲益更多。

哈斯教授熱愛中華文化，他們一家都是素食者，故雖年邁，而仍然如中年人，曾來我國訪問並在逢甲工商學院講演並會見我國建築與工程界人士，他的一位外孫也因受此薰陶而進入荷蘭萊頓大學 (Leiden University, The Netherlands) 漢學研究中心專攻漢學，目前他雖然由教職退休，曾在任內將國際薄殼學會擴大為國際薄殼與空間結構學會 (International Association of Shell and Spatial Structures) 現任該會榮譽主席，並被選為荷蘭皇家騎士，此外仍做許多特殊土木工程的顧問，可說退而不休為工程界效力，這也與我國人老而彌堅的精神一樣。

哈斯教授著有混凝土薄殼設計 (Thin Concrete Shells) 上下兩冊，為當代權威之作，已被譯成英、德西等各種文字，他很希望能譯成中文以推展薄殼結構於我國。因此，我公餘之暇，就勉力試譯，如今即將付梓，呈獻於國人之前。心中感到非常惶恐，因為翻譯的信達雅三原則，由於個人文學修養不夠，恐難達

願，而致恩師巨著失色，只好祈求讀者指正。若有疵漏實乃我個人之誤。若有助於讀者，乃是恩師對國人的期望。

在譯作中我們將上下二冊爲一鉅著，編排章節亦因此連貫下去，希望能更適合國人閱讀。

在翻譯期間，曾利用魯汶大學及逢甲大學的設備及時間，楊重茂教授的協助，謹在此致萬分謝意。

江篤信謹誌

1980年6月9日台中逢甲大學

目 錄

序文一

序文二

原作者中文版序文

譯者序

第一章 薄膜理論

- 一、簡介 1
- 二、曲面的戈大濟—高斯規範 4
- 三、設計要件 14

第二章 薄膜分析—軸對稱殼

- 一、簡介 15
- 二、極座標 16
- 三、膜應力—通解 17
- 四、軸對稱力 21
- 五、均佈應力之膜 23
- 六、自由體平衡 24
- 七、膜應力之非連續性—反曲點 24

第三章 軸對稱之膜應力

- 一、球形穹 27
- 二、橢圓形穹 31
- 三、壓力筒槽 41
- 四、邊載重—燈籠殼 44
- 五、錐形殼 47
- 六、截角錐形水槽 50
- 七、錐行殼之簡化解法 51
- 八、圖解法 56

第四章 不對稱荷重及不連續邊載重

- 一、膜應力之通解法 59

二、三角級數之展開	62
三、風力	65
四、邊載重	69
五、不連續支撐之殼	71
六、施預力之殼	79
第五章 次應力	
一、支撐	80
二、薄膜理論與彎曲理論之關係	81
三、殼邊之境界條件	81
四、幾何要件	82
五、邊界應力解法	87
六、邊樑之諧和方程式	98
七、例解	99
第六章 建造	
一、簡介	105
二、配筋	105
三、殼厚	107
四、模板	109
五、混凝土之澆築	110
六、特殊建造技術	113
(a) 預鑄法	114
(b) 真空處理	117
(c) 水泥砂漿 (或混凝土) 之壓力噴灌法	119
(d) 布倫費德方法	122
第七章 簡介、規範、分類	
一、主半徑	127
二、閔尼爾定理	129
第八章 薄膜分析	
一、單葉雙曲面體	133
第九章 普遍薄膜理論	145

第十章 雙曲拋物面體

一、直交座標之等邊雙曲拋物面	162
二、斜邊雙曲拋物面殼	170
三、設計	172
四、設計要點	189

第十一章 橢圓拋物面體

一、數解例	202
二、設計要點	202
三、近似解法	205

第十二章 旋轉拋物面體

一、設計要點	213
--------	-----

第十三章 劈錐曲面

一、簡介	217
二、應用應力函數之解	220
三、境界條件	222
四、應用特性式之解	227
五、數解例	233
六、簡化計算法	243
七、設計要點	244
八、設計與建造	245

第十四章 彎 曲

一、簡介	248
二、平移拋物面殼之分析	249
三、等邊雙曲拋物面	259
四、境界條件	266
五、設計要點	278
六、結論補註	283
七、數解例	284
八、邊界干擾規範	287
九、基本方法	292

105.28 十、劈錐曲面	293
---------------------	-----

XOT第十五章 非延伸變形

一、簡介	302
二、幾何要件	303
三、基本條件	306
四、圓筒殼	307
五、圓穹殼	310
六、平移拋物面殼	311
七、結論	313

第十六章 撓曲

一、簡介	315
二、平版之撓曲	320
三、圓筒殼之撓曲	321
四、圓穹殼之撓曲	328
五、雙垂曲線殼之撓曲	331
六、既成薄殼結構之數解例	333

附 錄

圖 I 兩次曲面	329
表 II 橢圓拋物面之不同承重量 (近似法)	340
表 III 雙曲拋物面之不同承重量 (近似法)	341
表 A 薄膜部份之近似值	342
表 B 非延伸部份之近似值	343
表 C 邊界干擾部份之近似值	344

人名索引	345
------------	-----

主題索引	346
------------	-----

第一章 薄膜理論

一、簡 介

任何結構材料皆可應用於多種不同的結構型式。一般而言，結構物的作用乃將力由某點傳到其他地方。通常使用結構元件或組件將外力傳到支點，此即外力平衡系統（作用力及反作用力）。

作用力可採用軸應力元件如纜索、桿件或柱；亦可經由抗彎元件如樑等來傳遞，以替代三度空間的概念，將結構元件視為直線或曲線而已。這類元件必需有某些厚度而造成一個斷面以抗拒正交力與切力以及彎矩與扭矩。

另有一種結構元件的型態無法以上述方法區分，這類元件覆蓋一個空間形成該空間之外殼例如水庫之牆、飛行結構物。金屬外殼或汽球皆屬這類型式。這類結構無法概括以線條來決定，必需分別成為平面或曲面。這類元件的應力分析必需考慮其由剛性材料所製成之外體可以傳遞作用而改變形態。其結構元件理論的演繹必須區別為兩種形式：平面又稱為版及曲面亦稱殼。

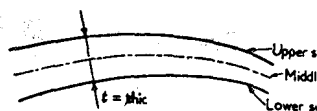
殼因此乃是形成一曲面而覆蓋一空間的構材。這個定義也表示其殼厚與曲率或者面積的比很小。這並不是說要特別薄；也不表示殼要用彈性材料做。為考慮與實際情況以及多數的使用，其為厚是介於 $1/1000 \geq t/r \geq 1/50$ 之間。這類的區別可包括混凝土或鐵殼及肥皂泡。甚至流體的表面也可視為薄殼，因其表面張力要平衡之故。

薄殼幾乎不變的是界於兩曲面之間，稱為上曲面與下曲面。殼厚可以均勻亦可以變化。殼之中性面是介於上、下兩曲面的中間之面。殼因此可單以中間面及面上各點的厚度表示（圖一）。這與樑之軸上各點斷面的定義相似。

但上述定義並不包含各種不同形式的薄殼，例如浪形涵洞其

2 混凝土薄殼

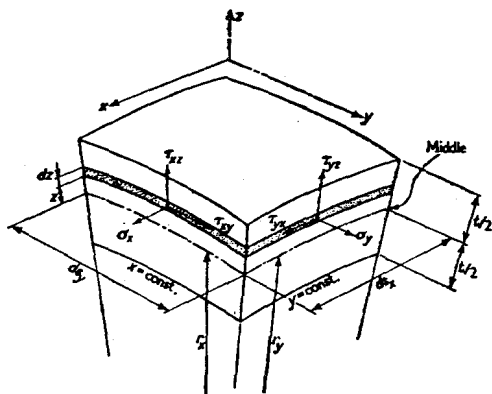
中性面亦可如圖二所示再以薄殼原理分析。由於浪形，其中間面即座落於平面直徑圓面上而殼材即在此圓周上反覆



圖二 浪形殼

其曲面。再者由於紡織品製成之降落傘係由交叉網線構成亦可視為薄殼。

殼之座標系統要選擇能定出殼體之力與應力。若選用直角座標與中性面做為座標系統（通常多假定中間面代表薄殼）則殼上各點之 X —與 Y —座標將成直交性。若依圖三殼元件的分離體 ds_x 乘 ds_y 而言，其中性面向 X —及 Y —軸延伸，其切面垂直於中性面。此分離體之邊長依 X —及 Y —軸各別為 ds_x 及 ds_y ，其橫斷面僅有少許變化，此變化在數學上為二階值通常可以省略。



圖三 作用於殼元體的應力

直交力與切力將被考慮，圖三即表示各直交力與切力分別代表 X —與 Y —軸為常數的面上之力；以下列符號來代替： $\sigma_x, \tau_{xy}, \tau_{xx}$ 及 $\sigma_y, \tau_{yx}, \tau_{yy}$ 。依平衡原理很明確的可知 $\tau_{xy} = \tau_{yx}$ 。通常假定單位應力 σ 及 τ 係均佈在斷面上。在作用於 $y = \text{常數}$ 斷面的直交總合力為 $\sigma_y t ds_x$ 可以寫成 $N_y ds_x = \sigma_y t ds_x$ 。 $N_y = \sigma_y t$ 表示斷面單位寬的膜力。此單位力將被視為正交力以殼之單位寬或長所作用之力來表示。其他單位力亦以類似方式表示。故在

$x = \text{常數}$ 的斷面則為：

$$N_x = \sigma_x t$$

$$N_{xy} = \tau_{xy} t$$

$$Q_x = \tau_{xx} t$$

在 $y = \text{常數}$ 的斷面則為：

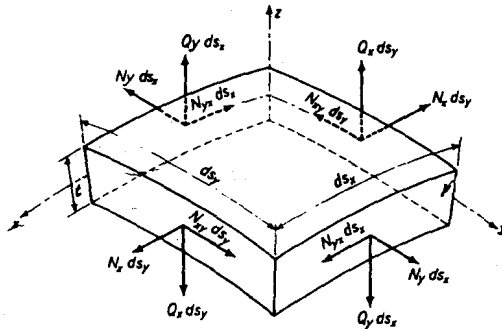
$$N_y = \sigma_y t$$

$$N_{yx} = \tau_{yx} t$$

$$Q_y = \tau_{yy} t$$

以上則如圖四所示：

有兩種基本型態的改變而導致強度敏感的改變的薄殼必須予以區別。例如紙筒或薄金屬殼，極小的



圖四 殼元體的總作用力

外力會招致大變形。這類殼的抗力係彎曲力矩。若有更複雜的外力作用時彎矩與扭矩就必須同時考慮。另一類的薄殼中蛋殼或灯泡，其材料易碎裂。但這類殼能承受大量外力而不碎裂或發生過大的變形，由於其變形小故可假定彎曲與扭矩皆很小。由實際情形推斷這類殼在結構觀點而言更受重視而採用在各種不同的設計上。這類殼的外力起初僅由直交與切應力傳送。由這個簡單的力學概念演繹成薄膜理論。

若考慮力矩對 Z —軸的平衡。唯一的力矩是由單切力 N_{xy} 及 N_{yx} 所造成。 $N_{xy} ds_y$ 力偶有 ds_x 的力臂必須由 $N_{yx} dx$ 來平衡而造成 $N_{yx} ds_x ds_y$ 的合力矩，由於均等故：