

薄壳基础工程

《薄壳基础工程》编写组

科学出版社

薄壳基础工程

《薄壳基础工程》编写组



科学出版社

1978

内 容 简 介

本书对钢筋混凝土薄壳基础新技术作了概要的介绍,其中包括常用壳基础的设计、选型、构造、施工工艺、实用计算方法(例如材料力学方法、薄膜理论及有矩理论等)和试验研究等内容。书中附有实用计算图表及工程设计实例。内容编排力求简单、明瞭、实用。

本书主要供建筑设计、施工人员使用,同时也可供有关教学和科研工作者参考。

薄壳基础工程

《薄壳基础工程》编写组

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1975年12月第一版 开本:850×1168 1/32

1978年12月第二次印刷 印张:12 1/8 插页:3

印数:18,951—38,250 字数:318,000

统一书号:15031·109

本社书号:564·15-1

定价: 1.40 元

序

在伟大领袖毛主席关于“在生产斗争和科学实验范围内,人类总是不断发展的,自然界也总是不断发展的,永远不会停止在一个水平上.因此,人类总得不断地总结经验,有所发现,有所发明,有所创造,有所前进”的光辉思想指引下,我国基本建设战线上的施工、设计、科研和生产单位的广大工人、工程技术人员和革命干部高举“鞍钢宪法”光辉旗帜,大搞技术革新,在某些工业构筑物和工业建筑的基础工程中,成功地采用了薄壳基础新技术,开始改变多年来惯用的实心大块基础的落后面貌.

薄壳基础是一种空心薄壁基础.由于薄壳结构具有“空间工作”的特点,可用较少的材料,较薄的厚度使结构具有较大的刚度和强度,可以承受较大的荷载.它与惯用的大块基础相比,具有节约材料、降低造价和加快建设速度等优点.工程实践证明,采用薄壳基础代替实心大块基础可节约混凝土约30—50%,节约钢筋约10—20%,对于大型构筑物及独立设备基础,其经济指标就更好.由于土方量及混凝土量的减少,劳动力及施工时间也都相应有所减少.

本书是在过去几年来的工程实践和大量现场实物试验基础上,对这一新技术作概要的总结,其目的是为了在我国基本建设工程中进一步推广应用这一新技术.

由于薄壳基础在我国的应用只有几年的历史,长期实物观测和理论研究工作进行得还不多,还有些问题有待今后进一步研究与解决.限于水平,书中难免存在缺点和错误,欢迎读者批评指正.

参加本书编写工作的有:冶金工业部建筑研究院王铁梦、杜肇民,鞍山焦化耐火设计研究院赵锡正,鞍山矿山设计院祁伟民,包头钢铁设计院宋金墀、李克勤和武汉钢铁设计院张秉林等同志.

目 录

序	i
绪论	1
1. 薄壳基础的基本概念	1
2. 常用的薄壳基础形式	2
3. 几种典型薄壳基础的受力状况	2
4. 薄壳基础的研究与发展	8
圆形底旋转壳主要符号表	14

设计施工

第一章 薄壳基础设计的一般原则	19
1-1 薄壳基础的形式及其选择	19
1-2 薄壳基础的设计计算原则	24
1-3 薄壳基础设计的几个一般性问题	27
1-4 壳体内力影响因素及其修正系数的确定	32
第二章 正圆锥形薄壳基础	36
2-1 正圆锥形薄壳基础的一般构造	36
2-2 正圆锥形薄壳基础的破坏特征	42
2-3 正圆锥形薄壳基础的主要内力	44
2-4 正圆锥形薄壳基础的强度计算	46
2-5 正圆锥形薄壳基础的计算实例	49
2-6 倒圆锥形薄壳基础的设计	52
第三章 M 型薄壳基础	56
3-1 M 型薄壳基础的设计	56
3-2 预应力薄壳基础	67
3-3 烟囱 M 型薄壳基础计算实例	72
第四章 倒球形薄壳基础	77

4-1 倒球形薄壳基础的形式	77
4-2 地基反力分布规律	78
4-3 倒球形薄壳基础的构造	78
4-4 倒球形薄壳基础的设计计算	82
4-5 贮仓倒球壳基础计算实例	100
第五章 大边梁锥壳基础	105
5-1 大边梁锥壳基础的地基反力	107
5-2 锥壳基础与边梁的受力变形	111
5-3 锥壳在边界干扰下的附加内力	119
5-4 大边梁锥壳基础的设计	121
5-5 中型高炉“M”形锥壳基础计算实例	125
第六章 椭圆锥壳基础	142
6-1 地基反力分布规律	143
6-2 两种锥壳基础的仿射关系	144
6-3 椭圆锥壳基础的内力关系式	146
6-4 椭圆锥壳基础的设计	149
6-5 厂房柱椭圆锥壳基础计算实例	152
第七章 薄壳基础的施工	161
7-1 旋转壳基础的施工	161
7-2 椭圆锥壳基础的施工	163
7-3 预应力薄壳基础的施工	166
7-4 大型薄壳基础的施工	176

旋转壳基础的内力

第八章 概述	181
8-1 壳基础及其单体型式	182
8-2 壳基理论的基本假定	184
8-3 旋转壳的几何量	185
8-4 薄壳基础内力	187
第九章 材料力学方法	191
9-1 壳体内力一般公式	191
9-2 轴对称荷载 N 作用下壳体内力	193

9-3 反对称荷载(弯矩 M) 作用下壳体内力	196
第十章 薄膜理论	206
10-1 旋转壳的微分方程	206
10-2 圆锥壳基础	212
10-3 球壳基础	219
10-4 筒壳基础	225
10-5 旋转壳基础变形	227
10-6 球壳变形	237
10-7 锥壳变形	239
10-8 筒壳变形	242
第十一章 有矩理论	244
11-1 一般微分方程	244
11-2 轴对称荷载下的微分方程	257
11-3 球壳基础	263
11-4 锥壳基础	270
11-5 筒壳基础	275
11-6 环梁	282
11-7 公式的近似性	285
11-8 壳基础的计算原则	288
第十二章 组合壳边缘效应近似算法——弯矩分配法的探讨	298
12-1 方法的基本概念	298
12-2 圆柱壳有矩理论近似解表达式	300
12-3 弹性特征	303
12-4 壳体边缘刚度	306
12-5 边缘效应弯矩分配法计算步骤	311
12-6 旋转壳薄膜内力的修正	314
12-7 试算例题	315
12-8 例题试算小结与分析	339

试验研究分析

第十三章 薄壳基础地基反力的分布规律	342
---------------------------	-----

13-1 薄壳基础地基反力的分布概况	342
13-2 影响地基反力分布的因素	345
13-3 薄壳基础地基反力实测资料	349
第十四章 薄壳基础的内力分布及安全度	358
14-1 薄壳基础应力的分布规律	358
14-2 薄壳基础应力分布实测资料	361
14-3 薄壳基础的安全度	366
第十五章 薄壳基础的沉降及倾斜	371
15-1 影响沉降 (s) 及倾斜 (k) 的主要因素	371
15-2 锥壳沉降、倾斜的计算	374
参考资料	376

绪 论

1. 薄壳基础的基本概念

大家知道,一页薄纸经不起微风吹动,很容易产生弯曲变形,但是,如果将一页平面薄纸弯成筒形、波浪形或喇叭口形(锥形),则它就具有一定的刚度和抵抗外力作用的能力.一块鸡蛋皮经不起很小的外力作用而容易破碎,但要用手握碎一个完整的鸡蛋则须费相当的气力.自然界许多植物及动物外壳的造型,提供了利用较少的材料制成具有较大刚度和强度结构的具体实例.近代空间薄壁结构力学的研究,已从理论上说明薄壳结构受力状态的优越性.薄壳的受力特点是弯矩较小,主要承受较为均匀的拉压内力,习惯称之为“薄膜内力”.这种内力是通过材料的直接拉伸或压缩传递的,而不是通过截面的弯曲传递的,因此材料的强度能得到较为充分的发挥,这种内力亦常称之为“直接内力”.薄壳结构的刚度(即抵抗变形的能力)比平板的刚度大数十倍以上,其刚度主要呈现为空间刚度.

薄壳结构在工业与民用建筑屋盖结构、容器结构、拱坝、水轮机蜗壳、航空及造船结构中都有广泛的应用.

我国近年来将薄壳结构应用于地下各种基础工程获得显著成效.

地下基础(以后简称基础)的任务是把建筑物上部荷载传至地基上.任何地基都有一定承载力,基础对地基的压力如果超过地基的承载力,建筑物就要产生很大的沉降或引起地基的破坏(基础下部土壤滑动挤出).因此,基础的设计,首先应考虑地基承载力及沉降要求而具有足够的底面面积.此外,基础本身还必须保证有足够的强度和刚度以满足建筑物的使用要求.

多年来,各种建筑物的基础常做成实体大块式、厚板式、梁式

等结构形式。这种形式结构在外荷载和地基反压力作用下主要产生弯曲内力,其破坏形式主要是弯曲破坏或冲切破坏。材料强度得不到充分的发挥。

采用空间薄壁结构代替沿用的大块式基础,使结构从主要受弯内力的状态转为主要受薄膜内力的状态,这就可以大量节约材料。

实践证明,地下工程采用薄壳结构比地上结构有更加有利的条件,例如可以充分利用土胎为模,从而解决了薄壳的模板问题。

过去常被挖掉的土胎,现在在薄壳内部与壳体组成一种“夹心”结构,共同工作,这对于基础的稳定性、抵抗水平力、滑动和抵抗沉降的性能都有好处。到目前为止,对软土地基上薄壳基础的沉降观测结果初步分析表明,薄壳基础的沉降及倾斜均很小,过去某些必须打桩的构筑物,采用了薄壳基础后避免了打桩,降低了造价,加快了建设速度。

由于薄壳基础同土壤的接触面较平面大,壳面弹性较好以及土胎的共同工作等因素使得薄壳基础还具有减振的性能,这方面还刚刚开始探索研究。

目前,在某些工程中薄壳基础代替惯用大块基础的应用可见示意图(图 0-1)。

2. 常用的薄壳基础形式

可以供基础工程应用的薄壳形式很多,但是既满足受力性能良好,又便于施工的薄壳形式主要有旋转壳,如正、倒锥壳,倒球壳,“M”型组合壳,空腔壳,环形壳等;还有非旋转壳,如椭圆壳,长圆壳,平置筒壳(相对水平轴则为旋转壳)及折板等。各种壳形见示意图(图 0-2)。

3. 几种典型薄壳基础的受力状况

1) 正锥形薄壳基础

在我国应用较广的是正圆锥形薄壳基础。如图 0-3 所示的正锥壳(一般都是截锥形),外荷载通过截锥顶部传下,在壳壁下表面产生地基反压力,平衡上部荷载。沿壳面径向呈现压力,环向呈现

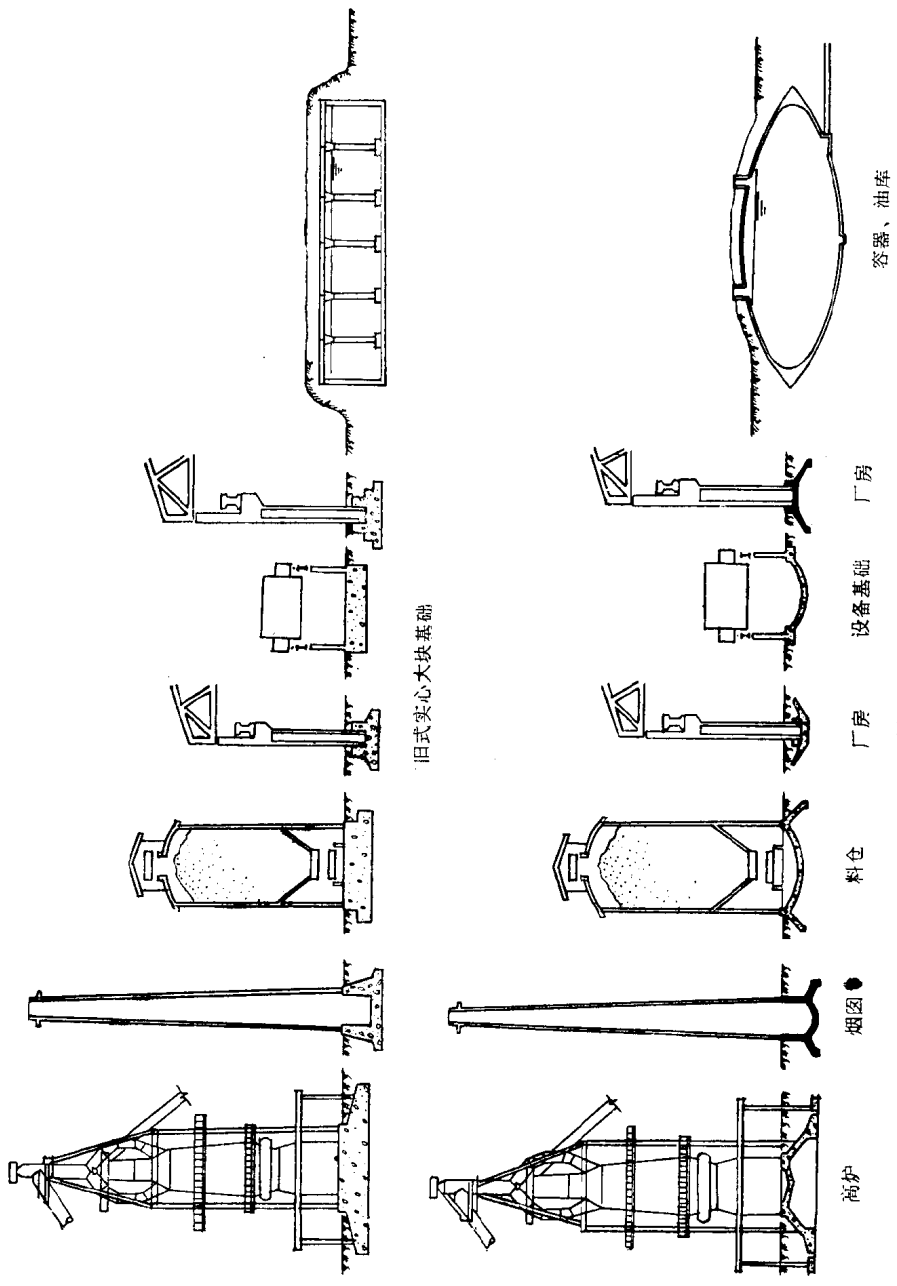
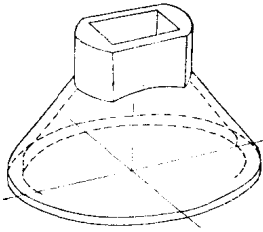
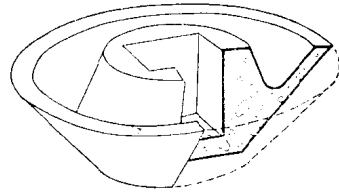


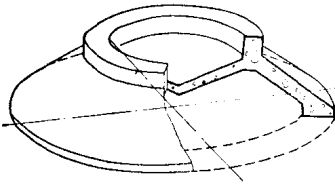
图 0-1 新旧基础对比示意图



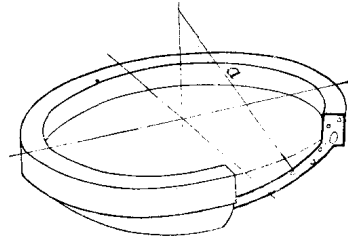
(a) 正圆锥壳



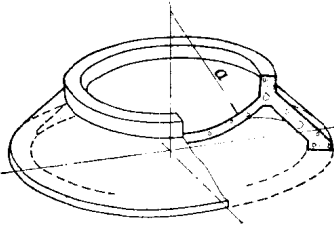
(b) 倒圆锥壳



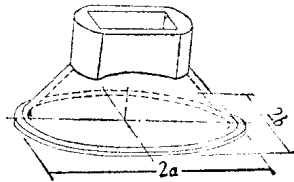
(c) 内外锥M型组合壳



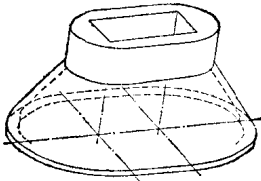
(d) 倒球壳



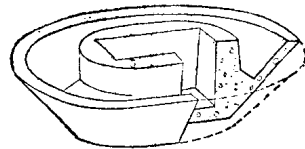
(e) 内球外锥组合壳



(f) 椭圆锥壳

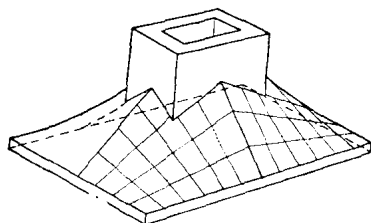


(g) 正长圆锥壳

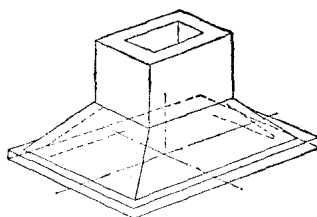


(h) 倒长圆锥壳

图 0-2 常用薄



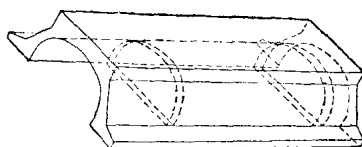
(i) 双曲抛物面扭壳



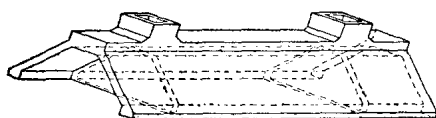
(j) 矩形折板壳



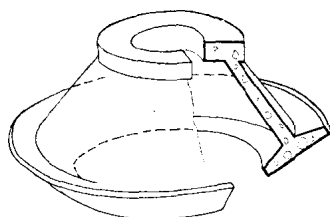
(k) 倒筒壳



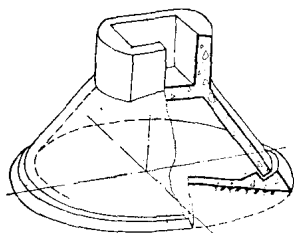
(l) 正筒壳



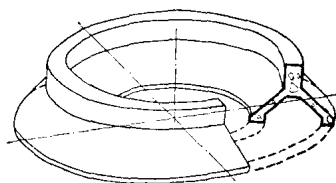
(m) 连续式折板壳



(n) 圆锥形空腔壳



(o) 装配式有底板空腔壳



(p) 环形壳

壳基础形式

拉力。径向压力在上部最大，逐渐向下减少。环向拉力在上部较小，向下逐渐增大，至下部边缘达最大值，此处常设置边梁以资加强。壳体内力都以壳壁单位宽度上的作用力为内力度量标准。试验壳体的裂纹规律如图 0-3 下图所示，与理论计算基本相符。

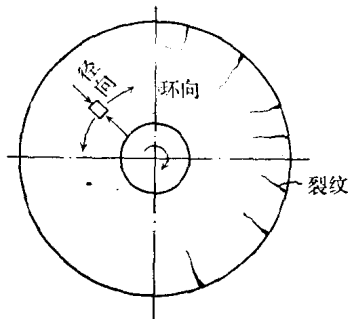
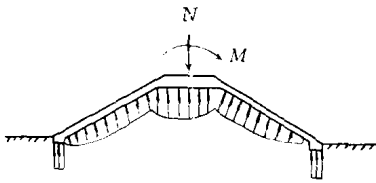


图 0-3

2) 倒锥形薄壳基础

倒锥形薄壳基础承受外荷载有两种形式：中部加载及边缘加载 [如图 0-4(a, b) 所示]。这两种不同加载下的壳体内力状态是完全不同的。

(1) 中部加载 壳体径向呈现拉力，环向呈现压力，试验壳体的裂纹规律如图 0-5 所示。中部加载的正锥壳与倒锥壳的内力的绝对值相等，符号相反。

壳的内力的绝对值相等，符号相反。

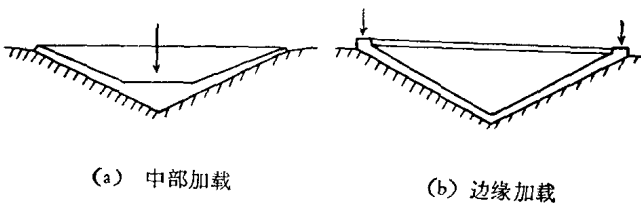


图 0-4

(2) 边缘加载 上部垂直荷载通过环梁或筒壳传给倒锥壳基础，这种环向加载形式称为边缘加载。壳壁的环向及径向均呈现压力，是一种较好的受力状态，但是，上环梁承受由径向力引起的推力作用而受拉。

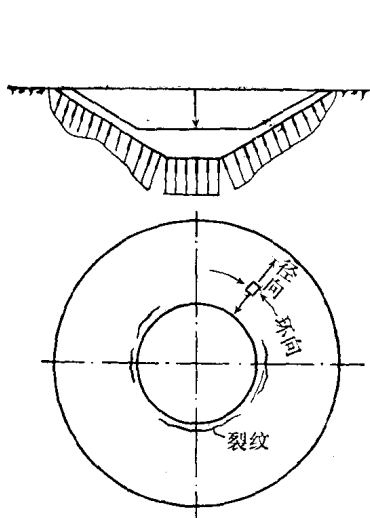


图 0-5

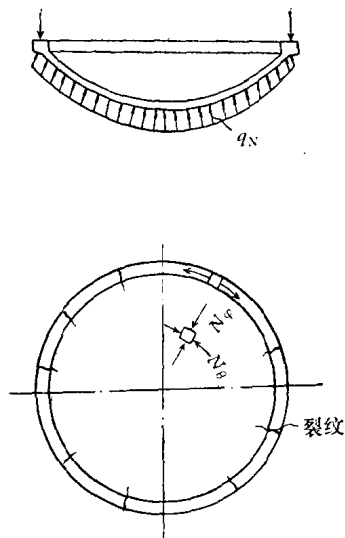


图 0-6 倒球壳薄壳基础受力状态示意图

3) 球形薄壳基础

在基础工程中一般采用边缘加载的倒球壳，壳壁中的内力状态与倒锥壳类似，环向及径向均为压力，环梁同样呈现拉力，但是，较倒锥壳为小，这是因为倒球壳上边缘径向力与水平轴夹角较锥壳大，故其水平推力较小。倒球形薄壳基础的受力状态见示意图 0-6。

4) 组合薄壳基础

为适应各种基础形式要求，并使壳基础有良好的受力性能，将各种单体壳联合起来形成组合壳基础很有实际意义。获得广泛应用的“M”型壳就是一种组合壳。有的采用内倒锥和外正锥组成，有的采用内倒球和外正锥组成。上部以筒壳或环梁传递垂直荷载，由于内外壳的水平推力互相平衡(或大部分平衡)从而使上环梁不出现或少出现

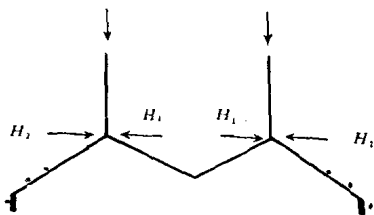


图 0-7

拉力(图 0-7),只有外壳呈现环向拉力。

5) 空腔壳基础

当地基条件较好,承载力较高并且有条件解决模板问题时,可

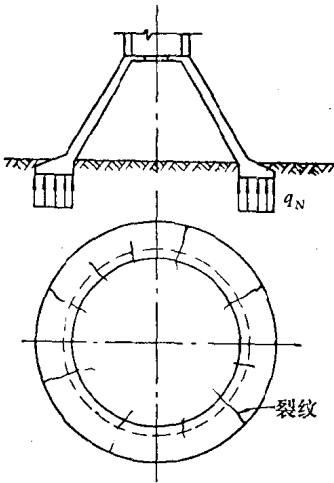


图 0-8

以不用土胎成形的薄壳基础,而采用空腔壳(图 0-8)。空腔壳也是一种组合壳,壳壁径向呈现压力,环向基本上不受力,下环梁承受拉力和弯曲作用,靠近下环梁的壳面也受环梁引起的边缘干扰而出现某种程度的拉力。

4. 薄壳基础的研究与发展

我国薄壳基础的设计理论,是在大量现场试验基础上,通过对地基反力的量测,假定地基反力的分布规律,以材料力学概念和薄膜理论为依据,推导出简化实用的计算

公式(即将处在复杂受力状态下地下薄壳的地基反力看作为外荷载,从而当作地上壳体计算,避免了冗长复杂的“共同作用原理”),使薄壳基础设计大为简化。数年来的工程实践和试验研究说明,这种半经验半理论的设计计算方法是可行的,是促进薄壳基础迅速发展的有效方法。

设计理论从实践中产生,又转过来指导生产实践,理论与试验研究始终与工程实践保持紧密联系。短短几年来,我国许多基建现场进行了大量的大型实物试验,同时有一批工程兴建并已投产,如 620 及 550 立方米高炉、热风炉、120 米以下的烟囱、大型贮料仓、矿槽、具有重级工作制吊车厂房柱等工程基础以及 10000 立方米油库、水塔、水池及各种输电塔基础都成功地采用了薄壳基础。一些工程已投产数年,经过了最大荷载考验,使用正常。

在我国一些地方中小型企业建筑中,还采用了地方砖石材料建造的薄壳基础,都获得良好的经济技术效果,如某 60 米砖烟囱

采用了配筋砖薄壳。

广大施工单位在薄壳基础的施工工艺方面积累了一定经验，施工速度有所提高，施工质量有很大改进。为了进一步节约钢筋和提高基础的抗裂性能，采用“电张套圈预应力法”新工艺，已取得成功。

随着薄壳基础的不断推广和试验研究工作的不断开展，薄壳基础的理论研究工作也在逐渐深入。一些设计、科研及教学单位开始探讨地基对壳体作用力的各种分布规律；在薄膜理论上探讨有矩影响；为了研究壳体内力的分布及地基反力分布等规律，还进行了模型试验，通过这些工作改进现有的设计理论。

为了使薄壳基础新技术能在各种工业基本建设中获得广泛应用，一些单位编制了有关设计手册及标准图。在国家建委主持编制的“地基基础设计规范草案”中也纳入薄壳基础新章节。

今后，薄壳基础的一个重要发展方向是在各种大型设备基础、地下工程及特构工程中应用，为此，应进一步探讨各种非旋转形薄壳基础及组合壳基础的设计理论。

事物总是一分为二的，每一种新技术都有一定的适用范围，薄壳基础应用范围较广，但是只有在软土地基、大荷载构筑物基础中才显示出较大的优越性。有关薄壳基础的动力问题、抗热问题及持久强度问题还有待今后研究解决。