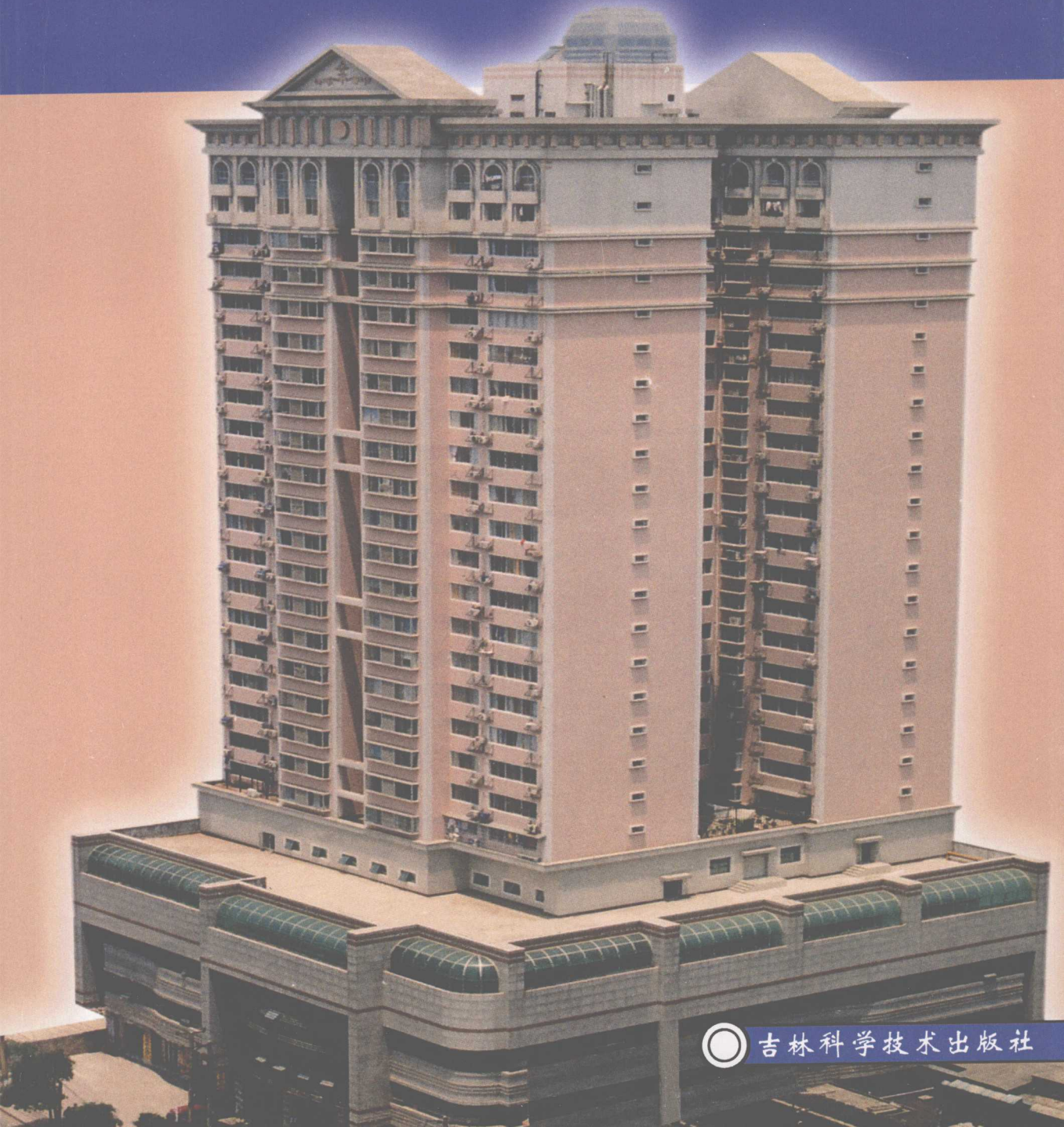
X D J Z S G Y X M G L

现代建筑施工与项目管理

湖南省土木建筑学会/ 主编



吉林科学技术出版社

X D J Z S G Y X M G L

现代建筑施工与项目管理

◇优秀论文汇编◇

主　编　湖南省土木建筑学会

编委会　顾问：唐道明　陈火炎

主任：杨承惁　方东升

委员：陈　宇　蒋立红　李光中　钟海清

杨兴川　王孟钧　邓铁军　杨伟军

王亚平　戴习东　朱　林　郭秋菊

晏绍明　李昌友　赵　波

吉林科学技术出版社

封面说明

湖南省城市公用事业培训中心及高层住宅楼工程，由湖南省第五工程公司承建，总建筑面积 32000m²，建筑总高度 92.7m，地下 2 层，地上 26 层，结构形式为框架——剪力墙结构体系。该工程于 1999 年 6 月 1 日开工，2000 年 12 月 28 日竣工并投入使用，是我省民用建筑施工难度大、科技含量高的重点工程项目之一。

在施工过程中，广泛采用新技术 、新工艺、新材料，积极推广应用“建筑业十项新技术”。如：深基坑支护、高性能混凝土、粗直径钢筋竖向连接、现浇空心板楼盖结构、钢框竹胶板大模板、电动升降脚手架、粘土陶粒空心砌块、轻质墙板、建筑防水新技术、建筑企业管理信息化技术等。特别是应用数量大、应用效果好，既提升了工程施工信息化、降低工程成本、加快了施工进度，又保证了工程质量。

工程连续两年被评为“湖南省施工现场综合考评样板工程”；1999 年建设部工程质量大检查中获湖南省建设系统受检工程总分第一名；2001 年经湖南省建筑业新技术应用示范工程验收，其整体质量水平居国内领先地位。“厨、卫防水施工质量控制”、“装饰工程细部线角施工质量控制”两个质量控制“QC”小组被评为全国建设工程优秀质量管理小组。2002 年荣获国家优质工程“中国建筑工程鲁班奖”。工程投入使用至今，用户反应良好，经过两次回访，用户满意度 100%。其新颖的造型、优良的装饰装修、过硬的工程质量，得到社会各界的高度赞誉！这标志着我省建筑湘军在建筑科技进步和建筑技术创新上取得了辉煌的成就。

内容简介

该书汇编建筑科技，特别是施工技术和项目管理相关的优秀论文，内容涉及建筑施工与项目管理、综述、理论与应用、地基基础及其处理、施工技术与施工组织、建筑经济与项目管理，反映建筑科技和管理的最新进展。可供高校师生、建筑行业科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代建筑施工与项目管理/湖南省土木建筑学会编．
长春：吉林科学技术出版社，2007.6
ISBN 978-7-5384-3505-4
Ⅰ．现…　Ⅱ．湖…　Ⅲ．建筑工程—工程施工—项目管理—文集　Ⅳ．TU71-53
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 072846 号

现代建筑施工与项目管理
湖南省土木建筑学会　主编
责任编辑：李梁　赵鹏　　封面设计：殷健工作室
*
吉林科学技术出版社出版、发行
长春市康华彩印厂印刷
*
787×1092 毫米　16 开本　23.5 印张　762 千字
2007 年 6 月第 1 版　2007 年 6 月第 1 次印刷
定价：48.00 元
ISBN 978-7-5384-3505-4
版权所有　翻印必究
如有印装质量问题，可寄本社退换
社址　长春市人民大街 4646 号　邮编　130021
发行部电话　0431—5677817　5635177
电子信箱　JLKJCBS @ public. cc. jl. cn
传真　0431—5635185　5677817
网址　www. jkcbs. com　实名　吉林科技出版社

前　言

《现代建筑施工与项目管理》一书，其内容侧重于绿色建筑施工，突出体现了“绿色”这一具有生命和生长的涵义，它是活力和希望的象征，同时也构建了可持续发展的理念。当前推行绿色建筑施工已成为生态建筑和生态环境赖以实施的重要方法和手段。通过它可以使建筑物和居住区形成一个节约能源、保护环境、延长建筑物使用寿命的物质良性循环系统，使人类生存在一个和谐的可持续健康发展的空间之中。

随着我国工业化、城市化的快速发展，由于目前凸现少有的经济增长高位运行和粗放型的增长，使资源匮乏和生态环境问题尖锐，正成为社会经济持续发展的瓶颈与障碍。因此，研究与推行绿色建筑施工，开展工程项目科学管理，乃是当今建筑发展严峻而急切的课题。近年来，湖南省建筑业审时度势在深化改革和锐意创新的同时，针对绿色建筑施工与项目管理的理论分析技术研究和工程实践等方面取得令人瞩目的进展和成就，积累了丰富的实践经验。例如：湖南省建筑工程集团总公司组织集团所属各公司以工程为对象、工艺为核心、先进技术和科学管理相结合，编制了多项工艺合理、技术成熟、适应性和可操作性强，取得了显著的经济效益和社会效益，通过专家审定的省级工法，有的将申报国家级工法。这批工法的工艺技术特点就显示了绿色建筑施工和项目管理在质量、安全、造价等技术经济效能方面的先进性和新颖性。其次是湖南省第六工程公司大力推广应用“建筑业十项新技术”，承建的新技术应用数量大、科技含量高，处于国内领先进水平的省级新技术示范工程——中南大学湘雅附二医院第二住院大楼工程项目荣获2006年度中国建筑工程“鲁班奖”。在中南大学、湖南大学和长沙理工大学等我省高等院校主持研究的自密式高性能混凝土的制备、空心砖墙砌体等一系列绿色建筑技术的科研项目也取得了丰硕的成果。总之，我省建筑业在技术创新和促进建设科技进步，在加快湖南省新型工业化和城市化进程中，为促进湖南经济又好又快发展作出了新的贡献。湖南省土木建筑学会主编的《现代建筑施工与项目管理》是在2007年施工专业学术委员会年会和学术交流会的优秀论文集，经过省内知名专家、教授认真评审，优选其中101篇，按专题分类汇编成册，全书分四篇：

第一编　综述、理论与应用

第二编　地基基础与处理

第三编　施工技术与施工组织

第四编　建筑经济与项目管理

书中注重理论联系实际，突出技术创新和科技进步的特点，反映了我省建筑科技与项目管理技术研究和应用的最新进展，内容具有前瞻性，可操作性和实用性。

在我国今年国民经济和社会发展的主要目标中提出的优化结构、提高效益、降低消耗、保护环境等一系列重大战略决策的指引下，我们期望全省广大建筑科技人员和百万建筑湘军共同努力使我省建筑业立足湖南，面向全国、走向世界，不断提升建筑产品质量和增强国际竞争能力，并加快构建和形成“建筑企业——高等院校——科研院所”互动的战略合作格局，依托“学会——协会——互联网络”平台的桥梁纽带作用跟踪国际信息和动态，进行学术交流，推动科技成果转化和促进科技进步。并坚持科学发展观，勇于探索，自主创新，以优异的成绩，为“中部崛起”和把我国建设成民主文明和谐社会的现代化国家而奋斗。

目录

第一篇　综述、理论与应用

现浇混凝土筒芯楼盖的塑性绞线分析法 …… 杨建军　杨承惁　方东升(3)
梁开裂后刚度对钢筋混凝土板受力性能的影响 …… 蒋　琳　杨建军　赵　磊(8)
绿色建筑技术的发展 …… 王爱军(11)
绿色建筑技术应用分析 …… 刘伏英(15)
应用 AHP 法评判高速公路路段通行能力 …… 刘鸿斌　张亚平　胡章立(18)
GZ 高分子合金组合芯模在现浇空心楼盖结构中的应用 …… 谢大江(22)
有限元数值模拟在钢筋混凝土中的应用 …… 罗文隽(26)
连续曲线箱梁桥温度效应分析 …… 吴建良(30)
粉煤灰对混凝土孔结构的影响 …… 贺海山(35)
泵送防辐射混凝土的配合比设计 …… 李　曦　寇德林　杨琼辉(38)
对常德广德花苑小区节能设计的探讨 …… 王　宁　李栋森(41)
工具式悬挑外脚手架的设计验算 …… 肖俭良　邓又坚(44)
单跨框支墙梁的设计 …… 刘　荣(49)
地基变形的计算和控制 …… 黄绘霖(53)

第二篇　地基基础及其处理

软土地基基坑土钉一水泥搅拌桩联合支护施工技术 …… 郭秋菊(61)
双向紧邻运行地铁的特大型深基坑支护设计与施工 …… 张志远　张应文　张湘林(64)
岩溶地区人工挖孔桩施工技术处理 …… 管才铭　罗育方(69)
深基坑开挖及喷锚支护施工技术总结 …… 谭凤吉　甘建波(72)
抗滑锚固桩的设计 …… 刘　荣　黄绘霖(78)
淤泥质软土地基中基础施工浅谈 …… 李雄辉(80)
几种桩基础的设计、施工与检测 …… 喻文峰　王阳平　彭春雷　陶国薇(83)
浅谈桥头跳车的产生原因及防治措施 …… 谭超民(86)
丘陵地区路基施工中软土地基勘探与处治 …… 谢建华　王　杰　陈万明(89)
某人工挖孔桩塌孔、涌水事故的原因分析 …… 陈家广　李栋森(92)
砂土地基强夯施工收锤标准的探讨 …… 周发兵(94)
论地基处理方法之级配碎石换填法 …… 孙　智　张振翔(97)
某边坡失稳原因分析与处理对策 …… 赵　维(101)
微振爆破技术在人工挖孔桩施工中的应用 …… 范伟阳(104)

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

株洲电厂锅炉钢架基础无垫铁地脚螺栓施工技术 …… 谢奇云(107)
旋挖钻孔灌注桩在软土地基中的应用 …… 徐昆明(110)

第三篇　施工技术与施工组织

高耸烟囱钢内筒气顶倒装法施工技术研究与应用 …… 朱　林　匡　达(115)
商品混凝土裂缝的控制 …… 陈光乐　廖　宏(121)
砌墙用煤渣砖收缩与爆膨事故的反思 …… 彭砥如　王跃来(124)
外墙外保温墙体施工技术及应用 …… 赵　波　熊君放(127)
清水混凝土施工技术 …… 杨邵平(131)
浅谈搅拌桩防渗墙施工质量控制 …… 熊敬岿(134)
浅谈混凝土的施工温度与裂缝 …… 熊敬岿(137)
某体育馆施工测量控制 …… 王　勇(140)
关于地下室混凝土的裂缝控制技术 …… 杨邵平(144)
薄壁空心管无梁楼盖的施工 …… 曾国宏(148)
基础大体积混凝土温度监测和控制 …… 管才铭(152)
长沙贺龙体育场圆弧形剪力墙施工技术 …… 张积武(155)
三汊矶大桥盖梁现浇施工技术 …… 李　朝　伍灿良(158)
多、高层框架考虑施工过程的分析 …… 杨　柳(162)
湖南省游泳跳水中心工程大空间异形钢结构施工 …… 李　勤　王念恒　彭　锋(165)
市政工程施工中复杂管网的技术保护措施 …… 伍文伟　陈世平　肖安保(168)
倒锥镙旋发散型圆弧混凝土筒体悬挑架支模工艺 …… 汪进德　聂润余　钟昌富(173)
某大学体育馆双曲抛物组合扭壳结构施工管理技术
…… 李　伟　彭　铃　徐景新　曾垂金(180)
水泥深层搅拌桩在电厂除灰水泵房中的应用 …… 尹盛霖　匡　达　尹　超(183)
无粘结预应力技术在商办楼建筑物中的应用 …… 雷子胜(186)
浅谈蒸发分离器的碱脆现象及其控制 …… 吴志彬(190)
建筑给水中管材的选用与施工 …… 罗朝伏(193)
浅谈工字钢悬挑式脚手架在工程中的应用 …… 张国耘　李　丹(198)
240m 单筒式烟囱电动升模外架单爬施工技术 …… 匡　达　朱　林　尹盛霖(202)
屋面渗漏水成因与防治探讨 …… 尹汉民(206)
控制图在烟囱施工质量中的应用 …… 江晓峰　匡　达(209)
模板倒塌事故分析 …… 姚飞翔(212)
长螺旋钻孔泵压混凝土施工技术与应用 …… 杜　菁　吴文林　周　健(215)
现浇楼面裂缝的防治措施 …… 肖杰才(218)
关于环形无粘结预应力的施工 …… 李再春(221)
关于万国商业广场结构加固的施工 …… 傅　刚(223)
超高单边支模清水砼挡墙模板体系设计 …… 何昌杰　谢　丰(228)
高层住宅现浇混凝土外墙外保温体系的施工实践
…… 史建锋(233)
广州天河公园商住楼工程转换层巨型梁施工技术
…… 刘　顿　王立平　周果林　隆四明(237)

框架—剪力墙结构加固改造技术综述 …… 蔡其福(241)
浅谈悬臂挂篮施工技术在大跨径连续 T 构梁桥中的应用
…… 谢开武 张 良 戴贵铸 丁少华(246)
新型陶土板幕墙施工技术 …… 李廷勇 郭勇元(252)
湘潭市中心医院住院大楼新技术应用 …… 彭 勇(257)
泵送大体积砼设备基础裂缝控制浅议 …… 王桂江(264)
某大型污水池预应力池壁开裂问题的几点探讨 …… 柳广林(267)
某教学楼现浇楼板裂缝的防治 …… 江世喜(270)
高层建筑裂缝成因分析与防治措施 …… 刘益民(273)
粉煤灰加气砼砌块墙体抗裂浅探 …… 邓自才(275)
止水和降水在电厂主厂房基础施工中的应用 …… 尹 超 匡 达 尹汉民(278)
剥肋滚压直螺纹粗钢筋连接技术在工程中的应用 …… 汤 平 刘帅元 付松柏(281)
套筒式烟囱电动提模施工技术 …… 何格利(284)
大体积混凝土裂缝成因与控制 …… 陈 攀 廖 宏(287)
外墙聚苯颗粒保温砂浆在某住宅工程中的应用 …… 刘百平 陈 涛(290)
工程事故中高强灌浆料的修补与加固的运用 …… 刘益民(293)
新宁大兴水电站双曲拱坝混凝土冬季施工质量控制 …… 马宏伟(296)
外墙保温的施工技术 …… 郑明仕(298)
浅析大型钢箱梁焊接中的变形及其控制 …… 皮翠娥(300)
楼板裂缝的成因与防治 …… 曾国红 廖 宏(304)
住宅防渗漏、防裂缝技术分析 …… 李 丹 张国耘(307)
悬挑梁的接长改造与加固 …… 陈迎春 廖 宏(309)
化学锚栓配合粘钢加固施工技术 …… 赵东方(312)

第四篇 建筑经济与项目管理

温福铁路客运专线五里河大桥施工组织与管理要点简析 …… 崔红琴 王孟钧(317)
砖混结构大空间改造双梁置换承重墙施工工法 …… 郭秋菊(321)
价值工程方法在建筑安全管理中的应用研究 …… 玉小冰 方东升(324)
浅谈施工合同谈判技巧 …… 游团辉(328)
关于实施建设工程质量保险制度的建议 …… 谷 一(330)
弘扬科学发展观,建立施工项目环境控制达标模式 …… 吴 益(333)
施工企业怎样搞好大型项目管理 …… 徐 旭(336)
对我国监理行业发展的思考 …… 玉小冰 左恒忠(339)
视频监控在施工现场的运用 …… 黄仁清 唐明英(342)
配筋小型混凝土空心砌块剪力墙结构施工工法 …… 龚学斌(345)
工程承包风险分析与对策 …… 张佳栋 左恒忠(351)
编制招标工程量清单需要注意的问题 …… 陈 涛 刘百平(354)
建筑工程项目成本管理浅析 …… 黄 坚(358)
大跨度预应力拱板屋架施工及经济分析 …… 周彩文(361)
建筑施工项目管理探微 …… 戈应国(364)

第一篇

综述、理论与应用

现浇混凝土筒芯楼盖的塑性绞线分析法

杨建军[1]　杨承恕[1]　方东升[2]

（1. 中南大学土木建筑学院，湖南 长沙　410075；2. 湖南省第六工程公司，湖南 长沙　410015）

摘　要　本文介绍了现浇混凝土筒芯楼盖按塑性理论计算的极限分析法—塑性绞线法；用塑性铰线法计算足尺试验中楼盖的极限荷载，并将它与试验结果作比较，两者吻合较好，表明用塑性铰线法来计算现浇混凝土筒芯楼盖的极限荷载是可行的。

关键词　现浇混凝土筒芯楼盖；足尺试验；塑性绞线法；极限荷载

引　言

混凝土楼盖的极限承载能力可用塑性极限分析法求解。特别是形状和荷载比较规则的双向板，受力分析可采用属于极限分析方法的塑性绞线或板带法进行设计，计算和构造都比较简单，且安全可靠。现浇混凝土筒芯楼盖的受力性能同实心楼盖非常相似，因此可以参照实心楼盖的设计理论进行设计。本文用塑性绞线法来计算足尺试验中楼盖的极限承载力，将计算结果与试验值进行比较，来具体探讨这种方法用于现浇混凝土筒芯楼盖设计计算的可行性。

1　塑性绞线法简介

塑性绞线法又称屈服线法，是由英格斯列夫(Ingerslev)首先提出，并由乔汉生进行了广泛的推广和改进。同弹性理论分析法不同的是，屈服线理论极限分析法是一种上限法，对于给定的板格，用塑性绞线法求得的极限荷载是正确的或是偏大的。只有采用了正确的破坏机构求出的极限荷载才是正确的。因此，有必要检验所有的破坏机构以保证不高估板的极限承载力。

塑性绞线理论假定的是一种受弯破坏模式，因此要求楼盖要有足够的抗剪强度以防止发生剪切破坏；楼盖必须有一定的延性以形成破坏机构—塑性绞，这就要求在楼盖内配置一定数量的钢筋。

根据塑性绞线理论，当给出楼盖的破坏机构以后，一般可以用两种方法确定其极限荷载[1]。一种是虚功原理分析法，即假定塑性绞线模式的各分块为刚体，该刚体在力系作用下发生任意小的虚位移，处于平衡状态下的分块上的力系所做的虚功为零，虚功原理法的基本方程如式(1)[2]；另一种是平衡方程分析法，即考虑塑性绞线模式的各个独立分块在其弯矩、扭矩、剪力及外荷载作用下的平衡条件，再根据平衡条件列出平衡方程求解。

$$\sum W_u\Delta = \sum m_{wn}\theta_n l_o \tag{1}$$

式中：W_u—屈服模式中一个分块上的总荷载；Δ—上述荷载在其形心处向下的位移；m_{wn}—单位宽度极限抵抗弯矩；θ_n—两分块对屈服线的相当转角；l_o—屈服线长度；

2　试验研究[3]

2.1　试验模型

本试验为现浇混凝土筒芯楼盖的足尺试验，板格尺寸为 6000×6000mm，周边悬挑 1500mm，板厚为 200mm，明梁截面为 250×800mm，BDF 筒芯沿南北向布置，直径为 120mm，中心间距为 160mm，肋宽 40mm，筒芯距上、下表面均为 40mm。层高 3000mm，柱截面尺寸为 300×300mm，基础为柱下独立基础。

混凝土采用 C20，板内底层配筋为双向 HPB235 级钢筋 Φ6.5@160，顶层配筋为双向 HPB235 级钢筋 Φ8@160，箍筋为 HPB235 级钢筋，楼盖的结构布置和配筋详图如图 1 所示。

2.2　加载方案

本试验采用静力分级堆载，堆载物选用沙子和混凝土块，沙子每袋 0.5kN，混凝土块每块 4kN。正式

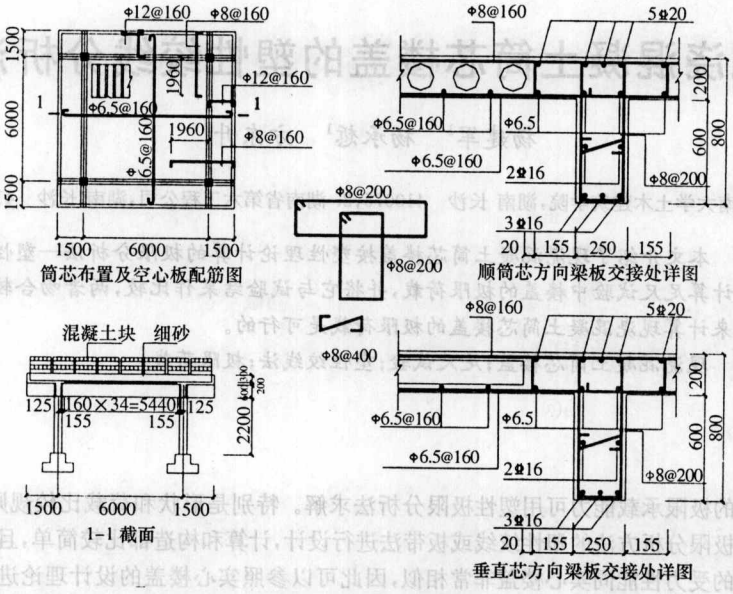


图 1　楼盖结构布置及配筋详图

加载之前预载 1kN/m² 沙子，以检查仪器工作是否正常。荷载分级施加，分级加载完成后的持载时间为 10min。试验分 23 级加载，试验加载示意图如图 2 所示。

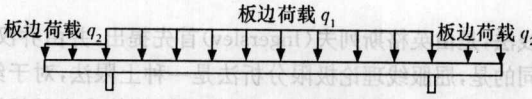


图 2　结构加载简图

2.3　试验中现浇混凝土筒芯楼盖的破坏模式

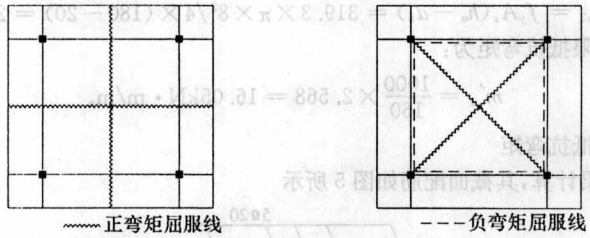
足尺楼盖在均布荷载作用下的试验表明：在裂缝出现之前，现浇混凝土筒芯楼盖基本处于弹性工作阶段；在第 5 级荷载时（$q_1=5.5\text{kN/m}^2$，$q_2=5.5\text{kN/m}^2$），梁跨中出现竖向裂缝，并延伸至梁板交界处；随着荷载的增加，筒芯板中部底面出现裂缝，并很快向两边延伸至梁边，而梁上裂缝继续向两侧开展；在第 9 级荷载作用时（$q_1=13.1\text{kN/m}^2$，$q_2=13.1\text{kN/m}^2$），板格中部形成裂缝带，大致呈“井”字形，且板底裂缝与梁上竖向裂缝贯通；荷载继续增加，梁支座附近开始出现斜裂缝，且数量众多，板格四周处产生斜裂缝，梁和板中部出现新裂缝的速度减慢；作用第 22、23 级荷载时，梁跨中部位外侧竖向裂缝宽度急剧增加，内侧裂缝宽度有所减小，有闭合的趋势，梁支座处的斜裂缝延伸至板底，与板上裂缝贯通，而板角四周也出现较多斜向裂缝，板跨中处裂缝更多开展贯通，呈蜂窝状，东西向形成主裂缝，裂缝宽度达到 1.62mm，该楼盖破坏（试验以裂缝达到 1.5mm 为破坏标志[4]）。在第 23 级荷载（$q_1=31.9\text{kN/m}^2$，$q_2=11.1\text{kN/m}^2$）刚加完时，板底在南北方向尚未形成明显的主裂缝，但持载 24h 后，也形成了明显的主裂缝，整个楼盖形成双向“十”字形主裂缝，而且通过主裂缝的钢筋已经屈服，这样现浇混凝土筒芯楼盖的破坏机构就形成了。

卸载后，发现现浇混凝土筒芯楼盖顶面明梁内侧边的加强带边上形成一周裂缝，但并没有形成裂缝带，且此处的钢筋没有达到屈服。因此试验中的楼盖破坏时仅形成了正塑性铰线，而没有负塑性铰线。

从理论上说，楼盖中的梁和板具有相同的可靠度，在双向板楼盖的极限分析中，只考虑板发生破坏而不考虑梁板共同破坏是不全面的，应该按梁—板破坏机构的塑性铰线对楼盖进行极限分析。本试验中的现浇混凝土筒芯楼盖的破坏机构就是典型的梁—板破坏机构。

这种十字交叉中顶塑性绞线（见图 3a）与四边支承的普通楼盖的 45°塑性绞线有本质区别。当梁的刚度和承载力远大于板，梁可以看作是板的刚性支承时，才可能形成图 3b 的塑性铰线模式。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com



(a)“十字交叉”塑性铰线　　(b) 45°塑性铰线

图 3　现浇混凝土筒芯楼盖的破坏模式

3　求试验中足尺楼盖的极限抵抗弯矩

跨中处筒芯板底层配有 Φ6.5@160@160 的钢筋，顶层没有配筋；支座处筒芯板底层配有 Φ6.5@160 的钢筋，顶层配有 Φ8@160 的钢筋；梁底配有 3 @160 的钢筋，顶部设暗梁加强带为 5Φ20；板厚为 200mm，筒芯直径为 120mm，肋宽为 40mm，配筋如图 1 所示。

筒芯板的承载力可以按照等效“工”字形截面来计算。以一个筒芯孔为计算单元，将该计算单元根据截面面积等效、抗弯刚度等效的原则等效为“工”字形截面，如图 4 所示。实测 Φ6.5 的屈服强度为 326.67MPa，Φ8 的为 319.3MPa，Φ16 的为 515.5MPa，Φ20 的为 537.7MPa，混凝土轴心抗压强度设计值 f_c=12.8MPa。

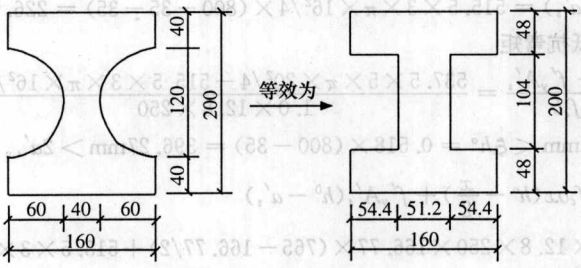


图 4　筒芯板的计算单元

楼盖的抗弯承载力可以按照现行的《混凝土结构设计规范》(GB50010)[5]进行计算。

1)筒芯板跨中的极限抵抗弯矩

$$a_1 f_c b'_f h'_f = 1.0\times 12.8\times 160\times 48 = 98.304\times 10^3\text{N。} \tag{1}$$

$$f_y A_s = 326.67\times \frac{1}{4}\pi\times 6.5^2 = 10.84\times 10^3\text{N。} \tag{2}$$

$$\because f_y A_s < a_1 f_c b'_f h'_f$$

$\therefore$ 该截面为第一类 T 形截面

则由 $f_y A_s = a_1 f_c b'_f x$ 得 $x=\dfrac{10.84\times 10^3}{1.0\times 12.8\times 160}=5.29\text{mm}$。

$$\xi_b = 0.614,\qquad \alpha_{sb} = 0.425$$

$$x < \xi_b h_o = 0.614\times 180 = 110.52\text{mm。}$$

$$M_{u1} = a_1 f_c b'_f x(h_o - \frac{x}{2}) = 1.0\times 12.8\times 160\times 5.29\times (180-\frac{5.29}{2}) = 1.922\text{kN}\cdot\text{m。} \tag{3}$$

则单位宽度板的极限抵抗弯矩为：

$$m_u = \frac{1000}{160}\times 1.922 = 12.013\text{kN}\cdot\text{m/m。} \tag{4}$$

2)筒芯板支座处的极限抵抗弯矩

$$x = \frac{f_y A_s - f'_y A'_s}{a_1 f_c b'_f} = \frac{319.3\times\pi\times 6.5^2/4}{1.0\times 12.8\times 160} = 3.24\text{mm} < 2a'_s\text{。} \tag{5}$$

$$M_{u2} = f_y A_s (h_o - a'_s) = 319.3 \times \pi \times 8^2/4 \times (180 - 20) = 2.568\text{kN} \cdot \text{m}。 \tag{6}$$

则单位宽度板的极限抵抗弯矩为：

$$m'_u = \frac{1000}{160} \times 2.568 = 16.05\text{kN} \cdot \text{m/m}。 \tag{7}$$

3)梁跨中处的极限抵抗弯矩

将梁简化为“T”形梁计算，其截面配筋如图 5 所示

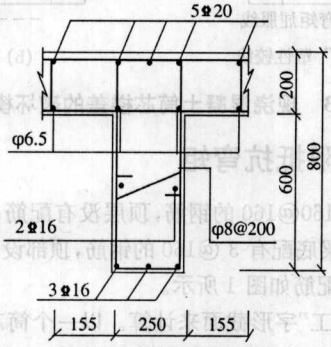


图 5　梁截面配筋图

$\because x < 2a'_s$

$$\therefore M_u = f_y A_s (h^o - a'_s) = 515.5 \times 3 \times \pi \times 16^2/4 \times (800 - 35 - 35) = 226.98\text{kN} \cdot \text{m}。 \tag{8}$$

4)梁支座处的极限抵抗弯矩

$$x = \frac{f_y A_s - f'_y A'_s}{a_1 f_c b} = \frac{537.5 \times 5 \times \pi \times 20^2/4 - 515.5 \times 3 \times \pi \times 16^2/4}{1.0 \times 12.8 \times 250}$$

$$= 166.77\text{mm} < \xi_b h^o = 0.518 \times (800 - 35) = 396.27\text{mm} > 2a'_s。 \tag{9}$$

$$M'_u = \alpha_1 a_1 f_c b x (h^o - \frac{x}{2}) + f'_y A'_s (h^0 - a'_s)$$

$$= 1.0 \times 12.8 \times 250 \times 166.77 \times (765 - 166.77/2) + 515.5 \times 3 \times \pi \times 16^2/4 \times (765 - 35)$$

$$= 590.73\text{kN} \cdot \text{m}。 \tag{10}$$

4　用塑性绞线理论求试验中现浇混凝土筒芯楼盖的极限荷载

本试验为短期荷载足尺试验，通过试验得到了楼盖的破坏模式如图 6(b)所示。有了楼盖的正确破坏模式，就可以用塑性铰线理论求其极限荷载，结构简图如图 6(a)所示。设楼盖在 x、y 方向上的单位宽度正极限抵抗弯矩分别为 m_{ux} 和 m_{uy}；m_{ux} 和 m_{uy} 为梁上的正极限抵抗弯矩；楼面上作用的单位面积极限荷载为 w_{u1} 和 w_{u2}。楼盖板悬挑部分自重为 5kN/m²，筒芯板部分自重为 3.4kN/m²。用虚功原理法即可求解出其极限荷载。

令板的中心产生一个向下的虚位移 δ，则各分块对各屈服线的总转角为 $2 \times [\delta/(l/2)] = 4\delta/l$，屈服线的长度为 $3l/2$。

内力所作的功为：

$$\sum m_{un} \theta_n l_o = m_{ux} \cdot \frac{3}{2} l \cdot 4\delta/l + 2M_{ux} \cdot 4\delta/l + m_{uy} \cdot \frac{3}{2} l \cdot 4\delta/l + 2M_{uy} \cdot 4\delta/l$$

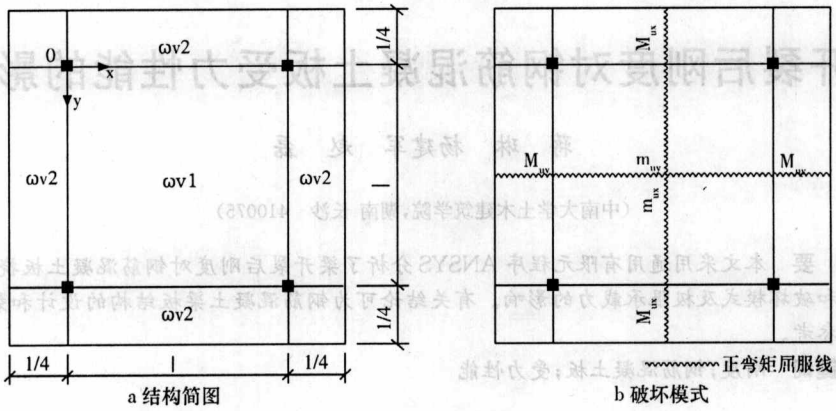
$$= 6\delta(m_{ux} + m_{uy}) + 8\delta(M_{ux} + M_{uy})/l_o。 \tag{11}$$

外力所作的功为：

$$\sum W_u \triangle = 2(w_{u1} \cdot l \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{\delta}{2} + w_{u2} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{\delta}{2} - w_{u2} \cdot \frac{3}{2} l \cdot \frac{l}{4} \cdot \frac{\delta}{4})$$

$$= \frac{1}{2} w_{u1} l^2 \delta + \frac{1}{16} w_{u2} l^2 \delta。 \tag{12}$$

由式(1)得：



a 结构简图　　b 破坏模式

图 6　试验中现浇混凝土筒芯楼盖的破坏模式

$$\frac{1}{2}w_{u1}l^2\delta+\frac{1}{16}w_{u2}l^2\delta=6\delta(m_{ux}+m_{uy})+8\delta(M_{ux}+M_{uy})/l$$

$$w_{u1}+\frac{1}{8}w_{u2}=\frac{12(m_{ux}+m_{uy})}{l^2}+\frac{16(M_{ux}+M_{uy})}{l^3}。\tag{13}$$

由于楼盖在两个跨度方向上配有相同的钢筋，所以在所有方向上单位宽度极限抵抗弯矩为定值，即有 $m_{ux}=m_{uy}=m_u$，$M_{ux}=M_{uy}=M_u$，则

$$w_{u1}+\frac{1}{8}w_{u2}=\frac{24m_u}{l^2}+\frac{32M_u}{l^3}。\tag{14}$$

若取 $w_{u2}=11.1+5=16.1\text{kN/m}^2$，并将前面算得的 $m_u=12.013\text{kN}\cdot\text{m/m}$，$M_u=226.98\text{kN}\cdot\text{m}$，代入式(3)得

$$\begin{aligned}w_{u1}&=\frac{24m_u}{l^2}+\frac{32M_u}{l^3}-\frac{1}{8}w_{u2}\\&=\frac{24\times12.013}{6^2}+\frac{32\times226.98}{6^3}-\frac{1}{8}\times16.1=39.6\text{kN/m}^2。\end{aligned}\tag{15}$$

而试验中楼盖破坏时，$w_{u1}=31.9+3.4=35.3\text{kN/m}^2$，$w_{u2}=16.1\text{kN/m}^2$，这个值与理论计算比较接近，说明用塑性铰线理论来计算现浇混凝土筒芯楼盖的极限荷载是可行的。

5　结　论

通过对比理论计算结果和试验结果，可以得出如下结论：

1)试验中的现浇混凝土筒芯楼盖的破坏机构是典型的梁—板破坏机构，单纯地考虑板发生破坏是不全面的；试验中形成的“十字交叉”塑性铰线与四边支承的普通楼盖的 45°塑性铰线有本质区别。梁的风度及承载力对楼盖的破坏形态将产生重要影响。

2)用塑性铰线法求出的极限荷载值与试验值吻合较好；通过选择正确的破坏机构，可用塑性铰线理论计算现浇混凝土筒芯楼盖的极限承载力。

参考文献：

[1]　沈聚敏，王传志，江见鲸. 钢筋混凝土有限元与板壳极限分析[M]. 北京：清华大学出版社，1993

[2]　R. 派克，W. L. 根勃尔著. 黄国桢，成源华译. 钢筋混凝土板[M]. 上海：同济大学出版社，1992

[3]　现浇混凝土筒芯楼盖受力性能研究. 中南大学土木工程试验室，2004，2

[4]　湖南大学，太原理工大学，福州大学合编. 建筑结构试验(第 1 版)[M]. 北京：中国建筑工业出版社，1991

[5]　混凝土结构设计规范(GB50010-2002)[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2002

梁开裂后刚度对钢筋混凝土板受力性能的影响

蒋 琳 杨建军 赵 磊

（中南大学土木建筑学院，湖南 长沙 410075）

摘 要 本文采用通用有限元程序 ANSYS 分析了梁开裂后刚度对钢筋混凝土板挠度、裂缝分布和破坏模式及极限承载力的影响。有关结论可为钢筋混凝土梁板结构的设计和裂缝处理提供参考。

关键词 刚度；钢筋混凝土板；受力性能

1 概 述

现行方法在设计钢筋混凝土板时，一般不考虑支承构件的刚度，把梁作为支承楼板的不动支座考虑，当梁的截面抗弯刚度足够大时，其竖向变形远小于楼板，这时忽略梁竖向位移对楼板变形和承载能力的影响是可以接受的。当梁的截面抗弯刚度较小时，仍将梁视为楼板无竖向位移的不动支座，则与实际情况明显不符，楼板的变形和承载能力将与实际情况出现较大的误差。梁的截面抗弯刚度在开裂前主要取决于梁的截面尺寸，在开裂后则主要取决于梁的配筋量大小。由于混凝土的抗拉强度较低，因此分析梁的开裂后刚度对板受力性能的影响就显得相当重要的[1,2]。

原建工部建筑科学研究院建筑结构研究室在 20 世纪 60 年代针对工程中梁配筋不足的裂缝事故，曾进行了两开间楼盖共 4 个试件的模拟试验，模拟两开间的现浇混凝土双向楼板，板周边搁置在砖墙上，在双向板中间设置一根与板整体现浇的梁，梁也搁置在墙上。所有的试件尺寸、板内钢筋相同，仅改变梁的配筋率。铁块加荷试验表明，梁内配筋率小时，梁作为板的一部分，一起形成典型的两开间大的双向板塑性绞线而破坏；梁内配筋率大时，则在梁的左右两侧的楼板各自形成小双向板的破坏；当梁内配筋率中等时，梁开裂后导致挠度增大，此时梁是左右两侧小双向板的弹性支撑，使两块板难于充分形成塑性铰线[3]。

本文采用通用有限元程序 ANSYS 建立 3 个有限元模型来模拟上述试验，进行非线性全过程分析，并对计算结果，包括挠度、裂缝分布和破坏模式、极限承载力进行分析。

2 有限元模型试验模拟

2.1 计算模型

设计 3 个模型 B_1、B_2 和 B_3。板跨度为 $l_1 \times l_2 = 6.2 \times 3.0$m，厚度 $h = 80$mm，仅在板底双向配置钢筋 Φ6@150，梁跨度 $l_0 \times l_2 = 3.0$m，截面尺寸 $b \times h = 200 \times 320$mm，梁底纵筋配筋由小到大分别为 2Φ6、2Φ10、2Φ16，配筋率分别为 0.10%，0.27%，0.68%。混凝土 C20，钢筋 HPB235。梁、板均为简支约束。计算简图如图 1 所示。

2.2 有限元模型的建立与单元划分

ANSYS 中的 Solid65 单元是专为混凝土、岩石等抗压能力远大于抗拉能力的非匀质材料开发的单元。它可以模拟混凝土中的加强钢筋（或玻璃纤维，型钢等），以及材料的拉裂和压溃现象。它是在三维 8 节点等参元 Solid45 的基础上，增加了针对混凝土的性能参数和组合式钢筋模型[4]。

本文利用 Solid65 单元建立分层组合式模型[5]，即将梁、板在横截面上沿高度方向分为无筋的混凝土层和带钢筋的混凝土层。利用对称性，只建立结构的 1/4 模型以节省计算时间。有限元单元划分如图 2 所示。

3 计算结果分析

3.1 挠度

破坏时的结构挠度图如图 3 所示。由图 3(a) 可以看出，B_1 的挠度图为一块大双向板的挠度图，最大

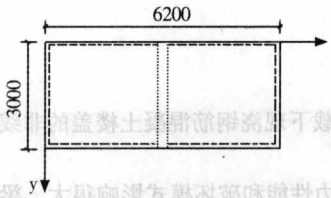


图 1 计算简图

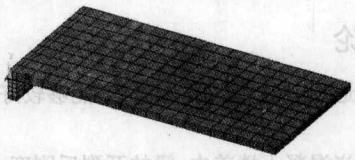


图 2 模型单元划分

挠度在大板的跨中即梁跨中，梁失去支承作用；由图 3(c)可以看出，B_3 的最大挠度在小板的跨中略偏简支边的位置，梁的支撑作用明显，板可视为两块三边简支，一边固支的双向板；由图 3(b)可以看出，B_2 的挠度图则介于前两者之间，最大挠度在小板跨中偏向梁的位置，梁仅起到弹性支承的作用。

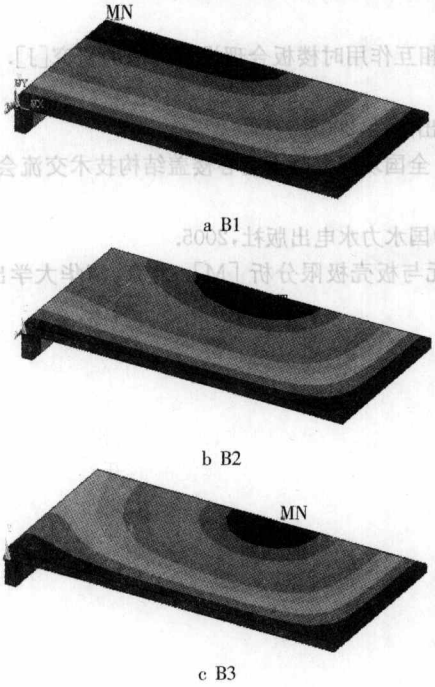


图 3 模型挠度图

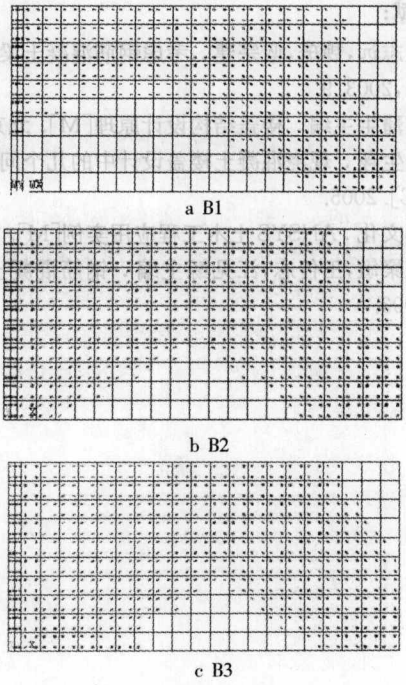


图 4 模型裂缝分布图

3.2 裂缝分布和破坏模式

1)模型 B_1 的梁跨中先出现裂缝，随后梁跨中垂直裂缝不断发展并与梁两侧板底的裂缝共同发展，接着裂缝沿对角线向四角延伸，破坏时呈现一块四边简支双向板的典型塑性铰线破坏模式。裂缝分布图如图 4(a)所示。

2)模型 B_2 的裂缝首先出现在梁跨中，但梁跨中垂直裂缝发展缓慢，梁边板顶产生平行于梁的负弯矩裂缝，小板跨中板底出现与梁平行的裂缝，并向小板的四角延伸，随着荷载增大，板底裂缝不断发展。破坏时梁两侧的小板呈现为三边简支，沿梁边为固支端的双向板的典型塑性铰线破坏模式。裂缝分布图如图 4(c)所示。

3)模型 B_3 梁跨中先出现裂缝，随后梁跨中垂直裂缝不断发展并与梁两侧板内的裂缝共同发展，板中裂缝先向简支边的角部延伸，随后梁边板顶出现负弯矩裂缝，板中裂缝开始向梁端角部发展，但较为缓慢，最后的破坏模式介于前两者之间。裂缝分布图如图 4(b)所示。

3.3 极限承载力

B_1、B_2 和 B_3 破坏时的极限承载力由小到大分别为 3kN/m²、5.5kN/m²、8kN/m²。可见，梁开裂后刚度或配筋量对楼盖的极限承载力有很大影响。

上述分析表明，有限元计算结果与试验结果吻合良好。

4 结 论

1)利用通用有限元程序 ANSYS 能够较好的实现均布荷载下现浇钢筋混凝土楼盖的非线性全过程分析。

2)在现浇混凝土楼盖中，梁的开裂后刚度大小，对板的受力性能和破坏模式影响很大。梁开裂后刚度过小或配筋过小时，则不能认为梁是板的支承。

3)当梁、板中配筋处于同一安全水准下，梁-板破坏机构将早于仅是板破坏而支承梁不破坏的破坏机构。

4)在分析现浇混凝土梁板结构的裂缝原因时，应重视梁开裂后刚度或配筋量的影响。

参考文献：

[1] 王志远，魏琏，蓝宗建．考虑钢筋混凝土梁板结构相互作用时楼板合理设计方法的研究[J]．建筑结构，2003.9.

[2] 沈蒲生主编．楼盖结构设计原理[M]．北京：科学出版社，2003.

[3] 白生翔．现浇混凝土楼盖设计中的几个问题[A]．全国现浇混凝土空心楼盖结构技术交流会论文集[C]．2005.

[4] 郝文化．ANSYS 土木工程应用实例[M]．北京：中国水力水电出版社，2005.

[5] 沈聚敏，王传志，江见鲸主编．钢筋混凝土有限元与板壳极限分析 [M]．北京：清华大学出版社，1993.

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com