

空心楼盖 设计指南

张立平 徐卫 傅礼铭 荣彬 编著

HOLLOW FLOOR
DESIGN GUIDE

中国建筑工业出版社

空心楼盖设计指南

张立平 徐 卫 傅礼铭 荣 彬 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

空心楼盖设计指南/张立平等编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 3

ISBN 978-7-112-21868-4

I. ①空… II. ①张… III. ①无梁平板-结构设计-指南 IV. ①TU330.4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 035499 号

本书以空心楼盖设计为背景, 主要内容包括概述、空心楼盖材料、空心楼盖结构设计、空心楼盖结构设计实例和地下室楼盖选型等方面的内容。

本书可作为大中专院校结构工程专业师生学习指导用书以及从事结构设计从业专业技术人员参考用书。

责任编辑: 李 明 赵云波

责任设计: 李志立

责任校对: 李美娜

空心楼盖设计指南

张立平 徐 卫 傅礼铭 荣 彬 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 8 $\frac{3}{4}$ 字数: 217 千字

2018 年 6 月第一版 2018 年 6 月第一次印刷

定价: 29.00 元

ISBN 978-7-112-21868-4

(31788)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

二十一世纪是节能的时代，在我国节能已立法，对各行各业都要求可持续发展，同样建筑业的发展也需要符合可持续发展战略的要求。混凝土结构建筑的原材料来源广泛，技术成熟，造价低廉，具有很强的生命力，仍是我国应用最为广泛的建筑形式。然而其带来的钢材、水泥及其他资源大量消耗而影响可持续发展的问题也很突出。

大柱网、大开间、大跨度、多功能等要求是现代建筑发展方向，空心楼盖自重轻的特点也迎合现代建筑结构的发展趋势，符合节能减材的要求，所以在地下空间、多高层建筑结构中应用广泛。空心楼盖技术发展了很多年，近年来又出现了装配整体式混凝土密肋空心楼盖等新型空心楼盖形式，解决了传统楼盖的许多问题。作者根据多年来的理论发展成果和工程实践经验编写了本书，充分考虑了学习和工作的需求，同时也为相关专业工程技术人员提供参考。本书的目的是希望读者能够掌握空心楼盖的设计方法，了解空心楼盖的构造和施工要求，能够根据使用要求合理的选择空心楼盖类型，从而更好的推广应用空心楼盖结构。

本书由广东省建筑设计研究院张立平、徐卫高级工程师，湖北大成空间有限公司傅礼铭教授级高级工程师，天津大学建筑工程学院荣彬副教授共同编写完成；天津大学建筑工程学院硕士研究生权鑫鑫参与了书稿整理和汇总工作，在此表示衷心的感谢。编写此书参阅了很多文献，特向各位作者致谢。

希望本书能够为读者的学习和工作提供帮助。限于作者的水平，书中难免有错误，恳请专家和广大读者批评指正。

目 录

一、概述	1
(一) 空心楼盖技术简介	1
(二) 空心楼盖结构应用范围	7
(三) 空心楼盖结构设计依据	8
二、空心楼盖材料	9
(一) 空心楼盖材料要求	9
(二) 芯模材料特点及适用范围	11
三、空心楼盖结构设计	15
(一) 结构计算分析方法	15
(二) 结构构件计算	32
(三) 空心楼盖体系设计原理	38
(四) 计算分析软件选择	45
(五) 结构构造要求	50
(六) 施工与验收	66
四、空心楼盖结构设计实例	74
实例一：空心楼盖结构在学校建筑中的应用——中南财经政法大学武汉学院 新校区工程	74
实例二：空心楼盖结构在地下空间中的应用——广州万博中央商务区地下 空间项目	78
实例三：空心楼盖结构在多层建筑中的应用——广州港南沙汽车码头商品 汽车库工程	81
实例四：空心楼盖结构在高层建筑中的应用——深圳平安国际酒店（橄榄大厦） 工程	84
实例五：空心楼盖结构在超高层建筑中的应用——广州名盛广场工程	90
实例六：空心楼盖在地下空间中的应用——广州花城广场地下空间项目	100
五、地下室楼盖选型	107
研究展望	120
附录	121
附录一 现浇混凝土空心楼盖用料、构造及施工说明	121
附录二 DCKJ 混凝土密肋空腔楼盖结构说明	128
参考文献	134

一、概 述

(一) 空心楼盖技术简介

目前,在我国民用与工业建筑中,钢筋混凝土结构原材料来源广泛,技术成熟,造价低廉,具有很强的生命力,仍是我国应用最为广泛的建筑结构形式。国内采用的空心楼盖形式主要有两种:空腹夹层板楼盖体系和现浇混凝土空心楼盖体系。

所谓的“空心楼盖”只是各类楼盖中是否设置有能减少楼板混凝土用量且包裹有空心空间的楼板的简称,它是相对于完全实心的混凝土楼而言的。所述空心的空间中一般只有空气,但是有时为成孔方便,这个空间中可能填充有相对于混凝土的容重很小几乎可以忽略自重的轻质材料,也被视作空心楼盖。与传统的实心楼板相比,空心楼盖技术具有减轻建筑自重、降低建筑层高、增加建筑净空、节省建筑材料、降低综合造价、加快施工进度、美化建筑外观、增强使用功能、提高品位等效果,是一种新型环保节能产品,符合产业生态规律和循环经济发展方向。

1. 空腹夹层板楼盖体系

钢筋混凝土空腹夹层板楼盖体系是由贵州工业大学空间结构研究所研制的,又称“剪力键式双向空心大板”。这种楼盖分为上、下两层,均为钢筋混凝土井字形带肋板,并在井字格交叉位置采用扁状钢筋混凝土剪力键,将上下两层联结起来,其基本组成与构造如图 1-1 所示。

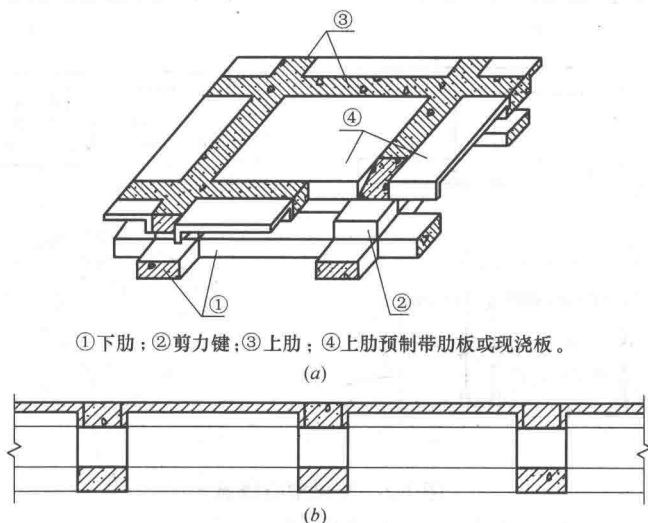


图 1-1 钢筋混凝土空腹夹层板楼盖

(a) 轴测图; (b) 剖测图

钢筋混凝土空腹夹层板楼盖体系有以下优点：在同等跨度下，结构高度比肋梁楼盖小，一般不需要吊顶，可大幅降低层高；该楼盖空腹部分可作为管线设备层，降低建筑造价；这种楼盖体系是三维空间结构，其整体性、刚度比一般肋梁楼盖好；该楼盖自重轻，相同条件下相比于无梁平板楼盖、梁板式楼盖，混凝土用量更少，从而水平地震作用更小，达到降低整体结构钢筋用量的效果。同时，这种楼盖体系也存在一些缺点：网格较密，节点较多，计算工作量大；自身结构构造复杂，钢筋绑扎与混凝土浇筑困难，施工进度慢。

2. 现浇混凝土空心楼盖体系

现浇混凝土空心楼盖是采用内置或外露填充体，经现场浇筑混凝土形成空腔和支撑梁等水平构件的楼盖。现浇混凝土空心楼盖是一种源自国外的新型混凝土楼盖技术，与采用主次梁、框架梁的传统实心楼板不同，是人类生活水平的不断提高的直接产物。物质生活水平的提高使建筑使用者趋于追求建筑空间的开阔性、灵活性，但是由于传统的建筑结构中，主次梁的固定性制约了建筑物的空间的使用，所以人们致力于研究更舒适、跨度更大并且经济效果更好的钢筋混凝土结构体系。在这种技术革新的背景下，大开间、大跨度、无梁或者少梁、空间可以灵活分割的新型建筑结构体系-现浇混凝土空心楼盖技术应运而生。空心楼盖通过在纵横交错的暗梁中预埋填充芯模，将楼盖不受力部分的混凝土抽空，形成双向受力明确的楼盖结构。这种楼盖的核心是填充体，它的发展始终围绕在填充体的形状、材料上。填充体永远埋置于现浇混凝土楼板中，置换部分混凝土以达到减轻结构自重的作用。按形状可分为：填充管、填充棒、填充箱、填充块和填充板等，目前国内使用广泛的填充体为薄壁筒芯和薄壁箱体，如图 1-2 所示。

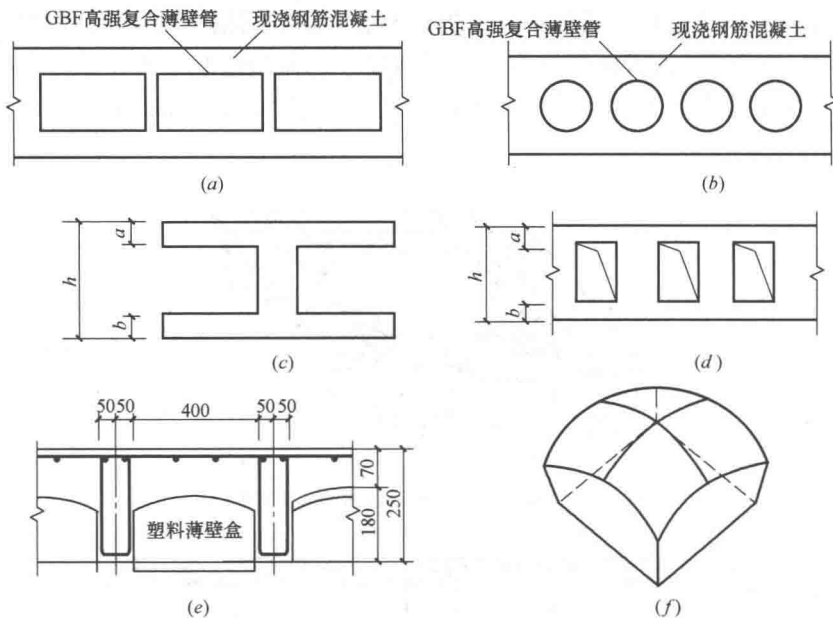


图 1-2 常见空心楼盖

- (a) GBF 楼盖形式 1; (b) GBF 楼盖形式 2; (c) GBF 楼盖形式 3;
 (d) GBF 楼盖形式 4; (e) 无底板蜂窝式空心板剖面; (f) 塑料薄壁盒

现浇 GBF 高强薄壁管空心楼盖整体性好、结构高度小、底面平整无需吊顶，而且还具有自重轻、保温隔热和隔声性能佳的优点，在大跨度、大空间建筑中应用广泛。缺点是薄壁管制作运输难、易破损，施工时芯管易上浮，定位困难，芯管下方混凝土难以振捣密实，从而在板底形成蜂窝麻面以及孔洞。薄壁箱体现浇混凝土空心楼盖体系的优点在于：整体性好、抗震性能好、自重轻；适用性广，特别适用于大荷载、大跨大空间的多高层建筑；保温隔热、隔音效果好；减少模板、吊顶，节约钢筋，综合造价低。但和 GBF 高强薄壁管空心楼盖一样存在薄壁箱体制作运输难、施工易漂浮移位等问题，同时，现浇楼面板一般较薄，温度以及混凝土收缩易使楼面产生裂缝，影响正常使用。现浇混凝土蜂窝式空心楼盖的优点在于：空间开阔、美观大方，分隔墙可任意布置，特别适用于经常变动间隔的公共建筑；楼盖中大量的封闭空腔大大减少了噪声和热量的传递，隔音、保温隔热效果佳；自重小，抗震性能好。该楼盖体系的缺点在于：施工工艺繁琐，混凝土不能一次浇筑而成；空心楼盖中需布置大量的空心模盒，安装定位麻烦，同时空心模盒本身加工制作也非常繁琐。

将现浇混凝土空心楼盖按支承条件分类主要可以分为：周边刚性支承楼盖、柱支承楼盖、柔性支承楼盖及混合支承楼盖。

刚性支承楼盖：由墙或竖向刚度较大的梁作为楼板竖向支承的楼盖。

柱支承楼盖：由柱作为楼板竖向支承，且支承间没有刚性梁和柔性梁的楼盖。

柔性支承楼盖：由竖向刚度较小的梁作为楼板竖向支承的楼盖。

混合支承楼盖：有两个或以上不同的支承（包括刚性支承、柱支承、柔性支承）的楼盖。

将现浇混凝土空心楼盖按板厚跨比将空心楼盖结构划分为厚空心板楼盖、薄空心板楼盖两类。

厚空心板楼盖：板厚与板跨的比值（框架肋梁的高跨比）不小于 $1/22$ 的现浇混凝土空心楼盖，定义为厚空心板楼盖。

薄空心板楼盖：板厚与板跨的比值（框架肋梁的高跨比）小于 $1/22$ 的现浇混凝土空心楼盖，定义为薄空心板楼盖。

在这两种楼盖的基础上，为增加楼层的抗侧刚度又可以形成以下几种结构：

厚空心板柱（框架）结构：柱支承厚空心板楼盖结构，由框架肋梁或部分框架梁、扁梁与柱形成的框架结构。

厚空心板柱-剪力墙结构：采用厚空心板楼盖的板柱-剪力墙结构。板柱部分由框架肋梁或部分框架梁、扁梁与柱形成框架结构。

薄空心板柱（框架）结构：柱支承的薄空心板楼盖结构。

薄空心板柱-剪力墙结构：采用薄空心板楼盖的板柱-剪力墙结构。通常意义上的板柱-剪力墙结构。

3. 空心楼盖研究背景

现浇混凝土空心楼盖是由无梁楼盖结构发展而来。1933 年，苏联中央工业建筑科学研究院提出了嵌有轻质石料的无梁楼盖，该楼盖用轻质矩形石块代替中部未充分利用强度的混凝土。1936 年，美国一位工程师尝试在梁肋间使用轻质廉价的木盒进行填充，木盒作为梁肋的侧模，同时作为楼盖的顶、底板。20 世纪 60 年代中期，联邦德国工程师研究

一、概述

提出了“B-Z体系 (Belon Zellenplatte)”，德语意为蜂巢式混凝土空心楼盖。1967年，美国工程师以块状发泡塑料为填充物创造了一种大空心率的蜂窝式无梁楼盖 (Cellular Flat Plate)，由于施工繁琐，而且发泡塑料会产生污染问题，这种楼盖结构未能推广成功。随着空心楼盖的广泛应用，很多国外学者开始研究提出空心楼盖的计算分析方法。Timoshenko最早在其专著中提出用各向异性板理论来求解密肋空心楼盖内力。1964年，G. Franz教授对蜂巢式空心楼盖结构进行了试验研究，指出在静力荷载下，可采用同刚度实心无梁楼盖相同的计算方法来设计空心无梁楼盖。1971年，Crisfield和Twemlow借助有限元法提出用于蜂窝结构的一种考虑横向泊松比效应的解法。1982年，英国G. Elliott和L. A. Clark用环氧树脂制作了1块实心板和3块圆孔空心板，通过弹性试验得到了这种圆孔空心板的刚度近似公式，并通过有限元程序验证，结果吻合较好。日本研究得到一种关于矩形多孔板、圆形多孔板的数值解法，该解法考虑了弯曲以及剪切变形的影响，可以计算在任意位置开孔的板，在分析薄壁盒式无梁楼盖时可以参考这种数值解法。这些研究成果为国内外学者对空心楼盖的进一步探索打下了良好的基础。

20世纪80年代末，国内学者开始研究现浇空心楼盖。原北京建筑科学研究所首先提出筒芯内模双向板，内模材料为“纸芯筒”，成功解决了“纸芯筒”的防水、抗浮等问题。随着研究推进，计算方法和施工工艺渐渐发展成熟，现浇空心楼盖于20世纪90年代在国内推广应用。20世纪90年代中期开始，国内薄壁管内模空心楼盖迅速研究发展，并得到广泛应用。我国工程师改进了空心楼盖的内模，采用轻质高强的薄壁管，降低了施工难度，使空心楼盖在国内得到发展应用。1996年，长沙国际金融大厦第25层至第36层采用了薄壁管芯无梁楼盖。但这种空心楼盖施工时安装内模较多，内模的定位、抗浮困难，占用大量工时，且施工质量控制难度较高。空心楼盖不同长宽比、不同边界条件下顺筒方向与横筒方向在截面刚度上的差异是理论研究的重点。对于薄壁管在楼盖内单向布置，而整块板同实心板一样双向传力这一问题，工程设计领域存在不少质疑。国内对空心楼盖的研究已取得一定进展，对无梁楼盖受力性能的研究也更加系统、深入，现从试验研究、有限元理论计算来进行说明。通过试验研究，一般认为在现浇混凝土空心板的承载力的设计中，为保证安全，板的荷载可按双向板的传递方式计算，可采用虚拟梁的方法，双向受力钢筋应该按照双向折算刚度配置，由于板的折算刚度因方向不同而存在差异，在主受力方向应适当加大板受力钢筋的用量。为了验证空心楼盖的结构性能，河北省建筑科学研究院对其工程的楼板进行了荷载试验测试，结果显示空心板具有良好的变形恢复能力；板底混凝土最大拉应变接近混凝土极限拉应变，但未发现裂缝，说明空心楼盖具有良好的工作性能。而且测试结果还表明，单向布置GBF高强薄壁管的现浇空心板当边长接近时，具有双向板的性质。空心板与其他楼盖相比有诸多不同点，第一，空心楼盖的相对于其他楼盖板厚增大了，常用板厚在250~350mm，其最小板厚为180mm。板厚增加直接导致构件刚度的增大。第二，空心板无梁楼盖的端跨有时不设置边梁，一般认为边梁可以在提高结构抗震性能的同时不影响建筑物的使用，然而端跨板格的弯矩分布因边梁的存在而发生了改变。理论分析和非线性有限元的计算表明：在两边长接近的情况下，板在竖向荷载作用下表现出双向受弯的特性，板内拉、压应力流分布形状，板的受力性能与双向受弯实心板基本一致；在板内顺一个方向预埋高强复合薄壁管成孔，使得板平面内两个方向的抗弯刚度被削弱，导致了两个方向的刚度的比值的变化的变化，理论分析和有限元计算进一步表明，对两边边长接近的空心板，顺孔方向受弯时截面的抗弯刚度

是垂直孔方向受弯时截面抗弯刚度的 1.25 倍左右, 这一结果对进行板带的配筋计算有重要的实用价值; 在进行非线性有限元计算时, 在破坏荷载作用下, 板内开孔处截面发生变化, 引起应力集中, 导致连续的受剪裂缝产生, 板底部的受弯裂缝主要平行于顺孔方向, 这个结论对改进其构造措施具有重要意义; 暗扁梁的设置可以加强板与柱的连接, 对提高板的冲切受剪承载力有一定的作用, 但是因为暗扁梁厚度与板厚相同, 它不能起到框架梁的作用, 无论是理论分析还是有限元的计算结果均表明暗扁梁是板的一部分, 在进行结构计算时应把它视为柱上板带, 此结论对进一步深入研究该体系受力性能, 建立合理的设计方法具有重要的理论意义; 现浇空心板虽然板内开有孔洞, 但板在两个方向上的刚度没有很大差异, 仍然是双向受弯, 暗扁梁的存在使得空心板与框架柱的连接和实心板与框架柱的连接完全一样, 在理论分析的基础上, 认为实心板无梁楼盖体系的方法进行结构计算 (等代框架法和经验系数法) 较为合适。在此基础上提出了柱上板带和跨中板带的分配比例系数, 见表 1-1; 这些是现浇空心板无梁楼盖的计算方法与普通无梁楼盖的计算方法相衔接的关键理论, 有重要的工程应用价值。

柱上板带和跨中板带的分配比例系数

表 1-1

截面位置	柱上板带	跨中板带
内跨		
支座截面负弯矩	0.75	0.25
跨中正弯矩	0.55	0.45
端跨		
第一内支座截面负弯矩	0.75	0.25
跨中截面正弯矩	0.55	0.45
边支座截面负弯矩	0.98(无边梁)	0.02(无边梁)
	0.75(有边梁)	0.25(有边梁)

建立实心无梁楼盖与空心管无梁楼盖有限元模型, 将二者进行对比分析, 弹性阶段的受力分析结果表明: 空心管虽然对楼板有削弱, 但整个结构的板柱体系受力特征并没有明显的改变, 两个方向刚度不均匀程度也不显著, 只是楼板空心管部位截面的局部内力增大。所以, 设计空心管无梁楼盖时, 采用实心无梁楼盖所采用的经验系数法或等效框架法对整个结构进行计算仍然有效。采用对孔形具有较好适应性的三维等参实体单元和便于计算结果处理的映射网格划分方式, 对实心板和典型空心板进行高精度三维有限元对比分析。分析结果表明: 两边长接近的现浇混凝土空心板应力、挠度分布规律与实心板相似; 孔的存在削弱了板平面内两个方向的抗弯刚度, 并且两个方向抗弯刚度的比值有所改变, 径向截面的抗弯刚度大约是孔向截面抗弯刚度的 0.94 倍; 平截面假定不适用于空心板的径向应变, 但三折线分布假定可以应用于孔间肋处的径向应变; 空心孔向截面的弯矩与实心板的计算结果基本一致。此外, 通过对多层多区格整体楼盖进行的试验研究, 发现采用将模型试验和数值计算相结合的研究方法得到的计算结果与模型试验结果一致性较高, 证明了该法的可行性, 此外计算结果显示的现浇混凝土空心板楼盖的受力特点表明现浇空心板楼盖仍为双向受弯结构。

通过计算机程序分析, 得到另外一些结论:

(1) 空心板与实心板的整体受力性能相同，空心率是影响板整体刚度的主要因素，且上下表层刚度均匀是更为有利的承载状态。

(2) 在正方形空心板在跨中两个方向上的弯矩大小相当，这说明开孔影响的是板的整体刚度，而且影响的程度与方向无关，在平行开孔方向上的弯矩曲线是光滑的，而在垂直于开孔的方向上随着惯性矩的变化，弯矩会上下波动，但最大值十分接近。

(3) 空心楼盖具有较大的刚度，较强的整体性。同一法线上的挠度值相等说明其受力性能与板相似，其破坏形态受弯、扭应力的影响程度较大，分析计算结果可以发现，空心板承受横向均载的受力状态基本符合关于薄板小挠度弯曲理论三个基本假定。计算混凝土空心楼盖时，应将其考虑为平板受力体系而不是梁板或其他受力体系。挖空板中和轴附近的部分材料，虽然对板的整体刚度削弱很少，但可以显著地降低折减之后的荷载，从而能有效地减轻自重，解决大跨厚板由于自重过大而造成的不利影响。

在我国设计规范中，双向板的计算设计采用的是基于弹性薄板理论的弹塑性设计方法，薄壁管空心楼盖能否等效为实心板并采用这种设计方法也存在争议在这段时间，国内许多学者对空心楼盖的应力分布、变形、破坏特征以及极限承载力等方面做了大量的研究，为《现浇混凝土空心楼盖结构技术规程》(CECS 175:2004)的编制提供了理论支持。这本规范为我国现浇混凝土空心楼盖结构的设计、施工提供了权威的指导，对内模制作安装、结构计算分析与设计、构造措施、施工及验收提出了明确的要求，推动了我国现浇混凝土空心楼盖的发展。

针对薄壁管以及薄壁箱内模空心楼盖存在的一些问题，湖南大学吴方伯教授提出了装配整体式混凝土密肋空心楼盖。装配整体式混凝土密肋空心楼盖是一种新型楼盖体系，它由预制空心箱体和现浇密肋梁组成，其中空心箱体是由预制混凝土顶板、底板、侧壁在施工现场拼装组成。楼盖顶板、底板采用预制板，施工时只需现浇密肋梁，减少了楼面混凝土收缩量，解决了传统楼盖现浇楼面易开裂的问题。目前，这种新型楼盖在我国部分地区已经得到了推广和应用。

这种楼盖具有传统现浇空心楼盖的优点，同时舍弃了制作运输难、造价高的内模，代以产业化生产、无定位抗浮问题的预制空心箱体；现场施工仅需现浇密肋梁，简单迅速，节约工时；楼面大部分由预制顶板构成，解决了现浇楼面易开裂的问题。

4. 空心楼盖的优势

(1) 综合经济优势

楼盖的经济性和很多方面因素有关，假如只考虑楼盖自身的经济性，则空心楼盖的经济优势集中体现在大荷载大跨度条件下，但是这和芯模自身的价格关系较大，若芯模造价的逐步降低，其优势将会逐步放大。若综合考虑分析各种因素，则空心楼盖的综合优势可以总结为以下几个方面：

1) 空心大板的使用可以减少水电设施的费用。在大开间的柱网中采用的空心楼盖普遍都取消了次梁，而且框架梁也极为扁平，在有自动喷淋消防系统的房屋中，可降低水、电设施费，并减少喷头、管网的用量。

2) 吊顶装修带来的经济优势。由于空心楼盖无次梁甚至无框架梁平板，这就显著地减少了装修及吊顶的时间，从而大大减少了吊顶的费用。

3) 建筑体积变化带来的经济优势。空心楼盖的使用会降低建筑物的层高,使得装修更加简洁,建筑体积随之压缩。长远来看,电照、空调、暖通等电器的耗能会减少,带来更大的经济效益。

4) 地下建筑中的经济优势。层高的降低,在建造地下室时,会使土方的开挖量减少、支护边坡基坑费用降低,降低外侧钢筋混凝土墙防水抗渗等级,从而大大降低建造费用。

5) 功能带来的经济优势。采用空心楼盖后建筑物布置和开间更加灵活,能提供的服务更多,比如自由间隔、灵活吊顶、隔声隔热性能提高等优势优点都是开发商有竞争力的卖点,也是客户的争相购买的亮点。

(2) 使用优势

在实际工程中,空心板往往不会单独使用,会和无梁楼盖体系及梁-板体系结合应用,采用空心板代替实心板不仅发挥了楼盖体系本身的优点,还在一定程度上弥补了实心板的缺陷,既节约混凝土和钢筋材料、减轻了自重,又增大了楼盖的使用跨度,提高了结构的抗震性能,主要说明如下:

1) 楼板是以弯曲为主的构件,受拉区和受压区即靠近板面和板底的受拉区和受压区的混凝土提供了主要的弹性弯曲刚度,截面中部的贡献相对较小,这同工字型、箱型梁的原理一致。基于此原理,省去板中间部分的混凝土可以在对抗弯刚度产生较小影响的同时,既明显降低了结构的自重,又可以节省 30%~50% 的混凝土用量,从而楼盖相应重量也减轻 30%~50%。

2) 相同跨度和荷载条件下,采用空心板可以在不增加混凝土用量的同时适当增加楼盖厚度,这增加了板的有效高度,从而降低了钢筋的用量。在无梁楼盖体系中,这种方法还可以提升柱周围节点区的抗冲切承载能力。

3) 在板厚相同的情况下,相比于其他板,空心板的结构自重大幅度的降低,从而使空心板的适用跨度有所增加。

(3) 和预应力技术结合使用的优势

将预应力技术和空心楼盖技术结合在一起,形成现浇混凝土预应力空心楼盖技术可以充分发挥这两种技术的优越性,不仅能大大提升各自的应用范围,而且有着良好的经济效益和社会效益。预应力空心板结构可以解决下列三类难题:1) 在高层大开间建筑中,当内筒与外框架之间的距离较大时,采用预应力空心板结构是一个较好的选择;2) 当建筑物开间和跨度在两个方向都比较大时,使用预应力空心板结构既可降低层高,又能减轻结构自重;3) 当建筑物的局部开间较大时,为了尽可能减小大开间部分对周围结构的影响,可以采用预应力空心板结构,这就不必提高整层的层高来适应大开间部分太高的水平构件。

(二) 空心楼盖结构应用范围

现浇钢筋混凝土空心楼盖体系应用范围广,在各种跨度和荷载作用下的建筑结构都可以使用,特别适用于如下几个方面:

(1) 重荷载和大跨度、大空间的多层或高层建筑,如商业楼、办公楼、图书馆、展览馆、教学楼、车站以及多层或单层厂房仓库、锅炉房等工业设施。

- (2) 需灵活分隔或经常变换使用用途的建筑,如宾馆娱乐场所、住宅、公寓等。
- (3) 采用集中式(中央)空调的建筑。
- (4) 有特别隔音、保暖要求的建筑。

预应力圆孔板主要适用于多层与十层以下建筑跨度 6~7.5m 的楼板,它可克服梁板结构占层高太多和避免实心平板结构自重太大的缺点。一般情况下,它比普通混凝土实心板能减轻楼板自重 30%左右。

预应力箱形模壳的空心板自重较轻,适用于高层建筑中 7.5~12m 或更大跨度的柱网。

薄壁方箱现浇混凝土空心楼盖使用范围较广,不但可以用于各类工业与民用建筑,如医院、办公楼、教学楼、高层建筑、地下车库、大型会议室、地下人防工程、车站及候车厅、多层工业厂房、冷库、图书馆、展览馆、博物馆、影剧院、较大跨度、大开间的商场等,还可以用于桥梁工程,尤其适用于需要承受较重荷载的楼盖。

空心板应防止空心内积水,不适用于水下工程和基础工程。

(三) 空心楼盖结构设计依据

《现浇混凝土空心楼盖结构技术规程》	JGJ/T 268—2012
《现浇混凝土空心楼盖》	05SG343
《现浇混凝土空心楼盖用填充体》	JC/T 952—2014
《装配箱混凝土空心楼盖结构技术规程》	JGJ/T 207—2010
《密肋复合板结构技术规程》	JGJ 275—2013
《建筑设计防火规范》	GB 50016—2014
《建筑结构荷载规范》	GB 50009—2012
《混凝土结构设计规范》	GB 50010—2010
《建筑结构可靠度设计统一标准》	GB 50068—2001
《建筑抗震设计规范》	GB 50011—2010
《人民防空地下室设计规范》	GB 50038—2005
《高层建筑混凝土结构技术规程》	JGJ 3—2010
《混凝土结构工程施工质量验收规范》	GB 50204—2015
《钢筋机械连接通用技术规程》	JGJ 107—2010
《钢筋焊接及验收规程》	JGJ 18—2012
《混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图》	16G101—1
《钢筋混凝土结构抗震构造详图》	11G329—1
《混凝土结构计算手册》(第三版)	
《建筑结构设计综合手册》(第二版)	
《全国民用建筑工程设计技术措施》(结构) 2009 年版	
《混凝土密肋及井式楼盖设计手册》	
《建筑工程抗震设防分类标准》	GB 50223—2010
《建筑结构制图标准》	GB/T 50105—2010

二、空心楼盖材料

(一) 空心楼盖材料要求

空心楼盖的主要材料为混凝土、钢筋和芯模。

1. 混凝土

用于现浇混凝土空心楼盖的混凝土强度等级：钢筋混凝土楼盖不宜低于 C25，预应力混凝土楼盖不宜低于 C40，不应低于 C30。

2. 钢筋

现浇混凝土空心楼盖的普通纵向受力钢筋宜采用 HRB400、HRB500、HRBF400 和 HRBF500 钢筋；也可采用 HPB300 和 RRB400 钢筋。

现浇预应力混凝土空心楼盖的预应力筋宜优先选用高强低松弛钢绞线，必要时也可选用钢丝束、纤维预应力筋等性能可靠的预应力筋，其性能应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 和《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223 等相关标准的规定。预应力可采用有粘结、无粘结、缓粘结等技术体系，其性能应符合现行相关标准的规定。预应力锚固系统应符合现行标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 的规定。

3. 芯模

用于现浇混凝土空心及复合楼盖的填充体材料，其氯化物和碱的含量及放射性核素的限量应符合国家现行有关标准的规定，同时应符合在正常使用环境下不产生有损人身健康及环境的有害成分，火灾时按防火等级要求时间内不得产生析出楼板的有毒气体，表 2-1 是填充体的物理力学性能要求。

填充体的物理力学性能要求

表 2-1

项目	技术指标
表观密度(kg/m ³)	15.0~500.0
48h 浸泡后局部抗压荷载(kN)	≥1.0
自然吸水率(%)	≤5
抗振动冲击	φ30 振动棒紧贴内置表面振动 1min, 不出现贯通性裂纹及破损

注：1. 当外露填充箱上表面为混凝土，且与现浇混凝土同样受力时，上表面质量和体积可不计入表观密度计算；

2. 填充板的局部抗压强度是指轻质芯块的局部抗压强度。

所有芯模材料的尺寸允许偏差、物理力学指标应满足现行《现浇混凝土空心楼盖技术规程》JGJ/T 268 的要求，规范的要求见表 2-2~表 2-4。

二、空心楼盖材料

填充管、填充棒尺寸允许误差

表 2-2

项目		允许偏差(mm)
长度(mm)	$L \leq 500$	± 8
	$L > 500$	± 10
断面尺寸(mm)	$D \leq 300$	± 5
	$D > 300$	± 8
轴向表面平直度(mm)	$L \leq 500$	5
	$L > 500$	8

填充箱、填充块尺寸允许偏差

表 2-3

项目	允许偏差(mm)
边长	+5, -8
高度	+5, -8
表面平整度	5
两对角线长度差	10

填充板的尺寸允许差值

表 2-4

项目		允许偏差(mm)
轻质芯块	边长、厚度	+5, -8
	表面平整度	8
连接网	间距	± 5
	表面平整度	8
整体板	边长、厚度	+5, -8
	表面平整度	8

填充管、棒的规格尺寸应根据具体工程需要确定，外径可取 100~500mm，要求表面平整，无裂纹、孔洞。填充管管端应封堵密实、牢固；当填充棒有外裹封闭层时，封裹应密实，粘附应牢固。

填充箱、填充块的规格尺寸应根据具体工程需要确定，其边长可取 400~1200mm。当内置填充箱、块的底面短边尺寸大于 500mm 时，宜在箱体或块体中部设置竖向通孔。填充箱、填充块表面应平整，无明显贯通性裂纹、孔洞，填充箱应具有可靠的密封性，外露填充箱、块的外露面侧边应与楼盖混凝土有可靠连接。

填充板的规格尺寸应根据具体工程需要确定。一般边长可取 800~1800mm，厚度可取 80~500mm，填充板应表面平整、轻质芯块应排列整齐，连接网不应有脱落，轻质芯块表面不应有明显破损，大小应满足混凝土浇筑密实的要求。

现浇空心板所用成孔管的材料性能指标应符合表 2-5 的规定。

成孔管的材料性能指标

表 2-5

项目	指标
线密度(kg/m ³)	≤ 20
吸水率(%)	≤ 15
抗压线荷载(N/m)	≥ 1000 N/m
饱和抗压线荷载(24h, N/m)	≥ 800 N/m
抗振动冲击(1min)	将插入式振动器紧靠管壁震动 1min, 管壁不出现裂纹
单根成孔管挠度	$\leq L/300$ (L 为单根成孔管长度)

(二) 芯模材料特点及适用范围

1. 芯模类别

芯模可采用空心的筒芯、箱体，也可采用轻质实心的筒体、块体；材料可采用铁制、塑料制、高分子聚合材料（塑料泡沫）、胶凝材料加特种纤维制作等。

2. 芯模性能及要求

芯模除应满足规格和外观质量要求外，尚应具有符合施工要求的物理力学性能。内模材料中氯化物和碱的含量应符合现行有关标准的规定，且不应含有影响环境保护和人身健康的有害成分。

3. 常用芯模材料特点及应用范围

(1) 薄壁空心管

薄壁空心管是目前我国应用时间最长，生产、施工技术最成熟的产品，具有形状固定、安装方便、能实现机械化生产、容易控制上浮、混凝土振捣密实、防火性能好、易组合等诸多优点，同时对水电管道、消防管道的走向无限制及要求。缺点是自重较大，运输及现场安装时容易出现破损，芯管难以固定成线，管距难以保持均匀和保持直线，成孔管的分类：

1) 标准截面形状为圆形，其外径分为： $\phi 100\text{mm}$ 、 $\phi 150\text{mm}$ 、 $\phi 200\text{mm}$ 、 $\phi 250\text{mm}$ 、 $\phi 300\text{mm}$ 、 $\phi 350\text{mm}$ 、 $\phi 400\text{mm}$ 七种标准规格，其他非标准截面形状与外径可根据设计需要确定。

2) 标准管长为： 1300mm 、 1500mm 、 1600mm 、 1800mm 、 1900mm 、 2000mm ，其他非标准管长可根据设计需要确定。其施工图如图 2-1 所示。

(2) 薄壁箱体

薄壁箱体曾经作为薄壁管的升级产品出现，其最大优点是空心率大、配筋率低，可以节约更多的钢筋及混凝土，节约造价更为明显，如图 2-2 所示。

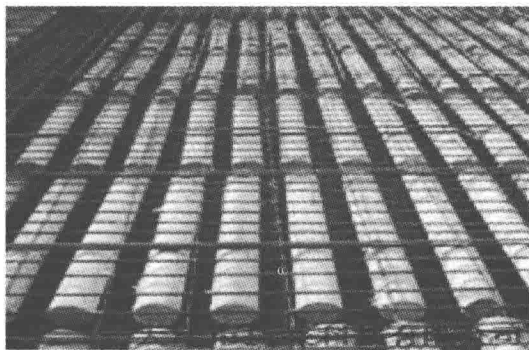


图 2-1 薄壁空心管施工

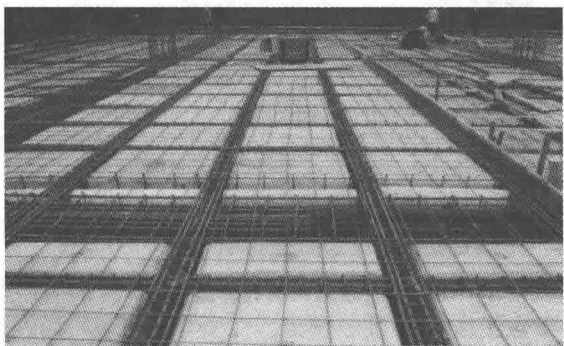


图 2-2 薄壁箱体施工图

目前箱体主要有两种使用形式：第一种是在板上下两层钢筋中间放置薄壁箱体，肋梁为工字形断面。第二种是在模板上铺一层防裂钢丝网，箱体直接放在钢丝网上，或不铺设钢丝网片，箱体直接搁置在模板上，肋梁为 T 形截面，仅箱体上面双向一层钢筋。

上述第一种箱体用法常常出现混凝土浇筑不密实，拆模后楼板下表面发生混凝土浇筑空的现象。第二种用法箱体等同于一次性模壳，混凝土浇筑时，混凝土浆液通过挤压进入箱体下部缝隙，同钢丝网结合，从而形成平板的效果，由于箱体、砂浆及肋梁混凝土的材料性质的不同，容易产生裂缝，若不加铺一层防裂钢丝网，则肋梁与箱体之间则会产生更大的间隙，若不采取吊顶等处理措施，将严重影响观感。

薄壁箱体除了具有导致混凝土浇捣不密实等质量通病外，还因其自重较大，导致施工时装卸、搬运、吊装等均不方便，同时对水管、消防等管道的走向有一定的限制。由于薄壁箱体与薄壁管采用同种或类似材料生产，因此运输、施工时的破损也是其一大缺陷，若在施工时破损，由于其体积较大，则危害更为严重。

(3) 聚苯板（俗称塑料泡沫）填充体

聚苯板近些年才作为现浇混凝土空心楼盖的填充体在工程中予以应用，如图 2-3 所示。由于它具有薄壁箱体空隙率大的特点，同时自重又较小，施工较为简便，劳动强度大幅度降低，因此一出现就得到施工单位的欢迎，但是聚苯板作为空心楼盖填充体有其致命的弱点。

首先，聚苯板（或其他有机材料）作为易燃、有毒的有机材料，现场防火难度及所造成的危害程度极大。近些年我国发生了几十起因聚苯板施工安装阶段着火而导致的重大工程火灾事故，给人民的生命财产造成了严重的损害，如中央电视台新大楼北配楼、中国科技馆新馆、北京大学奥运乒乓球馆、南京中环国际广场、南京青少年科技活动中心、上海汤臣一品楼盘等。聚苯板燃烧后还会产生大量的浓烟及其他毒性气体，据统计，火灾中 80% 以上的伤亡都是由于吸入浓烟和有毒气体造成的。虽说有的厂家号称采用了阻燃型的泡沫板，但是当火灾发生后，阻燃型的泡沫仍然具有可燃性。

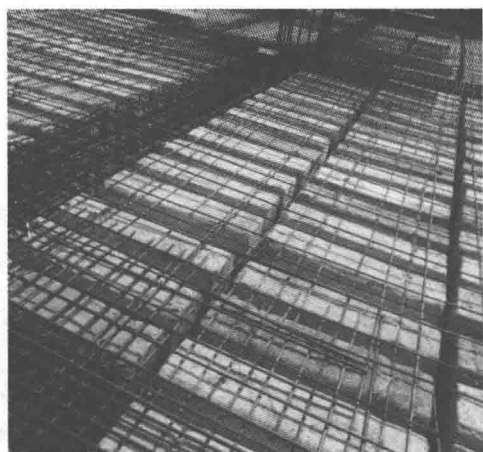


图 2-3 聚苯板填充体施工图

其次，聚苯板由于强度较低，安装施工过程中聚苯板容易发生变形，且安装完成后，面层钢筋在绑扎时对其易造成破坏，上下层钢筋局部容易陷进填充体内，从而导致钢筋与混凝土不能有效粘结，影响钢筋的握裹力，使钢筋不能正常发挥作用，给工程结构的质量留下严重隐患。

聚苯板因具有易燃、有毒、影响工程结构质量等重大缺陷，因此在关系人民生命财产的建筑工程中严禁直接使用。

(4) 预制拼装箱体

预制拼装箱体只在我国的部分省市得到推广应用，此种结构具有空心率大、造价低等特点，

如图 2-4 所示。之所以未能在全国得以推广应用，是因为该种结构具有体形大、自重较大、施工工艺复杂、施工难度大等缺点。