

**第18届
全国结构工程学术会议
论文集**

第Ⅱ册

**PROCEEDINGS OF THE EIGHTEENTH NATIONAL
CONFERENCE ON STRUCTURAL ENGINEERING**

No. II

主编：崔京浩

**《工程力学》杂志社
2009.10**

序

2008 年金秋时节，举世瞩目的北京奥运刚刚闭幕，凭借“同一个世界，同一个梦想”的强劲东风，踏着“和平、友谊、进步”的北京乐章，迎来了第 17 届全国结构工程学术会议，使我们的会议平添了几分喜庆和昂扬。

这次会议出版论文集 3 册，共收录论文 352 篇，内容包括：力学分析与计算；钢结构、材料与构件；钢筋混凝土结构、材料与构件；岩土、地基与基础、隧道及地下结构；公路、铁路、桥梁、水工与港工；抗震、爆炸、冲击、动力与稳定；设计、施工、加固、优化、可靠度及事故分析；舰船、车辆、航空航天结构及交叉学科等 8 个方面，几乎囊括了国民经济的各个行业和技术科学的各个领域。

本届会议的主办单位之一华中科技大学，是直属教育部领导，涵盖文、理、工、医、农等多达 11 个学科门类的综合性高校，是国家“211 工程”和“985 工程”重点建设的高水平大学。它的土木工程与力学学院是学校传统的重点学院，众所周知的《固体力学学报》由该院承办，该学报的英文版是我国最早被 Sci 收录的期刊之一，是我国力学界公认的历史悠久的上乘学术刊物。

本届会议的大量会务工作是由学校土木工程与力学学院承担的，对他们的辛勤劳动，我们表示衷心的感谢。

今年(2008 年)正值中国力学学会结构工程专业委员会成立 10 周年，为此我们撰写了一篇祝贺结构工程专业委员会成立 10 周年的文章“十年铸剑 初见成效”，发表在论文集第 I 册的前面，它既是一份汇报，又是一份征求意见的公示书。热诚欢迎专家们建言献策。

崔京浩



2008 年 8 月

第 18 届全国结构工程学术会议论文集目录

第 II 册目录

3. 钢筋混凝土结构、材料与构件

预应力混凝土箱梁桥的裂缝防治研究现状.....	曾庆响 韩大建 (001)
东航培训大楼裂缝原因分析.....	陈海斌 郑乔文 (006)
玻化微珠在自保温墙体中的应用研究.....	代学灵 李 珠 张泽平 刘元珍 魏增宝 (011)
高性能混凝土剪力墙基于性能的抗震设计截面延性分析.....	邓明科 梁兴文 (018)
混凝土的 SHPB 冲击试验研究进展.....	高 乐 焦楚杰 蒋国平 魏晓峰 (026)
基于宏观单元的结构非线性分析方法、算例及工程应用.....	韩小雷 陈学伟 林生逸 (032)
拱式转换层刚度比对结构抗震性能的影响分析.....	何和萍 (041)
钢筋用量对钢筋混凝土开孔梁受力性能的影响.....	黄伟军 吴炎海 周凯敏 (046)
现浇混凝土密肋空心板的设计计算方法.....	蒋方新 尚仁杰 吴转琴 李佩勋 (050)
大跨钢筋砼楼板——墙组合层梁的设计分析.....	李 密 任晓崧 (056)
地下室现浇混凝土圆弧外墙体单侧支模施工技术.....	李春安 杨凯明 (062)
超高韧性水泥基复合材料在受弯构件中应用研究.....	李庆华 徐世烺 (066)
边缘构件在 CS 板式结构中的作用.....	李砚波 吴春锋 戴自强 (070)
钢筋混凝土柱与钢筋混凝土梁组合框架节点受剪承载力的试验研究.....	林拥军 葛宇东 潘 毅 程文灏 (074)
钢管混凝土梁的承载力实验与模拟分析.....	刘 香 周 平 李 剑 (081)
基于变形的框架-剪力墙结构地震内力实用计算方法.....	刘建新 高圣宝 梁本亮 王红囡 (087)
框架边梁中复合抗力预应力筋新束型的研究.....	刘晚成 吕 兴 (092)
EPS 轻集料混凝土力学性能试验研究.....	刘嫒春 刘华军 王秋萍 陈卫东 (100)
荷载作用下钢筋混凝土梁中氯离子扩散的试验研究.....	鲁 列 周建民 王建东 张俊芝 (104)
CS 板式结构体系的动力特性试验研究.....	李砚波 张 鸣 戴自强 (108)
预制装配整体式混凝土住宅结构体系研究与应用.....	吕超兵 刘茂龙 吴 超 张季超 (112)
预制叠合墙抗剪承载力试验分析研究.....	潘陵娣 鲁 亮 梁 琳 李检保 (116)
海砂混凝土及其耐久性保护.....	施养杭 王丹芳 吴泽进 (122)
钢纤维活性粉末混凝土弯曲抗折性能试验研究.....	苏家伦 吴炎海 林 清 (127)
基于纤维模型叠合板式剪力墙非线性分析.....	王德才 叶献国 连 星 常 磊 (131)
压区粘钢加固钢筋混凝土梁的 ANSYS 分析.....	王琳鸽 张耀庭 (135)
负载下预应力 CFRP 板加固 RC 梁弯曲性能研究.....	王兴国 张春生 徐 平 周朝阳 (140)

混凝土耐久性研究进展.....	魏晓峰 焦楚杰 何 娟 高 乐 (145)
钢管混凝土柱的弹塑性屈曲荷载研究.....	闻 洋 马军力 罗国荣 (153)
自密实轻骨料混凝土的双 K 断裂参数和断裂能试验研究.....	吴 熙 付腾飞 吴智敏 (157)
高强高性能混杂纤维轻骨料混凝土的试验研究.....	吴平安 刘宜平 杨 洁 刘 首 (163)
钢管混凝土轴心受压短柱承载力概率分布研究.....	向天宇 赵人达 徐腾飞 (170)
基于损伤理论的预应力混凝土梁弹性模量分析.....	熊辉霞 张耀庭 司马玉洲 (175)
聚丙烯纤维混凝土力学性能试验研究.....	徐一沅 林 茂 师 伟 (181)
反力墙预应力筋张拉顺序的模型试验研究.....	姚 勇 古 巍 (185)
复杂梁式转换结构受力性能分析.....	叶艳霞 雷 静 (192)
钢筋混凝土 T 型剪力墙斜截面承载力的新解.....	尹新生 范雪梅 (197)
钢筋混凝土受弯构件正截面承载力简便计算.....	张会平 卫国祥 (205)
短切玄武岩纤维水工混凝土的基本力学性能试验研究.....	张灵福 徐雪峰 刘华挺 张俊芝 (209)
钢筋混凝土梁柱构件地震损伤机理试验研究.....	郑建波 蒋欢军 陈林之 (214)

4. 岩土、地基与基础、隧道及地下结构

基于 WIEGHARDT 地基的桩弹性分析.....	陈 林 张永兴 (219)
刚性芯夯实水泥土桩复合地基非线性数值分析.....	丁继辉 孟艳杰 王维玉 徐成杰 (224)
广州大学城综合管沟应用实践研究.....	丁晓敏 张季超 许 勇 朱 超 (230)
高地应力区巷道断面形状对围岩稳定的模型试验.....	范广勤 (234)
石笼单元压缩试验研究.....	付 丹 郭红仙 程晓辉 周 卫 (240)
后压浆钻孔灌注桩基桩内力试验新技术.....	韩 亮 (244)
考虑时空效应的软土冻结围护信息化设计施工.....	黄建华 (247)
相变效应对钻孔灌注桩与冻土回冻过程的影响.....	贾艳敏 郭红雨 (254)
瞬态瑞雷波法在软土地基处理检测中的应用.....	江平意 张季超 李云华 许 勇 (258)
地震荷载作用下条形基础地基动承载力的近似解.....	丁继辉 赵 拓 袁 满 麻颜君 (262)
桩基的 Winkler 模量(I)—水平 Winkler 模量.....	雷文军 许名鑫 黄圣钧 (268)
配合盾构法建成三连拱地铁车站模型试验研究.....	李 围 何 川 陈晓婷 (273)
QX 注浆材料及控制技术的研究应用.....	李国富 李 珠 戴铁丁 (277)
碎石排水桩抗地震液化的试验研究与理论分析.....	李立军 梁仁旺 牛琪瑛 (283)
动力排水固结法加固某吹填淤泥地基试验研究.....	李云华 张季超 许 勇 (289)
楔形刚性桩复合地基中桩的最佳楔角范围研究.....	刘 杰 何 杰 闵长青 (293)
广州外国语学校首期软基处理工程检测与监测.....	刘茂龙 吴 超 吕超兵 张季超 (300)
任意形状明置基础竖向振动复合集总参数模型.....	刘志久 尚守平 王贻荪 (304)
单桩侧阻力强化与退化的荷载传递法模拟.....	马文旭 龙跃凌 伍伟林 (310)
碎石桩加固不同密实度液化土的孔隙水压力变化规律探讨.....	牛琪瑛 郭 英 吴永娟 张 明 (316)
基于强度折减法的加筋土挡墙稳定性数值分析.....	童华炜 刘恒强 (321)
利用原位测试法预测地震液化引起的地面大变形.....	王 斌 杨 军 童立元 (326)

北京某山区高层住宅工程地基基础设计.....	王晓琳 王棣生 (334)
山地城市高边坡风险管理信息系统研究.....	文海家 李 鑫 赵 亮 (338)
多高层建筑共同作用中的比例衰减模式.....	武建勋 陈 辉 王永亮 郑伟涛 王运兴 (342)
动力排水固结法处理填海地基的研究应用.....	许 勇 张季超 (347)
双排桩支护结构优化设计与工程应用研究.....	杨德健 王铁成 (351)
一种基桩完整性诊断的神经网络方法.....	张灿辉 张建霖 谢建华 肖能标 张建国 (356)
预应力锚杆在深基坑支护中的应用.....	张明聚 王诚浩 吕 琦 杨文峰 (360)
排水固结垫层材料试验研究.....	张巧芬 (365)
超长灌注桩荷载传递规律研究.....	郑 晓 蔡晓丽 (369)
刚性桩复合地基沉降机理与影响因素研究.....	杨德健 王铁成 (374)
中国南极中山站区冻土融沉和冻胀模拟试验及基础对策研究.....	郑先昌 郑伟锋 (379)
无线监测系统在真空预压分层沉降观测中的应用.....	朱 超 张季超 许 勇 王可怡 丁晓敏 (385)
CFG 桩有限元分析.....	郑 晓 王道冠 (389)

5. 公路、铁路、桥梁、水工与港工

跨海大桥桥塔区风环境数值风洞模拟.....	艾辉林 陈艾荣 (396)
砂沥青混合料粘弹特性实验研究.....	蔡宜洲 叶 永 (401)
水泥砼路面的工后可靠度及其计算方法.....	陈富坚 黄世斌 包惠明 (406)
轨枕支撑弹簧刚度和阻尼对钢轨磨耗型波磨影响的有限元研究.....	陈光雄 王国新 (411)
钢-混凝土组合箱梁日照温度场分析.....	陈晓强 (420)
横隔板构造对桥面板疲劳应力幅的影响.....	丁文俊 吴 冲 赵 秋 (425)
夹芯复合材料悬臂箱梁初等梁理论适应性分析.....	段金曦 袁端才 徐文明 (429)
桥梁健康跟踪及灾后快速评估系统分析.....	郭 莹 姚 勇 陈代果 (434)
斜拉桥合理索力分析以及拉索找形中弹性悬链线单元的应用.....	何铭华 辛克贵 郭 佳 (439)
利用阻尼型辅助索的斜拉索减振试验研究.....	何永龙 孙利民 周亚刚 (445)
坝基加固后锦屏一级高拱坝应力变形计算分析.....	胡著秀 张建海 周 钟 饶宏玲 (449)
路堤全断面沉降观测与工后沉降分析.....	黄 跃 罗晓辉 罗 潇 (456)
基于易损性分析的桁架桥传感器布设方法.....	姜绍飞 杨 博 吴兆旗 (461)
PC 斜拉桥辅助墩拉力摆断裂的成因分析.....	李宏江 (465)
斜拉桥并列拉索尾流驰振风洞试验研究.....	李永乐 王 涛 廖海黎 (471)
混凝土箱梁翼板厚度变化对剪滞效应的影响分析.....	蔺鹏臻 周世军 刘凤奎 (478)
基于竖向位移测试的 PC 梁有效预应力预测研究.....	刘龄嘉 贺拴海 (482)
强风环境下列车运行安全保障体系的初步研究.....	刘庆宽 (486)
超重交通水泥混凝土路面结构分析.....	刘少文 申俊敏 周玉民 (492)
包边填砂路堤结构稳定性与优化分析.....	罗 潇 罗晓辉 黄 跃 (497)
采用激波拟合法数值模拟城市雨水管道中明满流混合流动.....	茅泽育 肖 汉 胡应均 罗 昇 (501)
移动模架造桥机在铁路客运专线中的应用.....	牛保金 吕 剑 (505)

岳阳新港集装箱堆场沉降观测试验及预测分析.....	潘宣何 刘晓平 陈中秋 (511)
波浪作用下软土地基残余变形分析.....	邱长林 闫 玥 闫澍旺 (515)
开口组合曲梁焊钉剪力分布规律研究.....	苏庆田 曾明根 吴 冲 (519)
桥上线路异常周期性高低不平顺的试验分析.....	孙国钧 (525)
铁路箱梁有效宽度计算的程序实现及应用.....	王 聪 钟亚伟 (529)
钢管混凝土拱桥灌注仿真分析.....	王 剑 李青宁 (533)
斜拉桥钢-混组合箱梁焊钉连接件剪力分布研究.....	王正阳 吴 冲 陆春阳 (537)
基于健康监测的大跨度连续刚构桥支座位移评估.....	夏樟华 朱三凡 宗周红 (542)
大跨度悬索桥初始平衡状态及成桥特性研究.....	谢官模 谢小飞 (549)
五跨连续斜拉桥扁平钢箱梁剪力滞效应分析.....	熊礼鹏 吴 冲 陆春阳 (553)
桥梁荷载试验快速检测.....	徐有刚 冯加权 杜 强 周帮友 (557)
机械动荷载传递方式对水电站厂房动力特性影响研究.....	杨晓明 张振国 (560)
剑科心墙堆石坝应力应变计算分析.....	姚 颖 张建海 何昌荣 杨宏昆 周 涛 (566)
交通车辆引起路基振动特性分析.....	于国友 (572)
结构健康监测用的大跨度悬索桥模型研制.....	詹 胜 徐幼麟 洪小健 朱乐东 张笑华 (576)
锦屏一级高拱坝大垫座稳定性研究.....	张 肖 张建海 周 钟 饶宏玲 韩 荣 纪 亮 (583)
吊拉组合桥考虑索鞍影响的线形计算及程序设计.....	张 征 黄才良 张 哲 (588)
近海风力发电机基础桩群潮汐水动力脉动特性试验研究.....	张陆陈 骆少泽 (593)
斜交预应力空心板桥拓宽承载力分析.....	张美珍 林锦滔 夏樟华 宗周红 (597)
钢混桥梁面板抗冲切承载力算法研究及程序设计.....	郑 愚 于国友 (603)
列车荷载作用下软土地基横观各向同性响应.....	周 晔 郑荣跃 刘干斌 (611)
FRP 桥面板静载试验研究及分析.....	朱坤宁 万 水 刘玉擎 (618)
大跨度钢筋混凝土拱桥模型修正和动力特性分析.....	朱三凡 宗周红 夏樟华 (623)
高速公路防治跳车的施工技术研究.....	庄 宁 叶万军 朱苦竹 (628)

预应力混凝土箱梁桥的裂缝防治研究现状

*曾庆响^{1,2}, 韩大建¹

(1. 华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室 广东广州 510640; 2. 五邑大学土木工程系 广东江门 529020)

摘要: 预应力混凝土箱梁因具有良好的受力性能而在桥梁工程中得到广泛应用。箱梁桥的抗裂是工程设计、施工和使用维护过程中普遍关注的问题。文中将裂缝分为荷载裂缝和非荷载裂缝两大类, 分析了各种裂缝的形成机理、特性和主要影响因素, 提出了箱梁桥裂缝防治的主要措施。从设计理论、预应力和结构试验等方面指出了当前预应力混凝土箱梁桥抗裂研究中存在的主要问题。为今后进一步预应力混凝土箱梁桥的抗裂研究提供了新思路。

关键词: 预应力混凝土; 箱梁; 开裂; 裂缝防治。

A Review of Crack Prevention in Prestressed Concrete Box Girder Bridges

ZENG Qingxiang^{1,2}, HAN Dajian¹

(1. State Key Laboratory of Subtropical Building Science, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. Department of Civil Engineering, Wuyi University, Jiangmen 529020, China)

Abstract: Prestressed concrete box girder is widely applied in bridge engineering because of its favorable mechanical performance. The problem of cracking prevention in concrete box girder bridges is universally concerned in the stages of structural design, construction and service. Cracks in prestressed concrete box girder are classified into two categories, load-related cracks and load-unrelated cracks. The formation mechanism, properties and the main influential factors of cracks are analyzed. The major crack prevention measures are also investigated. In conclusion, many crucial problems about crack prevention research in prestressed concrete box girders are pointed out in the aspects of the design theory, the prestress losses evaluation of strands and experimental investigation. Therefore, some new ideas are proposed for the further study of crack prevention in prestressed concrete box girder bridges.

Keywords: prestressed concrete; box girder; cracking; crack prevention.

1 引言

预应力混凝土箱梁桥结构具有良好的抗弯、抗剪和抗扭能力, 不仅结构的刚度大、跨越能力强, 而且可以避免普通混凝土桥梁在低应力水平下就出现荷载裂缝、无法充分利用高强钢材等缺点, 因而在现代的桥梁工程中得到广泛应用。然而, 由于设计、施工、使用 and 日常维护不当等原因, 大量箱梁桥在施工阶段或后期运营中都会出现许多不同性质的裂缝。裂缝的出现不仅破坏了桥梁的美观, 而且严重影响桥梁的刚度分布, 使得结构的内力发生重新分布, 并使桥梁结构的动力响应发生变化^[1,2], 造成结构的实际受力与设计预期不同, 影响桥梁结构的承载安全性与使用耐久性。因此, 裂缝问题一直是预应力混凝土桥梁结构中受到普遍关注的问题。

2 裂缝的成因与分类

基金项目: 国家科技支撑计划项目子课题 (2006BAJ01B07-05), 广东省交通厅科技项目 (200536)。

作者简介: *曾庆响 (1968-), 男, 江西人, 副教授, 博士生, 主要从事混凝土结构工程研究(E-mail: qxzeng@scut.edu.cn);

韩大建 (1940-), 女, 广西人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事建筑与大跨度桥梁结构研究。

预应力混凝土箱梁桥裂缝产生的原因是多方面的,而且多种因素相互耦合,涉及结构设计(包括结构选型、内力计算和配筋、构造措施等)、施工工艺、气候条件、日常养护等各个方面^[3]。虽然裂缝的形成机理复杂,但裂缝的形式和发生的位置还是具有一定的规律可循。下面根据裂缝的产生是否与荷载有关,将箱梁桥的裂缝划分为荷载裂缝和非荷载裂缝两大类,并进一步分析这两类裂缝的成因。

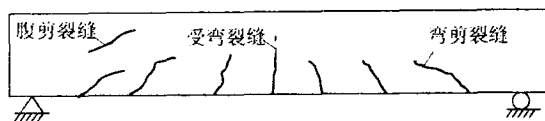


图1 简支梁的裂缝形态
Fig.1 Crack of simple supported beam

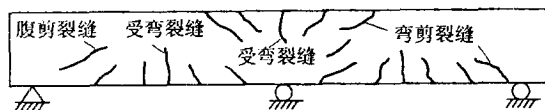


图2 连续梁的裂缝形态
Fig.2 Crack of continual supported beam

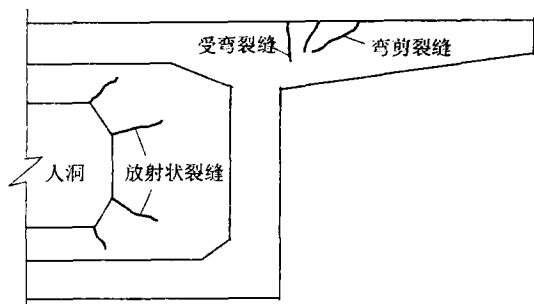


图3 翼缘板及横隔板的裂缝形态
Fig.3 Crack in flange and barricade

2.1 荷载裂缝

按照引起裂缝的内力类型不同,预应力混凝土箱型桥梁的荷载裂缝主要包括受弯裂缝、受剪裂缝和受扭裂缝,有时甚至还会出现受拉裂缝或受压裂缝。

2.1.1 受弯裂缝和受剪裂缝

预应力混凝土箱型桥可以分为简支梁桥和连续梁桥两大类。对于简支梁桥,在各种荷载引起的弯矩作用下,当跨中附近截面底部受拉边缘的拉应力超过了混凝土的抗拉强度时,就会出现受弯裂缝;在剪力作用下,当支座附近腹板中性轴附近剪应力引起的微元体主拉应力达到混凝土抗拉强度时,就会出现大致为 45° 方向的腹剪斜裂缝;在弯矩和剪力的共同作用下,剪跨区开始出现的受弯裂缝就会逐步发展成为弯剪斜裂缝,如图1所示。对于受荷载作用的连续梁桥,不仅在各跨的正弯矩区段会与简支梁一样出现受弯和受剪裂缝,而且在各中间支座的负弯矩区段也会出现受弯和受剪裂缝,如图2所示。另外,多数情况下,箱梁的桥面部分都会带有悬挑翼缘板,受桥面荷载作用,翼缘根部附近将因弯矩和剪力作用而产生受弯与受剪裂缝,如图3所示。

2.1.2 受扭裂缝

预应力混凝土箱型桥受到的桥面荷载不可避免地会存在偏离桥梁纵轴线的情况,使箱梁受到扭矩的作用。另外,箱梁翼缘部分的荷载,对于翼缘的受力来说只是弯矩和剪力,但对于箱体而言,翼缘的弯矩就是沿梁纵轴方向分布的线扭矩,翼缘的剪力就是沿梁纵轴分布的线荷载,使箱梁同时受到弯矩、剪力和扭矩的共同作用。扭矩作用引起的裂缝通常是螺旋式的斜裂缝。裂缝通常与梁轴的夹角约为 45° ,与梁的配筋有关。

2.2 非荷载裂缝

根据产生原因的不同,预应力混凝土箱梁的非荷载裂缝可分为收缩裂缝、温度裂缝和其它裂缝等类型。

2.2.1 收缩裂缝

收缩裂缝可能发生在桥梁结构的任何部位,是桥梁在施工阶段和成桥以后都很常见的一类裂缝。收缩裂缝虽然不会立即影响结构的安全运行,但对耐久性有很大危害,可造成渗水引起钢筋锈蚀和混凝土剥落等现象^[7-8]。一般认为,混凝土的收缩变形主要由两部分组成:一是混凝土硬化过程中水泥水化作用产生的水化收缩变形;二是由于混凝土温度降低引起的收缩变形。当收缩变形受到约束时,若混凝土产生收缩应力大于其抗拉强度时就会引起开裂。收缩裂缝通常出现在混凝土强度形成的早期阶段。

收缩裂缝的主要特点是裂缝宽度较细,纵横交错,且呈龟裂状的表面裂缝。其影响因素主要包括:(1)水泥品种与集料级配与品质;(2)混凝土配合比、水泥用量与混凝土强度等级;(3)外加剂;(4)混凝土的养护条件和环境因素等。有关研究表明^[4],受环境风速的影响,混凝土的收缩可变化数倍。

2.2.2 温度裂缝

温度应力是预应力混凝土箱梁桥的设计和施工阶段都要特别关注的问题。在桥梁的正常运营阶段,引起温度裂缝的主要原因包括年温差、日照和骤然降温等方面。设计计算表明,温度效应引起的内力在桥梁结构的内力中占有相当的比重,在施工阶段水化热是不容忽视的问题。自20世纪60年代以来,国内外多

座混凝土桥梁因温度应力造成结构裂损，甚至倒塌^[5]。例如，德国在对 Jagst 桥检查时发现，通车 5 年后，腹板就出现了严重的裂缝，经估算温度应力可能高达 2.6MPa；美国对 Champigny 箱形梁桥支座反力的变化进行观测时，发现一天内支座反力的变化高达 20%。

大跨度预应力混凝土箱梁桥在桥墩部位的箱梁底板厚度一般都在 2m 以上，属于大体积混凝土，而且混凝土强度等级较高，水泥用量大。在施工阶段，如果没有采取有效的措施降低水化热，混凝土内部的温度就很高，甚至可以高达 70℃ 以上^[5]。这样，混凝土的内外温差就很容易超过 20℃，从而产生温度裂缝。

2.2.3 其它裂缝

其它原因引起的裂缝还有很多^[3-6]，比如与预应力钢筋有关的裂缝、与边界约束条件有关的裂缝、与施工方案或结构设计不当有关的裂缝等等。

3 预防裂缝产生的措施

虽然预应力混凝土箱型梁桥的开裂原因非常复杂，但其根本原因还是混凝土受到的拉应力超过了其抗裂强度极限。因此，预防裂缝产生的措施就是围绕减小混凝土所受的拉应力来进行的。总的来说，非荷载裂缝仅仅按路桥设计规范^[7]（以下简称“规范”）计算收缩、徐变和温度等作用效应是不够的，还需要通过加强构造措施（包括钢筋配置的构造和伸缩缝设置等等）和混凝土养护及日常管理才能解决。荷载裂缝的防治首先需要有正确反映结构受力的理论计算模型，然后考虑各种最不利受力的工况进行内力计算，最后通过配筋设计和合理的构造措施来解决。其中，受弯裂缝通过正截面承载力和抗裂计算来确定纵筋（包括普通钢筋和预应力钢筋）用量并合理配筋来解决；受剪斜裂缝通过斜截面受剪承载力计算和主拉应力验算、确定箍筋和弯起筋用量并合理配置来解决；受扭裂缝虽然也是斜裂缝，但是要使结构能有效地抵抗扭矩产生的剪应力，只有箍筋是不够的，还必须配置相应的纵向钢筋。由于扭矩作用引起内力的特殊性，一般不考虑配置弯起筋来抵抗扭矩产生的剪应力，因此，抗扭设计同时包括纵筋和箍筋的计算与配置。箱梁桥作

为一个整体结构，虽然钢筋用量（纵筋和箍筋）是按照弯矩、剪力和扭矩作用分别计算的（在某些内力范围内需要考虑剪扭相关），但配置钢筋时应将纵筋和箍筋用量综合起来再配置钢筋，同时必须考虑抗扭纵筋布置与抗弯纵筋配置位置要求不同的影响。预应力箱梁的配筋如图 4 所示。

与普通钢筋混凝土梁不同，预应力混凝土箱梁桥的裂缝还要受到预应力钢筋的布置、张拉控制应力和锚固方式的影响。纵向预应力筋的布置方式和竖向预应力的对腹板斜裂缝的影响较大，腹板主拉应力对竖向预应力的对桥梁的超载情况较为敏感^[3,6]。因此，为了防止腹板斜裂缝的出现，还应注意竖向预应力钢筋的配置，并加强日常管理，尽量防止桥梁超载运行。

总之，原材料选用、混凝土配合比设计和钢筋配置是裂缝防治的根本，是内因问题；施工技术和日常维护与管理是外因问题，裂缝防治应综合考虑。

4 裂缝防治中的几个关键问题

长期以来，预应力混凝土箱梁桥出现裂缝并非个别现象，在实际工程中对混凝土材料的选用和配合比设计、桥梁结构设计、施工和使用阶段都会比较注意防止裂缝的发生，而且国内外许多学者也进行了大量有关预应力箱梁桥裂缝防止方面的研究，但是，裂缝问题依然没有真正解决。综合现有的研究成果，笔者认为预应力混凝土箱梁桥出现裂缝还有更深层次的原因，下面几个方面的问题值得进一步研究。

4.1 设计理论方面的问题

自 1985 年以来,我国公路预应力混凝土桥梁的正常使用极限状态都采用预应力度来进行设计,根据预应力度大小,将预应力构件划分为全预应力构件、A 类部分预应力构件和 B 类部分预应力构件。跨径大于 100m 桥梁的主要受力构件,不宜进行部分预应力混凝土设计。公路桥梁的抗裂验算都是以混凝土所受的拉应力是否超过规定的限值来表示的,分为正截面抗裂验算和斜截面抗裂验算两部分。

根据规范规定,在正截面抗裂验算中,要求全预应力混凝土预制构件,

$$\sigma_{st} = \frac{M_s}{W_0} \leq 0.85\sigma_{pc} \quad (\text{分段浇筑时取 } 0.80\sigma_{pc}) \quad (1)$$

A 类部分预应力混凝土构件

$$\sigma_{st} = \frac{M_s}{W_0} \leq \sigma_{pc} + 0.7f_{tk} \quad (2)$$

在作用(荷载)长期效应组合条件下要求 A 类部分预应力混凝土预制构件表面不出现拉应力。对于 B 类部分预应力混凝土构件,虽然允许在作用短期效应组合下出现裂缝,但设计中仍不希望结构在自重作用下控制截面的受拉边缘出现拉应力。在斜截面抗裂验算中,构件斜截面混凝土的主拉应力 σ_{tp} 应满足:

$$\sigma_{tp} = \frac{\sigma_{cx} + \sigma_{cy}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_{cx} - \sigma_{cy}}{2}\right)^2 + \tau^2} \leq \alpha_{vt}f_{tk} \quad (3)$$

式中: α_{vt} 为斜截面抗裂拉应力系数,取值规定见表 1。以上各式的其它符号的含义同路桥设计规范^[9]。

表 1 预应力构件斜截面抗裂拉应力系数 α_{vt}

构件类型	全预应力	A、B 类部分预应力
预制构件	0.6	0.7
现浇(含预制拼装)构件	0.4	0.5

根据上述规定,在理论上按照规范设计的预应力梁桥,对于斜截面是不允许出现裂缝的;对于正截面,即使是允许开裂的 B 类构件,在桥梁使用期内的大部分时间,其裂缝也是闭合的,只有当荷载达到设计最大值时的短暂时间内构件才可能开裂。但是,在实际工程中,按照规范要求设计、施工和养护的桥梁也往往出现正截面裂缝和斜截面裂缝,这说明规范设计理论存在问题。

设计理论问题主要表现在结构内力分析模型和预应力设计两个方面。有关研究表明^[3,4,6,8],大跨度预应力梁桥,特别是横隔板较少设置的箱形梁,在外荷载作用下的变形并不完全符合经典梁理论的周边刚性假定,会出现截面畸变变形。箱梁发生畸变变形后,各部分的受力状态将与设计受力状态不同,桥面传来的荷载将在腹板、横隔板和面板等处产生附加应力。桥梁设计应考虑空间受力的特点,但目前的工程设计一般不会考虑箱梁的畸变变形,并且是按照杆系结构计算内力,设计理论有待改进。

4.2 预应力设计方面的问题

在现代的大跨度预应力箱梁桥中,大多是采用三向预应力的高强混凝土结构,桥梁的裂缝控制基本上是依赖于预应力钢筋的布置。因此,预应力钢筋的布置形式和预应力损失计算的精确度对于箱梁桥的抗裂性能起着非常关键的作用。规范明确指出预应力损失值宜根据试验确定;当无可靠试验数据时,可按规范规定的方法进行计算。

虽然规范关于预应力损失的计算方法不是强制的,而且建议根据试验确定。但事实上,由于各方面的原因,实际工程的预应力损失很少是根据试验来确定的,一般还是按照规范公式计算。但是,有关研究指出,规范关于预应力损失的计算方法并不完全适用于箱梁桥^[3,9]。其主要原因表现在:(1)规范中混凝土的徐变参数是根据普通混凝土的研究成果提出的,不一定适用于通常都采用高强混凝土的预应力箱梁桥。(2)规范中预应力摩擦损失的计算方法是基于钢绞线较短、线型简单的预应力混凝土简支梁研究成果提出的,

但是,现代预应力混凝土箱梁桥的纵向预应力钢筋长度大多在100m以上,而且线型复杂。(3)大跨度混凝土箱梁桥常常采用三向预应力,但规范中纵向预应力的弹性压缩损失是根据一维杆件轴向压缩计算研究提出的,计算公式不一定适用于横向钢筋和竖向钢筋的预应力损失计算。

4.3 试验测试研究不足的问题

虽然预应力混凝土箱梁桥的开裂和极限承载力是国内外普遍关注的问题,但是真正进行的实桥试验和缩尺模型试验却非常有限^[3,10]。缺乏实桥试验测试研究的主要原因包括:一方面,桥梁在整个公路交通网络中的占有重要地位,而且工程耗资巨大,通常情况下,不可能为了进行试验研究而人为地进行桥梁的破坏性加载试验;也不可能为进行破坏性试验而新建一座桥梁。另一方面,实验室进行足尺寸的“实桥”试验研究是不现实的。因为“实桥”的承载能力之大不是一般实验室的加载条件所能满足的,而且“实桥”的尺寸规模也不是一般实验室所能够容纳的。当然,在实验室进行箱梁桥的缩尺模型试验是可能的,但是,模型试验也存在很多困难。一方面,试验模型很难全面满足试验设计的相似准则,测试结果的可信度在某些方面容易受到质疑;另一方面,模型试件的加工难度大、试验成本高,存在实验经费的问题。

目前,实测试验资料的不足给预应力箱梁桥的研究带来了一系列的问题,关于箱梁桥方面的许多研究都可能是停留在理论层面上,缺少试验实测数据的检验,理论计算方法是否需要改进或者应如何改进都存在不确定性。

5 结束语

如前所述,裂缝不仅影响预应力混凝土箱梁桥结构的美观、正常使用和耐久性,而且还影响结构的极限承载力。因此,为从根本上解决预应力混凝土箱梁桥的开裂问题,应加强试验研究,并做好如下几点:

(1)在理论方面,必须根据桥梁结构的受力特点和施工方案,从三维的角度分析桥梁的内力和混凝土的徐变与收缩效应,分别对纵向、横向和竖向预应力钢筋的布置和预应力损失的计算方法开展专门的研究,建立更加符合实际的理论计算模式;优化结构方案和配筋,提高桥梁设计的总体水平。

(2)在施工阶段,应从原材料选用、配合比设计和施工组织与监控等方面加强管理,提高建筑质量。加强混凝土的养护,防止早期裂缝的出现。

(3)在使用运营阶段,应注意桥梁的日常维护与健康监测,并严格控制车辆超载,做到合理使用,提高结构的耐久性。

参考文献

- [1] 许胜,肖汝诚等.箱梁桥自振分析的非协调实体退化壳元法[J].土木工程学报,2009,42(1):30-34
- [2] Linzhong Deng; Michel Ghosn; Ales Znidaric; Joan R. Casas. Nonlinear Flexural Behavior of Prestressed Concrete Girder Bridges [J]. Journal of Bridge Engineering, 2001, (4): 276-284.
- [3] 钟新谷.预应力混凝土连续箱梁桥裂缝防治与研究[J].工程力学,2004,(S1):221-230
- [4] 朱汉华,陈孟冲等.预应力混凝土连续箱梁桥裂缝分析与防治[M].北京:人民交通出版社,2006
- [5] 谭毅平.预应力混凝土箱梁桥温度效应研究[D].华南理工大学博士学位论文,2008
- [6] 廖娟,叶贵如等.预应力混凝土箱形连续梁桥裂缝成因分析及对加固方案的评价[J].中国公路学报,2004,17(1):66-69
- [7] JTGD62-2004 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].北京:人民交通出版社,2004
- [8] 罗旗帜.基于能量原理的壁箱梁剪力滞理论与试验研究[D].湖南大学博士学位论文,2005
- [9] P. J. Barr. A.M.; B. M. Kukay; M. W. Halling. A.M. Comparison of Prestress Losses for a Prestressed Concrete Bridge Made with High-Performance Concrete [J]. Journal of Bridge Engineering. 2008. (9/10): 468-475.
- [10] Lars J. Rasmussen; Graham Baker. Large-Scale Experimental Investigation of Deformable RC Box Sections [J]. Journal of Structural Engineering, 1999, 125(3): 227-235

东航培训大楼裂缝原因分析

陈海斌^{1,2}, 郑乔文^{1,2}

(1.上海市建筑科学研究院, 上海 200032; 2.上海市工程结构新技术重点实验室, 上海 200032)

摘 要: 东航培训大楼是一幢地上九层、地下一层的框架剪力墙结构房屋, 在五层设置有转换梁, 房屋立面呈“门”字型, 在工程施工过程中以及结构封顶后陆续在大楼五层转换梁及其四周四~六层的梁、柱和墙上发现了大量的裂缝。本文在现场调查的基础上, 对大楼进行了承载力验算分析和有限元模拟分析, 对大楼出现裂缝的原因进行了分析。

关键词: 转换梁 钢筋混凝土 裂缝 收缩

1 背景

东航培训大楼是一幢地上九层、地下一层的框架剪力墙结构房屋, 大楼在五层设置有转换梁, 房屋立面呈门字型, 大楼于 2006 年底开始建造, 2007 年 7 月结构封顶。在工程施工过程中以及结构封顶后陆续在大楼五层转换梁及其四周四~六层的梁、柱和墙上发现了大量的裂缝。

2 房屋概况

大楼的主体结构为地上九层、地下一层的框架—剪力墙结构房屋。大楼地下室设计为车库, 东西向长约 65.85m, 南北向长约 78.4m, 层高 4.2m。大楼上部主体部分平面呈矩形, 纵向(东西向)八跨, 总长约 65.85m, 横向(南北向)三跨, 总宽约 15.6m; 纵向立面(剖面)为“门”字型, 一层层高 4.9 米, 二~九层的层高 4.1 米。大楼南立面见图 1。

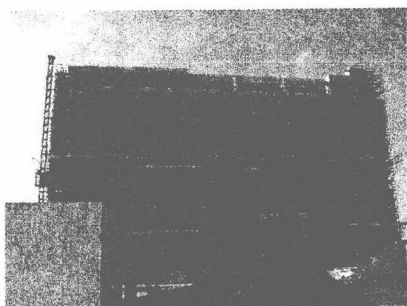


图 1 大楼南立面照片

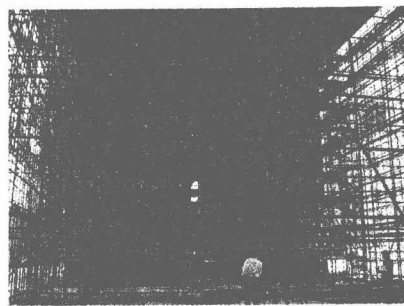


图 2 大楼转换梁照片

大楼二~四层结构分为两部分, 分别位于大楼西端 2~5 轴和东端 10~12 轴。大楼在 2 轴、5 轴、10 轴和 12 轴以及其它个别部位设置有剪力墙。五层结构中, 5~10 轴部分沿纵向轴线位置设置有截面尺寸为 800×3200mm 的转换梁, 该梁为钢—混凝土组合梁, 梁中设置有截面尺寸为 600×2800×26×30mm 的工字钢, 梁两端搁置点处为钢筋混凝土柱, 该柱向下延伸至地下室, 向上延伸至五层, 柱的截面尺寸为 800×2000mm, 柱内设置有截面尺寸为 600×1200×22×26mm 的工字钢。图 2 为转换梁现场照片。除剪力墙外, 大楼纵横向轴线相交处设有框架柱, 楼面设纵横框架梁。大楼上部结构各层结构平面布置示意图见图 3~图 6。

大楼一~七层上部结构的设计混凝土强度等级为 C50, 八层及八层以上结构的设计混凝土强度等级为 C30。其中大楼四层柱墙、五层梁板采用 C50 自密实混凝土浇灌。

作者简介 *陈海斌(1972—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事结构研究和房屋质量检测项目(E-mail: chen_hb123@hotmail.com);
郑乔文(1981—), 女, 工程师, 硕士, 主要从事结构研究和房屋质量检测项目(E-mail: qiaowenzheng@hotmail.com)。

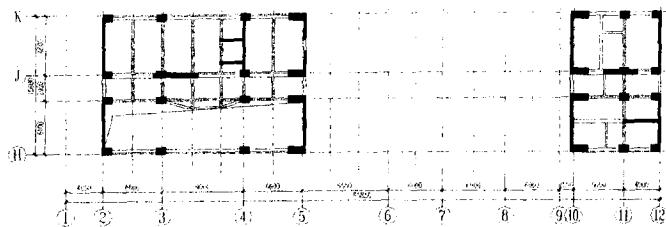


图 3 二层结构平面示意图

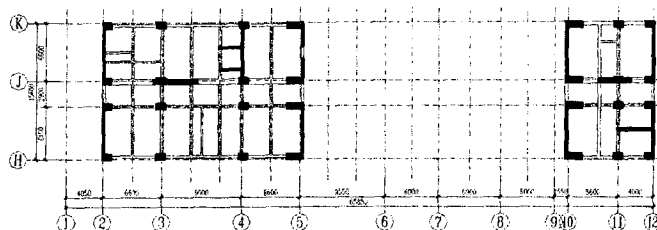


图 4 三、四层结构平面示意图

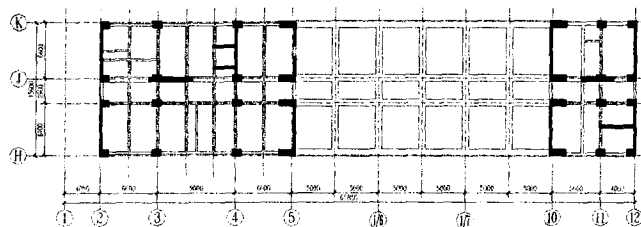


图 5 五层结构平面示意图

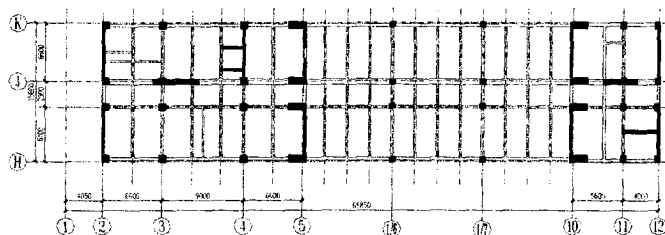


图 6 六~九层结构平面示意图

3 房屋状况调查

3.1 房屋施工质量情况

现场对大楼的施工质量进行了调查。调查表明：大楼基本按设计图纸施工，大楼结构构件的截面尺寸等参数与设计要求基本一致，混凝土构件的强度达到设计要求；抽样位置处各梁、柱、墙的箍筋间距等符合设计要求；大楼无明显的不均匀沉降现象。

3.2 房屋裂缝调查

现场调查了梁、板、柱、墙等混凝土构件的裂缝情况。由调查情况可知，产生裂缝的混凝土构件主要位于四~七层，其中六层和七层纵向框架梁上存在大量的垂直裂缝，裂缝间距约 2~3m，裂缝宽度约 0.1~0.3mm 之间，沿截面基本贯穿，四层、五层、六层纵向剪力墙在洞口处或与连梁的交接处、楼层两端的根部位置存在倒“八”字型裂缝，裂缝宽度约 0.05~0.15mm 之间，沿截面贯穿，四层 5/J-K 轴位置处的横向剪力墙上也存在大量的竖向裂缝，基本位于楼层下部，裂缝沿截面贯穿，典型裂缝分布示意图如图 10~13。

4 结构验算与构造分析

采用中国建筑科学研究院编制的建筑结构空间有限元分析设计软件 SATWE 对大楼进行验算。

验算结果：大楼的自振周期基本处于合理的范围内；大楼各层层间位移均小于 1/800，满足标准要求，扭转基本规则；柱轴压比、构件承载力满足要求，特别是混凝土柱和墙有较大富余量。

大楼大部分结构梁、柱、墙钢筋的配筋构造满足抗震规范的构造要求。

5 裂缝原因分析

5.1 裂缝原因分析

从结构形式分析，该大楼存在一个明显的特点，即在五层中部楼面位置存在四根体积较大的转换梁，而裂缝分布也恰恰在该转换梁附近的楼层上，因此裂缝的出现与该转换梁的存在有密切的关系。分析该转换梁的特点，该转换梁的截面尺寸为 800×3200mm，体积较大，梁中设置有截面尺寸为 600×2800×26×30mm 的工字钢，梁两端搁置点处为钢骨混凝土柱，该柱向下延伸至地下室，向上延伸至五层，柱的截面尺寸为 800×2000mm，柱内设置有截面尺寸为 600×1200×22×26mm 的工字钢。由此可知整个转换体系形成了一个巨型框架，刚度非常大，由于该转换梁体表比较大，同时转换梁内的混凝土发生的收缩变形，会受到了体内钢骨以及两端钢骨柱的强大约束，其混凝土发生的干缩变形相对较小。

根据文献[1]的研究成果，上海地区 C40~C60 大掺量复合掺合材料高性能混凝土一年的收缩值约在 500 $\mu\epsilon$ 左右，其早期与高强混凝土相似，增长较快，后期增长缓慢，且收敛较快，其极限值与普通混凝土较接近。C60~C80 高强混凝土一年的收缩值约为 450~800 $\mu\epsilon$ ，其中 60 天以内增长最快，一般会达到最终收缩量的 80%左右，后期仍在持续增长，但较缓慢；其收缩量随时间变化曲线如图 7 示。

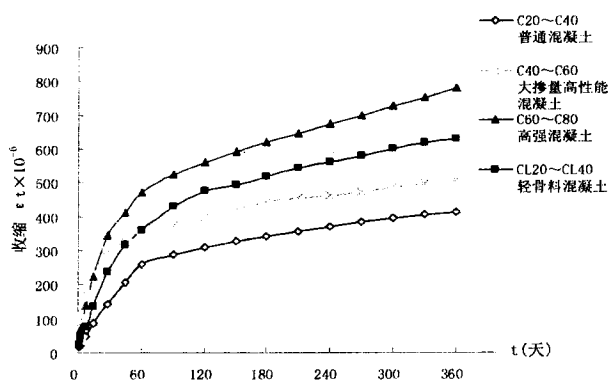


图 7 混凝土收缩量与混凝土标号的曲线关系示意图

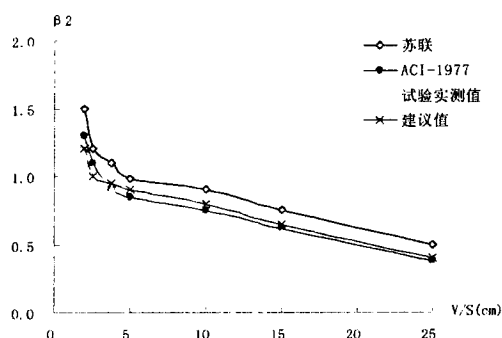


图 8 混凝土收缩系数 β_2 与体表比 V/S 的曲线关系示意图

此外，试件的体表比对混凝土的收缩变形量的影响也较大。在同一介质条件下，试件体表比越大，混凝土的收缩变形越小，反之则越大，即混凝土收缩、徐变与构件的体表比大小成反比，见图 8 所示。对体表比较大、大体积混凝土，其收缩变形量一般为实验室标准情况下的 0.4 倍^[1]。

研究同时表明，配筋混凝土的收缩值由于受到钢筋的制约而明显减小，并有随 $\alpha_E \rho$ (钢筋与混凝土弹性模量之比与配筋率) 的乘积的增大而减小的规律^[1]。

当本大楼的混凝土龄期达到 60 天时，一般来说，其浇注用的混凝土收缩量在 500 $\mu\epsilon$ 左右，考虑到转换梁为大体积混凝土，其体表比系数为 0.4，转换梁内由于钢骨及配筋的约束，其配筋量影响系数大致为 0.5(考虑到框架柱的约束作用，实际系数还要略小)，则可以推出其收缩变形约为 100 $\mu\epsilon$ 。

而转换梁周边的结构构件混凝土也会发生一定收缩变形，由于其体表比相对较小，收缩变形的发生相对较快，同时受到的约束相对较小，因此在一段时间内，其发生的收缩变形会大于巨型框架的收缩变形，由于体表比较小，相应的体表比系数可偏保守的取 0.5，大部分构件的配筋率在 0.01 左右，取配筋量影响系数为 0.9，则收缩变形值大致为 225 $\mu\epsilon$ 。

由此可以看出，转换梁和周边混凝土构件之间的收缩变形量存在较大的差别，由于大楼的纵向长度较长，约 60m，浇注时未设置后浇带，因此其沿纵向累计的变形差就会相当大，两者的变形不协调就会导致

在结构相对薄弱的部位上较大的收缩应力，在超过其极限抗拉强度时就会产生裂缝。

5.2 有限元模拟分析

用大型有限元分析软件 ANSYS 对大楼进行建模，对混凝土收缩引起的结构内力进行模拟分析。巨型框架、剪力墙、板以及四~七层的梁用壳单元 SHELL63 模拟，其余位置的梁、柱采用梁单元 Beam188 模拟。模型示意如图 9 所示。

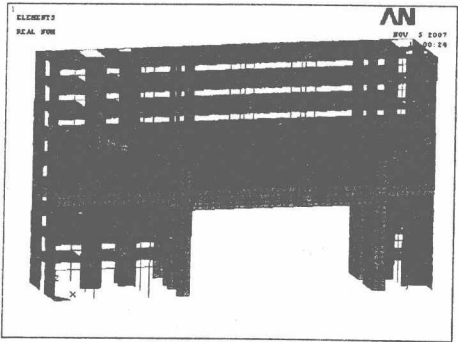


图 9 ANSYS 有限元模型

将上节理论分析所得的大楼各构件混凝土的收缩变形值赋予模型中各构件：转换梁的收缩变形为 $100\mu\epsilon$ ，六~七层的其余的梁、板为 $225\mu\epsilon$ 。考虑到裂缝发生时，五层转换梁的底模尚未拆除，顾不考虑其自重影响。模拟所得的应力情况如图 10~13 所示。

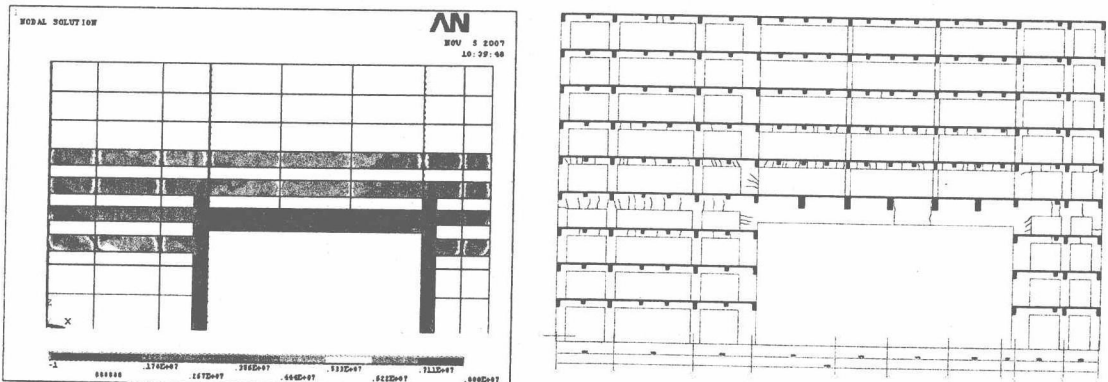


图 10 H 轴框架应力和实测裂缝分布示意图

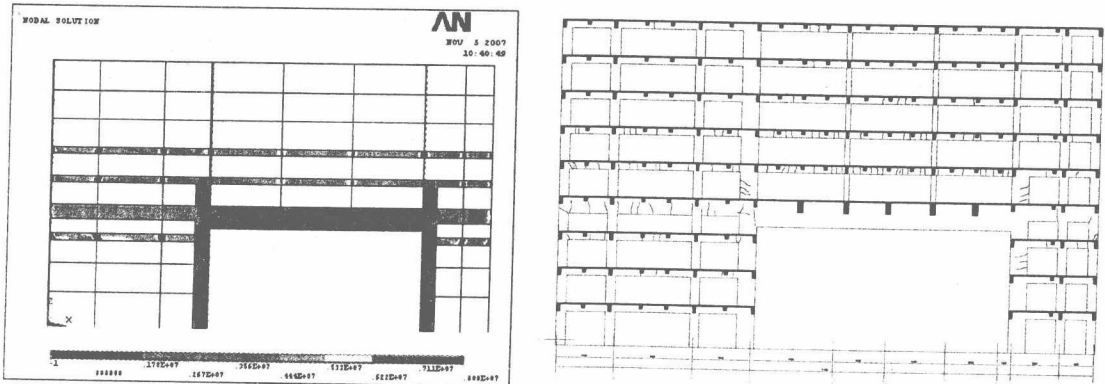


图 11 I/H 轴框架应力和实测裂缝分布示意图

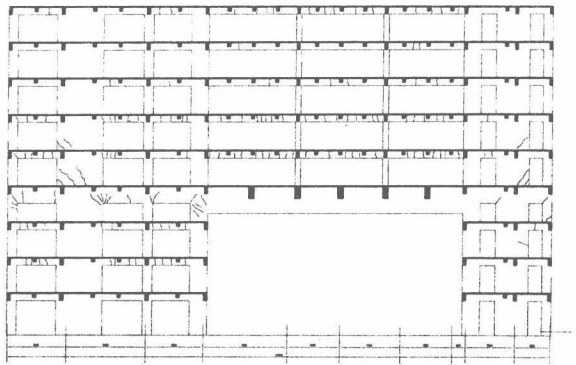
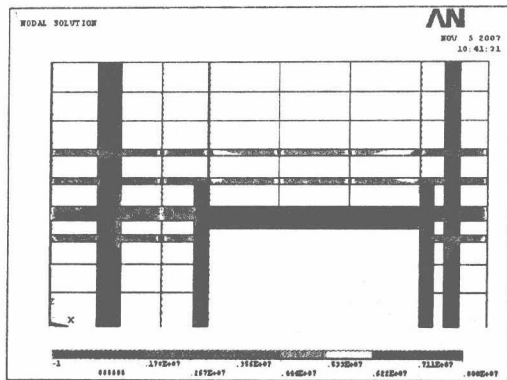


图 12 J 轴框架应力和实测裂缝分布示意图

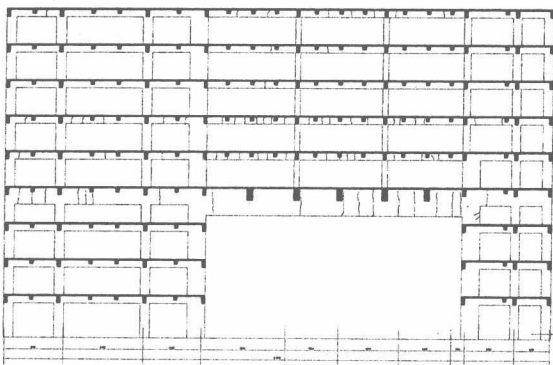
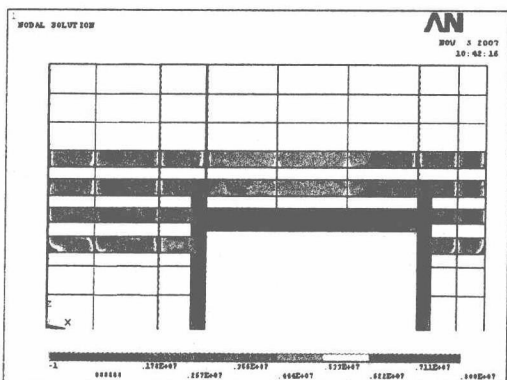


图 13 K 轴框架应力和实测裂缝分布示意图

由图 10~13 可知, 图中的拉应力一般均集中在框架梁以及梁墙、梁柱的交接处, 其中六层和七层框架梁上产生的拉应力约 4.0~5.0MPa 之间, 5 轴和 10 轴剪力墙与框架梁的角部拉应力约在 2.5~3.3MPa 之间, 已超出了设计混凝土的抗拉强度。对照裂缝示意图, 计算拉应力较大的位置与实际的裂缝发生部分非常吻合。

综上可以推断, 目前大楼上存在的裂缝主要是转换梁和周边混凝土构件之间的收缩变形量存在较大的差别, 两者的变形不协调导致在应力集中部位上超过极限抗拉强度, 从而产生裂缝。

6 结束

混凝土收缩是混凝土构件开裂的主要原因之一。虽然收缩裂缝不属于结构性裂缝, 一般不至影响构件承载力和结构安全, 但却会影响结构的耐久性和整体性, 同时也会给使用者的感官和心理上造成不良影响。所以, 当遇到混凝土构件体积较大、含钢量变化较大等易导致混凝土收缩裂缝产生的情况时, 应在设计、施工时采取积极措施, 避免构件产生大量收缩裂缝。

参考文献:

- [1] 许勤,夏春红等,长期荷载效应下混凝土构件变形性能研究,上海市建筑科学研究院研究报告,2005.10
- [2] 王铁梦,工程结构裂缝控制[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [3] 混凝土结构设计规范 GB50010-2002[S].北京:中国建筑工业出版社
- [4] 混凝土结构工程施工质量验收规范 GB50204-2002[S].北京:中国建筑工业出版社
- [5] 朱耀台,詹树林,混凝土裂缝成因与防治措施研究[J].材料科学与工程学报,2003.21(5):727-730
- [6] 谢靖中,谢查俊. 超长结构整体温度作用的理论解[A]. 第九届全国结构工程学术会议论文集第 1 卷,2000

玻化微珠在自保温墙体中的应用研究

代学灵^{1, 2}, *李珠¹, 张泽平¹, 刘元珍¹, 魏增宝¹

(1. 太原理工大学土木工程系, 山西 太原, 030024; 2. 焦作大学土木建筑工程学院, 河南 焦作 454000)

摘要: 建筑节能和墙体改革工作的深入开展, 为自保温墙体发展提供了良好的机会。本文结合课题组多年研究成果, 在理论计算、试验研究和工程实践基础上, 阐述了高效节能、无机、耐高温的玻化微珠新型保温材料在涂抹式、砌块式、墙板式、砌模式和现浇整体式自保温墙体中的应用, 形成了集结构功能与保温功能于一体, 能满足国家现行节能标准的新型玻化微珠建筑节能自保温体系, 为玻化微珠在节能建筑中的应用奠定了理论和实践基础。

关键词: 建筑节能; 玻化微珠; 自保温墙体; 保温砂浆; 保温混凝土

RESEARCH FOR APPLICATION OF GLAZED HOLLOW BEADS TO SELF-INSULATION WALL

DAI Xueling^{1,2}, LI Zhu¹, ZHANG Zeping¹, LIU Yuanzhen¹, WEI Zengbao¹

(1. Department of Civil Engineering of Taiyuan University of Technology, Shanxi Taiyuan, 030024;

2. Institute of Architecture and Civil Engineering of Jiaozuo University, Henan Jiaozuo 454002)

Abstract: Some proper opportunities were provided for development of self-insulation wall under further study of building energy saving and wall reform. Combining years of researching results of project group and basing on theoretical calculation, experimental research and practical engineering, this paper has specified application situation of energy efficient, inorganic, high temperature-proof glazed hollow beads which is a new type of thermal insulation material to some types of self-insulation wall including daubing type, bricklaying type, panel type, mould type and cast-in-place integral type and posed a new type of glazed hollow beads of self-insulation system that is building energy saving. Structural performance and thermal insulation performance were integrated in this self-insulation system, and energy efficiency criterion demands were also met in this system. This paper laid theoretical and practical foundation for applications of glazed hollow beads to building energy saving.

Key words: building energy saving; glazed hollow bead; self-insulation wall; insulation mortar; insulation concrete

随着建筑节能工作的深入开展, 对建筑墙体保温隔热材料的要求越来越高。制约建筑节能目标实现的关键是墙体和围护结构的材料。传统的节能材料无法满足建筑节能 65% 的目标要求。有机板类外墙外保温体系又存在着易开裂、剥落、无法与建筑同寿命等缺陷, 外贴聚苯板被业界大多数人认为是无奈的选择。

*基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50778118)

作者简介: 代学灵 (1965), 男, 河南焦作人, 教授, 博士生, 系主任, 从事结构工程专业 (E-mail: dai9835@vip.163.com);

*李 珠 (1959), 男, 河南开封人, 教授, 博士, 博导, 从事结构工程与力学研究;

张泽平 (1964), 男, 山西原平人, 教授, 博士生, 系主任, 从事结构工程专业;

刘元珍 (1974), 女, 山西霍州人, 讲师, 博士, 从事结构工程专业;

魏增宝 (1982), 男, 河南焦作人, 硕士研究生, 结构工程专业。