

边支承现浇空心楼盖的受力分析及设计

刘立新¹, 李海涛¹, 于秋波^{1,2}, 谢丽丽^{1,2}, 王利平¹

(1. 郑州大学 土木工程学院 河南 郑州 450001; 2. 郑州大学 综合设计研究院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 介绍了现浇钢筋混凝土空心无梁楼盖结构体系的原理、边支承空心楼盖设计原理、刚度计算等方面的问题. 依据规程 CECS175^[1]“当空心楼板顺筒、横筒两个方向的弹性刚度相差不超过 10% 时, 可忽略楼板的各向异性, 取与普通实心楼盖相同的内力分析方法”的规定, 对边支承楼盖设计在 PKPM 软件中的实现进行了分析探索, 提出了可以在 PKPM 软件中将空心板按等厚实心板计算的设计思路和方法, 并绘制相关表格供设计人员参考.

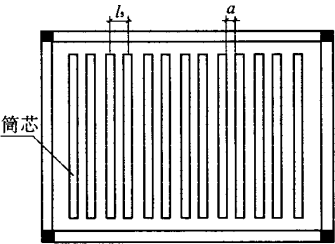
关键词: 边支承; 横肋; 设计; 刚度; 筒芯; PKPM

中图分类号: TU 973⁺. 14

文献标识码: A

0 引言

现浇混凝土空心无梁楼盖是在现浇实心板中按一定规则埋置永久式空心内膜, 经现场浇筑混凝土形成空腔以达到减轻楼盖自重, 而板承载力基本不变的一种新型现浇结构体系(图 1、2). 这种楼盖兼有现浇混凝土楼板和预制空心楼板的优点, 楼盖的整体性能好, 跨越能力和抗震能力强, 能有效降低结构层高度、获得较好使用空间, 节省混凝土材料的用量, 降低造价, 取得较好的经济效益. 此外, 该结构还能实现空间灵活隔断, 隔音、隔热、保温性能优良. 现浇混凝土空心无梁楼盖结构目前已在大大空间的商场、图书馆、教学楼和大开间住宅等多高层建筑中得到了广泛的应用.

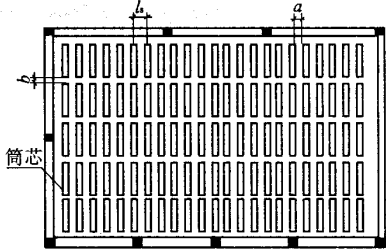


a—顺筒肋宽; l —筒芯中心间距
图 1 现浇空心楼盖筒芯通长布置图

Fig. 1 Arrangement of the full-length tube filler

目前对现浇混凝土空心楼盖的受力分析主要

集中在柱支承空心楼盖方面, 不少学者已提出了相应的采用 PKPM 软件进行设计的方法; 而对于边支承空心楼盖受力分析的研究相对较少, 尽管一些学者提出了一些设计思路^[2], 但其设计方法较复杂. 本文就边支承楼盖的受力进行了探索, 提出了其在 PKPM 软件中较简单的实现方法, 并绘制相关表格供设计人员参考.



a—顺筒肋宽; b—横筒肋宽; l —筒芯中心间距

图 2 现浇空心楼盖筒芯非通长布置图

Fig. 2 Arrangement of the none full-length tube filler floor

1 空心楼盖设计原理

在受弯构件中, 拉力和压力集中在空心楼盖截面的下部和上部构成抵抗力矩, 而截面中部对抗力的影响很小. 若将中部混凝土除去一部分, 形成“工”字形或圆孔截面构件, 其抗弯承载力基本未受影响. 基于这一原理, 在现浇钢筋混凝土实心板中按一定规则埋置永久式内膜, 经现场浇筑混

收稿日期: 2006-10-28; 修订日期: 2006-12-07

基金项目: 中国工程建设标准化协会混凝土结构专业委员会(CECS)研究资助项目.

作者简介: 刘立新(1947-), 男, 湖北汉川人, 郑州大学教授, 博士生导师, 主要从事混凝土结构、砌体结构基本理论及应用研究.

凝土而在楼板中形成空腔(如图3、4),顺筒方向的板的正截面如图3所示;垂直于筒方向的板的正截面变成了平面外有联系的“二”形截面(如图4)形成空间桁架的传力体系.通过对各种板跨和荷载情况的现浇空心板的计算,发现混凝土受压区高度在0.02~0.03 m之间时,中和轴通常都在受压翼缘内,属于第一类截面.这种结构体系的受弯承载能力与等厚实心板基本相同.现浇空心无梁楼盖根据楼盖结构的内力分析和构造措施分边支承楼盖和柱支承楼盖,设计分析和方法各异.下面着重探讨边支承楼盖的设计.

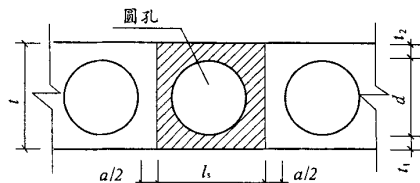


图3 顺筒方向的楼板截面

Fig.3 Section along the tube filler

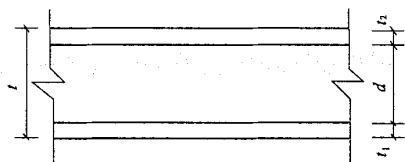


图4 垂直筒方向的楼板截面

Fig.4 Vertical section of the tube filler

2 边支承空心楼盖分析与设计

2.1 边支承空心楼盖的内力分析与计算^[1,3]

当楼盖内区格板由墙支承或板的周边现浇框架梁竖向变形较小时,该区格板按竖向刚性支承考虑,计算中可忽略周边支承的竖向变形,根据相邻区格板的荷载差别和支承对板的约束程度,区格板可按嵌固支承、简支承或介于两者之间的弹性支承考虑.当内区格板的周边现浇框架梁在荷载作用下的竖向变形较小时,楼板内力按周边竖向柔性支承与按周边竖向刚性支承的结果差异不大,为简化计算,也可近似按竖向刚性支承板考虑.

理论分析和试验研究均表明,空心楼板顺筒、横筒两个方向的弹性刚度相差不超过10%,可忽略楼板的各向异性,取与普通实心楼盖相同的内力分析方法^[1].

2.2 边支承板楼盖刚度计算

2.2.1 顺筒方向刚度计算

顺筒方向截面惯性矩可近似取为

$$I_s = \frac{1}{12} l_s t^3 - \frac{1}{64} \pi d^4 = \frac{l_s t^3}{12} \left(1 - \frac{3\pi d^4}{16 l_s t^3} \right) \quad (1)$$

等宽等厚实心板的截面惯性矩为

$$E_c I_c = E_c l_s t^3 / 12 \quad (2)$$

则顺筒方向抗弯刚度为

$$i_{sm} = k_s E_c I_c \quad (3)$$

$$k_s = 1 - 3\pi d^4 / (16 l_s t^3) \quad (4)$$

式中: k_s 为顺筒方向抗弯刚度折减系数; l_s 为顺筒方向筒芯中心间距; t 为空心板厚; d 为圆孔直径; E_c 为混凝土弹性模量.

2.2.2 垂直筒方向刚度计算^[4,5]

根据文献[5],垂直筒方向抗弯刚度同样可通过相同厚度的实心板的弯曲刚度的折减给出,即

$$i_{cm} = E_c I_c = k_c E_c I_c \quad (5)$$

式中: $E_c I_c$ 为同厚实心板抗弯刚度; k_c 为垂直筒方向抗弯刚度折减系数,根据文献[5],在 $d/t = 0.47 \sim 0.81$ 范围内,垂直筒芯方向的截面弯曲刚度的折减系数可表为

$$k_c = [1 - 0.93(d/t)^{3.6}] [1 + 0.02(a/t_2 - 2)] \quad (6)$$

式中: d 为筒芯直径; t 为空心楼板的厚度; t_1 、 t_2 分别为上、下翼缘的厚度,如图3、图4所示,在实际工程中通常取 $t_1 = t_2$; a/t_2 (或 a/t_1) 称为顺翼比,反映顺筒肋宽度对现浇空心板刚度的影响. d/t 称为径厚比,反映筒芯的直径对现浇空心板刚度的影响;当径厚比一定时,顺翼比越大空心板的刚度越大.工程中, a/t_2 的值介于40~70 mm之间,通过计算表明, a/t_2 比值对 k_c 影响很小.如果忽略 a/t_2 的影响,式(6)可简化为

$$k_c = 1 - (d/t)^4 \quad (7)$$

该公式简便、直观地反映了径厚比对空心板刚度的影响.

2.3 PKPM 软件在边支承现浇空心楼盖设计中的应用

当板的厚度与板面的最小特征尺寸之比在1/80~1/5范围内时,称为薄板^[6].设计空心楼盖时,板厚一般取为 l (l 为板的短边长度)的1/25~1/40左右,属于薄板范围.因此当我们保证空心楼板顺筒、横筒两个方向的弹性刚度相差不超过10%,根据现行规程CECS175^[1]可取与普通实心楼盖相同的内力分析方法,依据薄板理论,此种情况下板的弯矩和绝对刚度无关,可以运用PKPM软件进行电算.笔者运用PKPM软件进行边支承空心板电算时,在相同面荷载下取不同板厚进行分析计算,求得板的弯矩值基本相同,也就是说空

心板的弯矩值与其绝对刚度无关。

在运用 PKPM 软件进行电算时,板的厚度按空心板的厚度 t 输入,板自重按折算厚度计算出作为恒载输入,其它参数的输入同实心板,本文根据以上刚度分析,针对工程中应用较多的几种筒芯无梁楼盖的板厚,给出了几种布筒方案,并计算

出了两个方向的刚度折减系数供设计参考(见表 1)。观察表中的刚度系数比值,易知空心板两个方向弹性刚度相差均小于 10%。工程人员可直接查表布筒进行楼盖设计,设计时应注意:楼板的厚度不应小于 180 mm;为了保证为第一类截面受力,应使板上、下翼缘厚度相等且不小于 40 mm。

表 1 不同厚度空心楼盖的刚度折减系数表

Tab. 1 Stiffness reduction factors of different thickness hollow floors

板厚 t/mm	筒芯直径 d/mm	上下翼缘 $t_1=t_2$ $/\text{mm}$	顺筒肋宽 a/mm	筒芯中心距 $l_s=a+d$ $/\text{mm}$	垂直筒向折 减系数 k_s	径厚比 d/t	顺筒向折 减系数 k_x	k_s/k_x	空心率
200	100	50	60	160	0.909	0.50	0.954	1.050	0.245
200	120	40	60	180	0.844	0.60	0.915	1.085	0.314
250	120	65	60	180	0.914	0.48	0.957	1.047	0.251
250	150	50	60	210	0.839	0.60	0.909	1.084	0.336
300	150	75	60	210	0.901	0.50	0.947	1.051	0.280
300	180	60	60	240	0.835	0.60	0.905	1.083	0.353
350	200	75	60	260	0.855	0.57	0.915	1.071	0.345
350	220	65	60	280	0.807	0.63	0.885	1.096	0.388
400	220	90	60	280	0.868	0.55	0.923	1.063	0.339
400	250	75	60	310	0.809	0.63	0.884	1.093	0.396
450	220	115	60	280	0.902	0.48	0.946	1.049	0.302
450	250	100	60	310	0.863	0.56	0.919	1.064	0.352
450	280	85	60	340	0.810	0.62	0.883	1.090	0.402
500	280	110	60	340	0.859	0.56	0.915	1.065	0.362
500	300	100	60	360	0.828	0.60	0.894	1.079	0.393
550	280	135	60	340	0.890	0.51	0.936	1.052	0.329
550	300	125	60	360	0.868	0.55	0.920	1.060	0.357
550	350	100	60	410	0.794	0.64	0.870	1.096	0.426
600	300	150	60	360	0.894	0.50	0.939	1.050	0.327
600	350	125	60	410	0.840	0.58	0.900	1.072	0.391

说明:①按表 1 布筒时上下翼缘厚度应保证相等,且不小于 40 mm;②空心率表示区格中布管区域的空心率;③表中 k_s 、 k_x 值由式(4)、(6)计算得到;④按表 1 布筒时,若筒不通长布置,对于横筒肋宽 b 的取值: b 应不小于 50 mm。

在实际工程应用中,筒芯不一定像图 1 那样通长布置,这样就出现了横筒肋宽 b (如图 2)。而公式(6)、(7)的推导忽略了横筒肋宽的影响,横筒肋宽的存在使垂直筒方向刚度有所增加,但增加不多。由表 1 数据知,垂直筒方向刚度明显小于顺筒方向刚度,垂直筒方向刚度增加一点会使两向刚度更加接近,空心楼盖会更接近于各向同性,运用 PKPM 软件电算结果会更精确。

以上讨论的均为布置筒状芯模的空心楼盖设计,若芯模为方盒状,板的两向截面均为“工”字形且刚度相等,显然可以运用以上介绍的思路运用 PKPM 软件进行电算。

3 工程应用

3.1 工程概况

某中学教学楼位于豫东地区,为砌体混合结构。主体 4 层,结构总高度 17.970 m,标准层高

3.6 m。4 间大教室(7 000×10 000)跨度和荷载均较大,若采用普通梁板结构亦能满足设计要求,为了减轻自重和降低层高,同时也为了满足降低噪音的功能要求,经综合比较决定在大教室楼盖的设计上采用现浇混凝土空心无梁楼盖。

3.2 结构设计及计算

该结构为砌体混合结构,大教室的楼盖四周均支承在砌体墙上,显然为边支承楼盖。楼盖设计为 300 mm 等厚平板,采用圆形筒芯,筒径为 200 mm,筒长为 1 000 mm。根据受荷情况和试算,本工程沿 7 m 跨度方向边暗梁截面尺寸为 440 mm×300 mm,中间暗梁截面为 640 mm×300 mm;沿 10 m 跨度方向暗梁截面为 410 mm×300 mm;布筒方向平行于 7 000 mm 跨度方向。查表 1 取顺筒肋宽 a 为 60 mm,横筒肋宽 b 取 70 mm,顺筒方向每跨内布置 36 根,横筒方向每跨布置 6 根。板孔隙率 37.6%,折算厚度为 187.1 mm。

采用 PKPM 软件进行电算时,板厚输入为 300 mm,但不让系统自动计算板重.将空心板按折算厚度求出实际自重作为恒载输入系统,其它输入同实心板.筒芯布置及断面配筋构造如图 5、图 6.

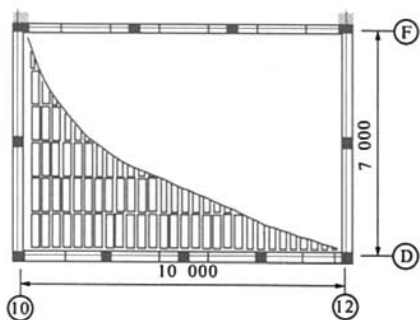


图 5 筒芯布置图

Fig. 5 Tube fillers collocation

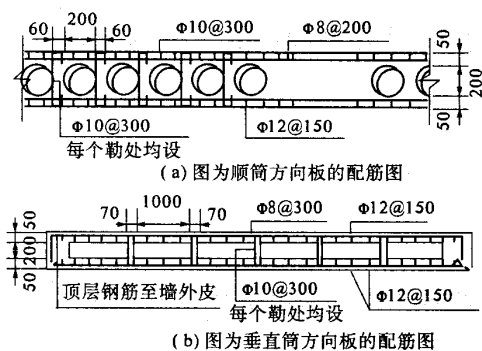


图 6 配筋构造详图

Fig. 6 Constructional details of the reinforced bars

4 结束语

现浇混凝土空心无梁楼盖在实际应用中遇到的最大问题是结构的设计和计算.本文对边支承楼盖的受力及设计进行了分析和探索,提出了可以在 PKPM 软件中将空心板按等厚实心板计算的设计思路和方法,并绘制相关表格供设计人员参考.以某中学教学楼为设计实例,叙述了相关设计方法及表格的应用.该法设计输入简便,利于空心楼盖技术的推广.

参考文献:

- [1] CECS175:2004, 现浇混凝土空心楼盖结构技术规程[S].
- [2] 张洪学,张云龙,白成祥.边支承现浇空心板设计计算与软件实现[J].建筑结构,2006,36(3):91-93.
- [3] A. H. 尼尔逊[美]著.过镇海,方鄂华,庄崖屏,等.译校.混凝土结构设计(第12版)[M].北京:中国建筑工业出版社 2003:308-326.
- [4] 高仲学.圆管式无柱帽空心无梁楼盖的试验研究[D].南京:东南大学博士论文 2003:18-22.
- [5] Elliott G. Clark L A. Circular voided concrete slab stiffnesses[J]. Journal of the Structural Div, AS CE, 1982,108:2379-2393.
- [6] 吴家龙.弹性力学[M].北京:高等教育出版社 2003:316-343.

The Analysis and Design of the Side Supporting Cast - in - situ Hollow Floor

LIU Li - xin¹, LI Hai - tao¹, YU Qiu - bo^{1,2}, XIE Li - li^{1,2}, WANG Li - ping¹

(1. School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Zhengzhou University Multi - functional Design and Research Academy, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: This paper introduces the design principle of cast - in - situ reinforced concrete hollow floor, the design method of side supporting hollow floor, stiffness account and so on. Based on the stipulation in CECS175^[1], when the phase contrast between the stiffness along the tube filler and vertical the tube filler does not exceed 10%, the aeotropism of the floor can be neglected and the same inner force analysis might be used. How to realize the design of side supporting hollow floor in PKPM software is analyzed. The design method that we can compute hollow floor as solid floor in PKPM is put forward. Related table is also presented as references for designers.

Key words: side supporting; horizontal rib; design; stiffness; tube filler; PKPM