

第八届 全国混凝土结构基本理论及工程应用 学术会议论文集

中国建筑学会建筑结构分会混凝土结构基本理论及工程应用委员会
中国土木工程学会教育工作委员会
重庆大学土木工程学院

DIBA JIE
GUANGUO HUNNINGTU JIEGOU JIBENLILUN
JI GONGCHENG YINGYONG
XUESHUIHUI LUNWENJI

重庆大学出版社

TU37-53

TU37-53

1

第八届

全国混凝土结构基本理论及工程应用

学术会议论文集

中国建筑学会建筑结构分会混凝土结构基本理论及工程应用委员会

中国土木工程学会教育工作委员会

重庆大学土木工程学院

DIBA JIE
QUANGUO HUNNINGTU JIEGOU JIBENLILUN
JI GONGCHENG YINGYONG
XUESHUIHUI LUNWENJI

重庆大学图书馆

重庆大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

第八届全国混凝土结构基本理论及工程应用学术会议论文集/中国建筑学会建筑结构分会混凝土结构基本理论及工程应用委员会,中国土木工程学会教育工作委员会,重庆大学土木工程学院编. —重庆:重庆大学出版社,2004.9

ISBN 7-5624-3277-5

I. 第... II. ①中...②中...③重... III. 混凝土结构—学术会议—文集 IV. TU37-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 099028 号

第八届全国混凝土结构基本理论及工程应用学术会议论文集

中国建筑学会建筑结构分会混凝土结构基本理论及工程应用委员会

中国土木工程学会教育工作委员会

重庆大学土木工程学院

责任编辑:何明 陈红梅 王晓飞 版式设计:何明
责任校对:何建云 责任印制:秦梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆华林天美彩色报刊印务有限公司印刷

*

开本:889×1194 1/16 印张:26.75 字数:847千

2004年9月第1版 2004年9月第1次印刷

印数:1—1000

ISBN 7-5624-3277-5/TU·151

定价:80.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究

会议学术委员会(按姓氏拼音顺序)

白国良	白绍良	白生翔	蔡 健	蔡绍怀	曹双寅	陈肇元
陈志强	成文山	傅剑平	过镇海	江见鲸	姜维山	蒋永生
金伟良	康谷贻	蓝宗建	李 杰	刘伯权	刘立新	吕志涛
聂建国	钱稼茹	沈蒲生	宋玉普	苏小卒	王铁成	王振东
徐有邻	易伟建	叶列平	于庆荣	余志武	张 川	张 誉
赵国藩	郑文忠	赵世春	周 氏	邹银生		

会议组织委员会(按姓氏拼音顺序)

白绍良	白生翔	蔡绍怀	陈肇元	傅剑平	过镇海	康谷贻
蓝宗建	李 杰	吕志涛	聂建国	沈蒲生	宋玉普	王志军
徐有邻	张 川	赵国藩	周 氏			

会议秘书处

秘 书 长 张 川

副秘书长 傅剑平 王志军

成 员 杨 红 魏 巍 刘 毅 奉 飞 陈剑锋

韦 锋 杨 宁

目 录

钢管混凝土柱与楼盖结构的节点设计	蔡绍怀	1
通过非线性动力分析识别我国抗震框架结构柱梁强度级差措施的有效程度	白绍良 韦 锋 杨 红	10
变幅循环荷载与混凝土动态拉伸特性	闫东明,林皋	18
GFRP 加筋混凝土梁受弯力学性能试验研究	王 勃 欧进萍 张新越 何 政 钱民中	23
钢-混凝土组合梁在城市桥梁中的应用	聂建国 樊健生	28
混凝土单轴受压随机损伤本构关系	杨卫忠 李 杰	32
混凝土结构设计的若干问题	苏小卒	37
混凝土多轴变幅疲劳破坏准则及其在工程设计中的应用	宋玉普 孟宪宏	41
混凝土板在低速撞击作用下的局部响应研究	魏雪英 翟慧娟 裴万吉 白国良	45
T 形柱-无粘结预应力砼平板抗冲切试验研究	李光星 蔡 健	49
钢板型钢-混凝土组合板正截面承载力计算	王铁成 赵领志 张小鹏 韦灼彬	54
混凝土结构的健康监测和寿命评估方法研究	卫 军 朱锦章 陈月顺 赵宵龙 罗 昕	58
HRB500 级钢筋混凝土受弯及受剪构件受力性能的试验研究	刘立新 张 艇 毛达岭	63
纵筋对有腹筋筒支深弯梁受力性能的影响	张 川 王 伟 张百胜	69
初始多轴静力场条件下混凝土损伤特性研究	逯静洲 林 皋 王 哲	74
非抗震设计的异形柱框架梁柱节点受剪承载力	王依群 康谷贻 邓孝祥	79
FRP 约束下方形混凝土柱的轴向应力-应变模型	敬登虎 曹双寅	84
型钢混凝土结构粘结滑移性能试验研究	杨 勇 薛建阳 赵鸿铁 聂建国 郭子雄	89
锈蚀钢筋力学性能试验研究	商登峰 张伟平 顾祥林	98
光弹性贴片法研究混凝土非标准三点弯曲梁裂缝扩展过程	袁永博 卢喜经 徐 波 吴智敏	104
反复荷载下框架柱塑性铰区箍筋抗剪贡献的试验研究	管品武 陈 萌 邹银生 刘立新	111
钢管混凝土柱节点研究现状	秦 凯 聂建国 肖 岩	116
钢管混凝土与钢梁斜交节点的有限元分析	聂建国 赵 楠 陈志强 张桂标 吴道闻 肖 岩	124
无粘结环向预应力对混凝土圆管管壁应力的影响	朱喻之 聂建国 刘颖辉	131
钢-混凝土组合梁计算中栓钉单元的讨论	聂建国 陈 戈	135
钢-混凝土组合结构在华润万象城工程中的应用及施工措施	郑睿祺 聂建国	138
有端横梁约束的简支组合梁板体系的滑移分析	聂建国 田春雨	142
钢-混凝土混合结构的数学模型及弹塑性分析	阎兴华 黄 海	148
离心钢管混凝土弯曲剪应力分析	曲 晨 李家康	153
钢筋混凝土撑板组合梁加固房屋基础的实践	南喜涛	157
高性能混凝土与钢筋粘结性能的研究	高向玲 章 萍 李 杰	160
钢筋混凝土结构的损伤非线性分析	吴建营 李 杰	166
钢筋混凝土框架结构非线性随机反应分析	张 娟 李 杰	173
钢筋混凝土短柱间接配筋的试验研究	蔡惠菊 苏小卒	179
中、美混凝土结构设计规范安全度设置水平初探	宋 础 侯建国 刘晓春	183
硅酸盐与矿渣混凝土受盐害的力学性能比较研究	林跃忠 王铁成 王 来	189
疲劳荷载作用下混凝土裂缝稳定扩展过程及裂缝端应变场	袁永博 卢喜经 徐 波 吴智敏	193

圆柱中间层中节点抗震性能试验及设计方法研究	傅剑平	游 渊	苏 磊	白绍良	199
框架角节点承载力相关曲面的拉压杆模型分析			高兰琴	苏小卒	207
钢筋混凝土框架不完全错开节点拟静力试验研究	王志军	刘玉姣	朱兰影		213
HRB400 级钢筋框架节点构造的研究		曾志兴	王全凤		220
FRP 加固 RC 双向板的试验研究与有限元分析					
..... 郭樟根 曹双寅 王安宝 邱洪兴 赵 翔 韩葆铨					224
不等边现浇混凝土空心楼板的试验研究		袁广林	方忠年	鲁彩凤	229
钢筋混凝土板的疲劳性能研究	潘 华	邱洪兴	陆 烜	庞林飞	233
PVA 纤维混凝土梁的开裂及变形性能试验研究		何 飞	袁 勇		237
中兴通讯研发大楼三维有限元优化分析	陈志强	李建春	王传甲	毛仁兴	245
考虑剪切变形的带刚域杆件的综合有限元法		王 龙	朱彦鹏		251
使用纤维增强聚合物(FRP)加强的钢筋混凝土梁的强度破坏模型		张贵寿	陈列中		255
混凝土结构的健康监测和寿命评估方法研究	卫 军	朱锦章	陈月顺	赵宵龙	261
采用 HRB400 级钢筋的混凝土简支梁裂缝宽度的试验宽度	刘晓春	侯建国	夏 敏	宋 础	266
某三跨混凝土连续梁桥荷载横向分布的理论计算与实测分析		唐 亮	聂建国		273
筒中筒结构预应力宽扁梁张拉测试	陈 刚	秦士洪	李唐宁	黄 文	278
非对称加载两跨预应力混凝土框架的试验		简 斌	陈 勇	潘 峰	286
商品混凝土早期裂缝原因分析及控制措施		袁广林	彭孝明	龙帮云	291
混凝土结构中钢筋保护层厚度的控制		蒋利学	陆伟杰		296
混凝土保护层质量综合分析及应对措施			白玉香		303
混凝土框架结构成套加固技术的应用		何晓慧	黄 群	周云鳞	307
冷轧带肋钢筋焊接网工程应用的体会			罗君东		311
聚丙烯纤维对混凝土性能的改良作用		肖志荣	李家康		317
形状记忆合金在土木工程中的研究进展	周黎黎	薛伟辰	李 杰		320
钢筋混凝土特种楼梯弹塑性有限元分析		翟慧娟	魏雪英	赵均海	325
钢筋砼隔层错跨大空间剪力墙高层结构	刘建新	张丽娟	王红因	王红伟	330
部分框支异性柱框架结构设计		张毅斌	李庆钢		334
某底框结构上部墙体轴线偏移事故的鉴定	张彬彬	徐 骋	邓利落		341
混凝土结构动力反应与可靠度的密度演化分析	陈建兵	陈华明	李 杰		345
基于纤维铰模型的钢筋混凝土柱滞回性能的模拟分析	黄建锋	向在兴	张 川		350
“强柱弱梁”设计原则在建筑结构设计中的运用		朱少云	曹维琪		356
空气冷凝器主支撑结构动力特性分析	朱佳宁	白国良	李红星		360
多层住宅新型复合结构体系的动力特性分析		王新玲	李海明		366
基于现行抗震规范的 Kanai-Tajimi 模型参数研究		白国良	朱丽华	朱佳宁	371
长江某穿越工程沉井事故分析与处理		龙帮云	袁广林	黄方意	379
既有房屋加层改造决策评价			高剑平		384
纤维混凝土结构相对地磁观测室的研究	李大华	郎 虹	闫熙臣		390
混凝土中植筋深度的试验研究	朱彦鹏	刘 辉	王秀丽	郑建军	395
小偏压钢筋混凝土构件对称配筋的优化计算		倪 红	刘新宇		403
碳纤维布加固钢筋混凝土受弯构件的强度取值讨论	朱彦鹏	王秀丽	李 忠		406
预应力钢筋混凝土梁的爆破破坏模拟		金伟良	钱晓斌		412

CONTENTS

Design of Connections Between Concrete Filled Tubular Column and Floor Slab System	Cai Shaohuai	1
Identification on Effectiveness of Strength Hierarchy Factors in Seismic Design of Beam and Column in a RC Frame in China Code based on Nonlinear Dynamic Analysis	Bai Shaoliang, Wei Feng, Yang Hong	10
Study on Tensile Properties of Concrete Under Variational Amplitude Cycle Loading	Yan Dongming, Lin Gao	18
Experimental Investigation on Flexural Behavior of Concrete Beams Reinforced with GFRP Bars	Wang Bo ^{1,2} Ou Jinping ¹ Zhang Xinyue ¹ He Zheng ¹ Qian Minzhong ³	23
Application of Composite Steel-Concrete Beams in City Bridges	Nie jianguo Fan jiansheng	28
Stochastic Damage Constitutional Relation for Concrete Materials under Monotonic Compressive Loading	Yang Weizhong ^{1,2} Li Jie ¹	32
Some Issues on Design of Concrete Structures	Su Xiaozu	37
Fatigue Failure Criterion of Concrete under Multi-axial and Variable-amplitude Cyclic Loading and Its Application	Song Yupu, Meng Xianhong	41
Study on Local Response of Concrete Slabs under Low Velocity Impact	Wei Xueying ^{1,2} Zhai Huijuan ¹ Pei Wanji ¹ Bai Guoliang ²	45
An Experimental Study of T-shaped Column—Unbonded Prestressed Concrete Flat Plate Slabs Under Punching Loads	Li Guangxing Cai Jian	49
Flexural Capacity of Composite Section Steel Plate Concrete Slab	Wang Tiecheng Zhao Lingzhi Zhang Xiaopeng Wei Zhuobin	54
Study on the Method of Concrete Structural Health Monitoring and Life Assessment	Wei Jun ¹ Zhu Jingzhang ² Chen Yueshun ¹ Zhao Xiaolong ³ Luo Xin ¹	58
Experimental Research for the Bending and Shear Behavior of Reinforced Concrete Members with HRB500 Steel Bars	Liu Lixin, Zhang Ting, Mao Daling	63
Effect of Longitudinal Reinforcement on Behavior of Simply Supported Deep Flexural Beams with Web Reinforcement	Zhang Chuan Wang Wei Zhang Baisheng	69
Study on The Damage of Concrete in the Original Triaxial Static Stress Field	Lu Jingzhou Lin Gao Wang Zhe	74
Load-Bearing Capacity of Beam-Column Joint in RC Frames with Special Shaped Column for Non-Earthquake Resistant Design	Wang Yiqun Kang Guyi Deng Xiaoxiang	79
Model of Axial Stress-strain of Square Concrete Column Confined by FRP Wraps	Jing Denghu Cao Shuangyin	84
Experiment Study on Bond-Slip Performance Between Steel Shape and Concrete in Steel Reinforced Concrete (SRC) Structures	Yang Yong ^{1,3} Xue Jianyang ² Zhao Hongtie ² Nie Jianguo ³ Guo Zixiong ¹	89
Experimental Study on Mechanical Properties of Corroded Steel Bars	Shang Dengfeng Zhang Weiping Gu Xianglin	98
Research on Crack Propagation Process of Concrete for Non-Standard Three-point Beam Using Photo-elastic Coatings	Yuan Yongbo Lu Xijing Xu Bo Wu Zhimin	104

Study on Shear Contribution of Stirrups of RC Columns within Yield Hinge Regions under Cyclic Shear	Guan Pinwu ¹ Chen Meng ¹ Zou Yinsheng ² Liu Lixin ¹	111
Present Situation of Research on Connections of CFST Column Frame	Qin Kai ¹ Nie Jianguo ¹ Xiao Yan ²	116
Finite Element Analysis on Joints with Non-Perpendicular Elements in Concrete Filled Steel Tube Column with Steel Beam Systems	Nie Jianguo ¹ Zhao Nan ¹ Chen Zhiqiang ² Zhang Guibiao ³ Wu Daowen ³ Xiao Yan ⁴	124
The Distribution of Concrete Stress in Unbonded Ring Prestressed Circular Concrete Tube	Zhu Yuzhi Nie Jianguo Liu Yinghui	131
FEA Model of Shear Stud in Steel-Concrete Composite Beam	Nie Jianguo Chen Ge	135
Application of Composite Steel-Concrete Structures and Construction Measures in the Mixc	Zheng Ruiqi Nie Jianguo	138
Analysis on Slip Along the Interface of Steel and Concrete Composite Beams	Nie Jianguo Tian Chunyu	142
Mathematic Model and Elastic-Plastic Analysis of Steel-Concrete Mixed Structure	Yan Xinghua Huang Hai	148
An Analysis of the Shearing Stress of the Centrifuge Concrete Filled Thin-walled Steel Tubula under Bending	Qu Chen Li Jiakang	153
The Strengthening Application of the Reinforced Concrete Braced Slab for Building's Foundation	Nan Xitao	157
Study on Bond Performance between Steel and High Performance Concrete	Gao Xiangling Zhang Ping Li Jie	160
CDM Model Based Nonlinear Analysis of RC Structures	Wu Jianying Li Jie	166
The Stochastic Analysis on Nonlinear Response of the Reinforced Concrete Frame Structures	Zhang Juan Li Jie	173
Influence of Lateral Reinforcement on Behavior of RC Short Columns	Cai Huiju Su Xiaozu	179
Comparative Study on Safety Level of Codes for Design of Concrete Structures in China and U. S. A	Song Chu Hou Jianguo Liu Xiaochun	183
Study on Strength of Silicate Concrete with Scoria Concrete in Seawater	Lin Yuezhong ^{1,2} Wang Tiecheng ¹ Wang Lai ²	189
The Crack Stable Propagation of Concrete under Fatigue Loading and Strain Field Ahead Crack Tip	Yuan Yongbo Lu Xijing Xu Bo Wu Zhimin	193
Experiments on Seismic Behavior of Circular Interior Joints and Design Procedure	Fu Jianping ¹ You Yuan ¹ Su Lei ² Bai Shaoliang ¹	199
Failure Surface of RC Corner Joint by Struct-and-Tie Analysis	Gao Lanqin Su Xiaozu	207
Pseudo-Static Experimental Study on the Split-Level Joints of RC Frame	Wang Zhijun Liu Yujiao Zhu Lanying	213
Research on Joint Details of Frame Structure of HRB400 Reinforcing Bar	Zeng Zhixing Wang Quanfeng	220
Experimental Study and FEM Analysis of RC two-way Slabs Strengthened with GFRP under Statically Load ..	Guo Zhanggen ¹ Cao Shuangyin ¹ Wang Anbao ² Qiu Hongxing ¹ Zhao Xiang ¹ Han Baoquan ¹	224
Experimental Research of Cast-in-place Reinforced Concrete Hollow Slab with Different Length in Two-direction	Yuan Guanglin Fang Zhongnian Lu Caifeng	229

Study on Fatigue Behavior of Reinforced Concrete Slabs	Pan Hua Qiu Hongxing Lu Xuan Pang Lingfei	233
Experimental Research on Bending Performance of PVA Fiber Reinforced Concrete Beam	He Fei Yuan Yong	237
Finite Element Analysis for the Zhongxin High Building	Chen Zhiqiang Li Jianchun Wang Chuanjia Mao Renxing	245
Comprehensive FEM for Shear Deformation Considered Beam with Rigid Area	Wang Long Zhu Yanpeng	251
Failure modes of FRP-strengthened RC beams	Zhang Guishou Chen Liezhong	255
Study on the Method of Concrete Structural Health Monitoring and Life Assessment	Wei Jun ¹ Zhu Jingzhang ² Chen Yueshun ¹ Zhao Xiaolong ³ Luo Xin ¹	261
The Experimental Research of Crack Width on HRB400 Steel Bar Reinforced Concrete Simple Supported Bending Beams	Liu Xiaochun Hou Jianguo Xia Min Song Chu	266
Calculations and Inspecting of Load Transverse Distribution for a Reinforced-Concrete Continuous Bridge with Three Spans	Tang Liang Nie Jianguo	273
Tension Test of Prestressed Flat Beam in Tube-in-tube Structure	Chen Gang Qin Shihong Li Tangning Huang Wen Wang Linqiang	278
Experimental Study of two-Span Prestressed Concrete Frame under Unsymmetrical Loading	Jian Bin Chen Yong Pan Feng	286
The Causes Analysis and Countermeasures of Early Cracking on Ready Mix Concrete	Yuan Guanglin Peng Xiaoming Long Bangyun	291
Thickness Control of the Concrete Cover of Steel Bars in Concrete Structures	Jiang Lixue Lu Weijie	296
The Synthetic Analysis and the Quantity of the Concrete Protective Cover	Bai Yuxiang	303
The Reinforcement of Construction Factory about a Reinforcing Bar Concrete Frame	He Xiaohui Huang Qun Zhou Yunlin	307
Application of the Cold Rolled Ribbed Steel Wire with Melded Fabric	Luo Jundong	311
The Improvement of Polypropylene Fiber on Concrete	Xiao Zhirong Li Jiakang	317
Review of Shape Memory Alloy on Civil Engineering	Zhou Lili Xue Weichen Li Jie	320
Elastoplastic Finite Element Analysis on Special Reinforce Concrete Stair	Zhai Huijuan Wei Xueying Zhao Junhai	325
Reforcement Concrete Staggred Shear Wall Structure	Liu Jianxin	330
Structural Design of Frames with Columns of Irregular Section	Zhang Yibin Li Qinggang	334
Certification of upper wall axis line deflection accident in a bottom frame	Zhang Binbin Xu Cheng Deng Liluo	341
Density Evolution Analysis of Dynamic Response and Reliability of Concrete Structures	Chen Jianbing Li Jie Chen Huaming	345
Simulation of Hysteretic Behavior of RC Columns Based on Fiber Hinge Model	Huang Jianfeng Xiang Zaixing Zhang Chuan	350
The Application of the Design Principles for "Strong Post with Thin Beam" in Structure Designing	Zhu Shaoyun Cao Weiqi	356
Dynamic Characteristic Analysis of Main Support Structure of ACC	Zhu Jianing Bai Guoliang Li Hongxing	360
The Dynamic Analysis of New Compound Structural System for Residence	Wang Xinling ¹ Li Haiming ²	366

The Status and Development of Hybrid Structures on Super High-rise Building	
..... Bai Guoliang Li Hongxing Zhang Shuyun	371
Analysis and Disposal on an Accident in a Sinking Well of Certain Traversing Engineering in the Changjiang River	
..... Long Bangyun Yuan Guanglin Fang Yihuang	379
Decision-making for Storey-adding of Existing Building Structures	
..... Gao Jianping	384
The Investigation of Fiber Reinforced Concrete Building Structure on the Relative Geomagnetic Observation Station	
..... Li Dahua Lang Hong Yan Xichen	390
Analysis and Test Investigation of Depth Embedded Steel Bars	
..... Zhu Yanpeng Liu Hui Wang Xiuli Zheng Jianjun	395
The Better Calculation of Symmetrical Reinforcement of Compressed Reinforced Concrete Members With Small Eccentricities	
..... Ni Hong Liu Xingyu	403
Discusses on Strength Value of Flexural Reinforced Concrete Members Strengthened by CFRP Sheets	
..... Zhu Yanpeng Wang Xiuli Li Zhong	406
Numerical Simulation on Failure Process of Prestressed Concrete Structures under Explosive Load	
..... Jin Weiliang Qian Xiaobin	412

钢管混凝土柱与楼盖结构的节点设计

蔡绍怀

(中国建筑科学研究院, 北京 100013)

摘 要: 根据我国近十年来的工程实践经验和科研成果, 对高层建筑钢管混凝土柱与楼盖结构的连接构造问题, 亦即柱/梁(板)节点设计问题做了探讨并提出了实用的设计建议。

关键词: 钢管混凝土柱; 钢管混凝土柱节点; 高层建筑

Design of Connections Between Concrete Filled Tubular Column and Floor Slab System

Cai Shaohuai

(China Academy of Building Sciences, Beijing 100013, China)

Abstract: On the basis of engineering practice and research in the last decade, problems in design of connections between concrete Filled tubular column and floor slab system in tall buildings, that is, column/ beam(slab) connections, are summarized and proposals on practical design are presented.

Key words: Concrete filled tubular column, connection of concrete filled tubular column, tall building

1 引言

本文所谓“钢管混凝土”是“钢管套箍混凝土”(Steel Tube-Confined Concrete)的简称, 英文缩写为 STCC, 专指由混凝土填入薄壁圆形钢管内而形成的组合材料, 是套箍混凝土(Confined Concrete)的一种特殊形式。

在 20 世纪 80 年代后期, 由于高强、高流态混凝土技术和泵送混凝土技术的发展, 解决了钢管内的混凝土浇灌工艺问题。因而, 钢管混凝土(STCC)结构体系在国内外的高层建筑中悄然兴起, 成为高层建筑结构体系系列的后起之秀, 备受青睐。据不完全统计, 近 10 年间, 我国在广州、天津、深圳、重庆、北京、昆明、福州和南京等城市采用钢管高强混凝土柱的超高层建筑已不少于 30 座^[1,2]。

钢管混凝土柱具有很强的相容性。它既可以在混凝土结构体系中因时因地制宜地取代部分重载 RC 柱, 以解决高层建筑底部的“胖柱”问题和钢筋高强混凝土柱的脆性破坏问题; 也可在钢结构体系中取代钢柱, 大幅度减少了钢材的用量, 降低了施工难度和建筑物的风致摆动等。

本文拟就钢管混凝土柱与楼盖结构的连接构造问题, 亦即柱/梁(板)节点设计问题做一些探讨, 或有助于钢管混凝土柱的进一步推广应用。

2 基本要求

连接构造应做到构造简单、整体性好、传力明确、安全可靠、节约材料和施工方便。具体地讲, 在做节点设计时, 应注意以下事项:

①节点构造应与结构分析所采用的计算简图相符合, 必须满足在正常使用荷载下的变形连续条件和

在极限设计荷载下的静力平衡条件。

②不可削弱钢管对核心混凝土的套箍作用,特别要防止连接部件(尤其是传递剪力的牛腿腹板)在塑性阶段对钢管壁产生局部撕裂力。

③梁(板)端的竖向剪力应以最短的途径传递到管内核心混凝土上。

④尽量保持钢管内部无穿心部件,以方便灌注混凝土。

⑤尽量避免或减少现场焊接。

3 钢管混凝土柱与现浇 RC 楼盖的连接

钢管混凝土柱/梁(板)节点设计包括梁(板)端的剪力传递和弯矩传递 2 部分,而剪力传递又分为钢管外部传递和钢管内部传递 2 类。所谓钢管外部剪力传递,就是将梁(板)端的剪力传递于钢管;所谓钢管内部剪力传递,就是将钢管壁所承受的剪力传递于核心混凝土。有关钢管内部剪力传递的内容,将在第 5 节中论述。

鉴于现浇 RC 楼盖所具有的施工工艺上的特点,其柱/梁(板)节点构造,完全可以避免现场焊接。

3.1 钢管外部剪力传递构造

剪力传递是柱、梁(板)节点设计中最基本的项目。没有可靠的剪力传递构造,则节点设计的其余事项,都变得没有任何工程意义。在现浇 RC 楼盖中,钢管混凝土柱的剪力传递构造,可采用承重销(穿心牛腿)、环形牛腿(不穿心牛腿)和抗剪环(环形凸缘)等 3 种构造形式。

3.1.1 承重销(穿心牛腿)

如图 1(a)所示,承重销截面成工字形,由穿心腹板和上下翼缘板所组成。参考国外的试验结果^[29],为保持钢管截面的几何稳定性,牛腿腹板应在穿过钢管心以后焊牢于对面的钢管壁上,不宜中途切断,做成所谓“半穿心式承重销”。为方便浇灌混凝土,翼缘板在穿过管壁至少 50 mm 以后,在满足管内混凝土局部承压面积的条件下,可逐渐减窄。穿心牛腿与钢管壁相连接的焊缝,必须用对接焊缝封固,达到与母材等强的要求,以保证钢管对核心混凝土的套箍作用不受损失。承重销的平面位置可根据柱子和梁的具体情况合理布置(图 1(b))^[4,5]。

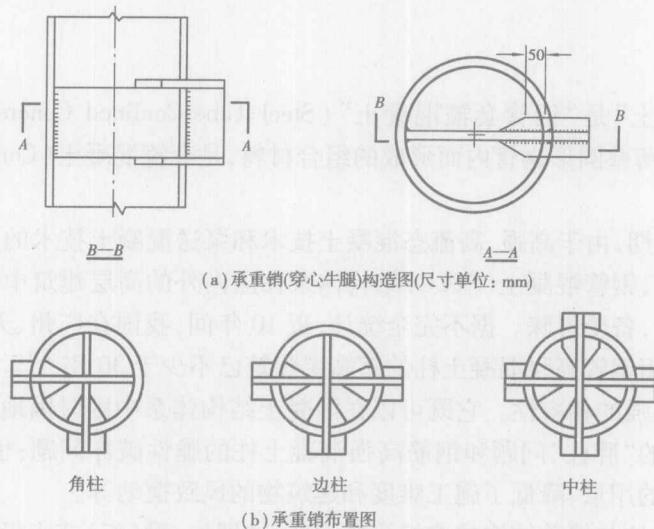


图 1 承重销构造

在我国早期建造的钢管混凝土高层建筑中,几乎都采用了这种承重销节点^[6-9]。1:2 的节点模型^[2,4],证实了该节点的安全可靠性。

3.1.2 环形牛腿

环形牛腿由呈放射状均匀分布的腹板(肋板)和上下加强环所组成(图 2)。腹板不穿入管内,与钢管壁外表面焊接,借以传递剪力。上下加强环分别与腹板的上下端焊成整体,承受因楼盖剪力所引起的弯

矩,并兼作 RC 楼盖的支承板。为保证柱与楼盖连接的整体性并使楼盖剪力均匀分布于环形牛腿,必须沿环形牛腿设置与楼盖梁等高度的闭合 RC 环梁,或与之相当的 RC 托盘(图 2)。

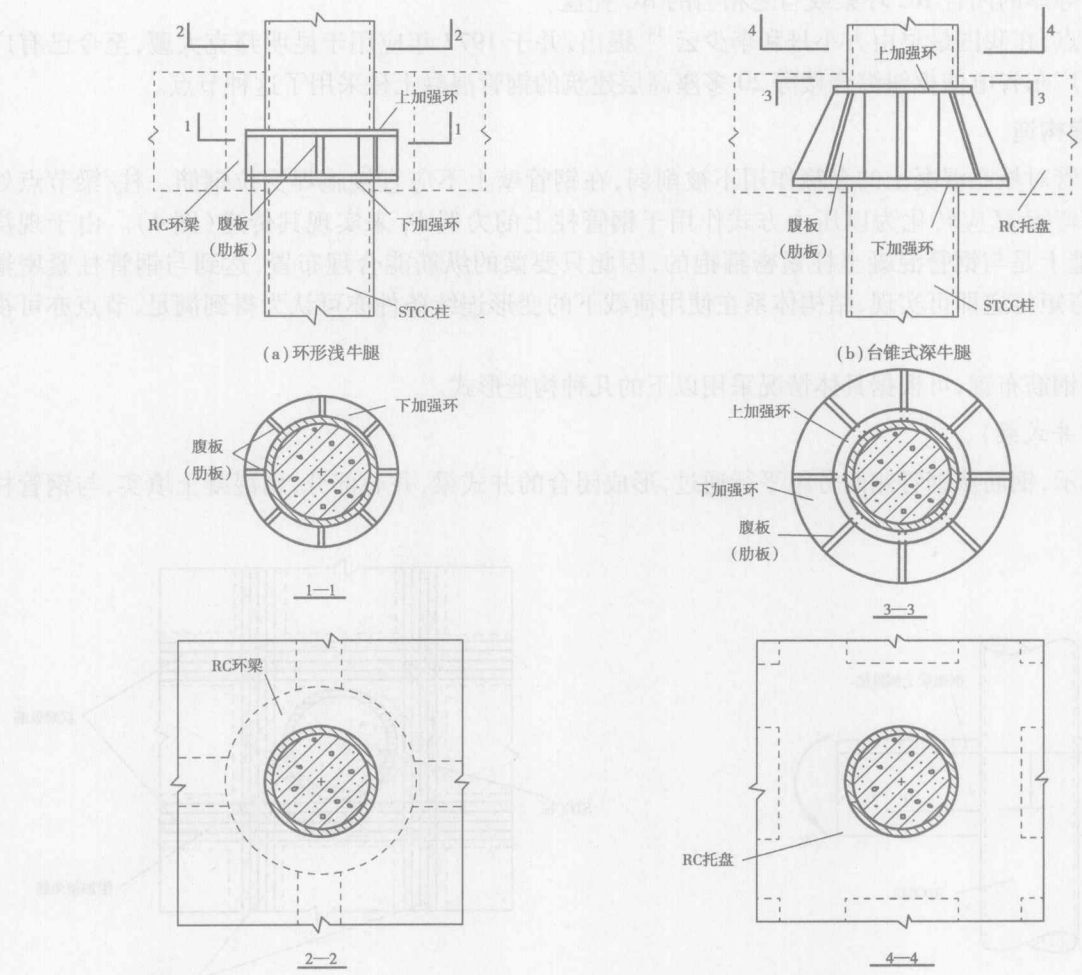


图 2 环形牛腿构造

在无梁楼盖和双向井式密肋楼盖中,为增强楼板的抗冲切能力和方便浇注混凝土,常须将下加强环板的面积扩大,腹板加高,形成与 RC 楼盖厚度相近的台锥形深牛腿。下加强环板的尺寸由 RC 楼盖的冲切强度确定。

从 20 世纪 90 年代,在北京地铁“复八线”的部分车站站台柱,以及重庆一些钢管混凝土高层建筑中,开始采用了环形牛腿^[10~12]。台锥形深牛腿在匈牙利的井式密肋楼盖体系中得到成功的应用^[28]。

3.1.3 抗剪环

抗剪环是通过连续的双面焊缝牢固焊于钢管壁上的闭合钢筋环或闭合带钢环(图 3)。钢筋直径 d 或带钢厚度 b 一般在 25~30 mm。抗剪环与前述环形牛腿一样,实即钢管柱的环形凸缘(法兰盘)。剪力借法兰盘与混凝土的局部承压作用于

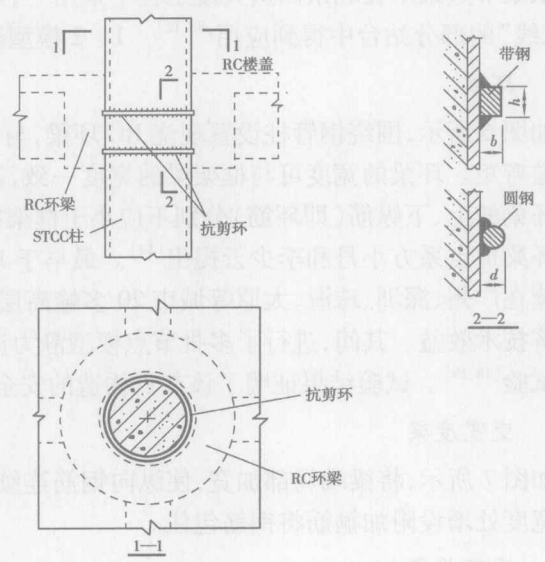


图 3 抗剪环构造

钢管。环形牛腿与抗剪环的区别在于:前者以腹板(肋板)与钢管间的竖向侧面角焊缝传递剪力,而后者则借环筋(环带)与钢管间的环形正面角焊缝传递剪力。基于与前述环形牛腿同样的考虑,沿抗剪环须设置与楼盖结构等厚的闭合 RC 环梁或与之相当的 RC 托盘。

抗剪环节点,在我国最早由方小丹和李少云^[14]提出,并于 1977 年应用于昆明邦克大厦,至今已有广州中华广场和广东省电信枢纽综合楼等 20 多座高层建筑的钢管混凝土柱采用了这种节点。

3.2 弯矩传递构造

为保证钢管对核心混凝土的套箍作用不被削弱,在钢管壁上不应直接施焊受拉钢筋。柱/梁节点处的梁端不平衡弯矩 M 应转化为以压力方式作用于钢管柱上的力偶 D 来实现其传递(图 4)。由于现浇 RC 楼盖在构造上是与钢管混凝土柱紧密箍抱的,因此只要梁的纵筋能合理布置,达到与钢管柱紧密箍抱,则节点的弯矩传递即可实现,结构体系在使用荷载下的变形连续条件亦可认为得到满足,节点亦可视为刚性节点。

节点区的钢筋布置,可根据具体情况采用以下的几种构造形式。

3.2.1 双梁(井式梁)

如图 5 所示,钢筋从钢管侧面分组平行通过,形成闭合的井式梁,井心部分,用混凝土填实,与钢管柱紧密箍抱。

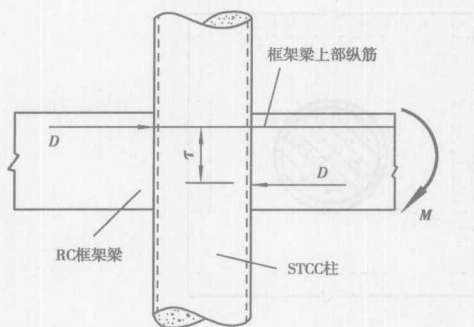


图 4 梁端不平衡弯矩的传递方式

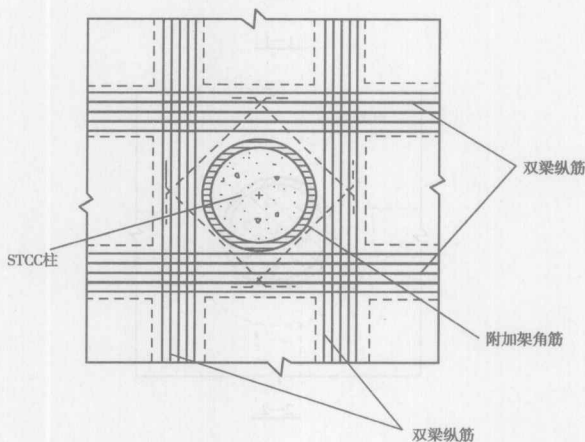


图 5 井式双梁构造

双梁节点最早在北京四川大厦工程中采用^[7],之后,在广州、重庆等城市的多座高层建筑和北京地铁“复八线”的部分站台中得到应用^[8-12]。1:2 模型试验^[13]表明,该节点构造的性能满足抗震设计要求。

3.2.2 环梁

如图 6 所示,围绕钢管柱设置现浇 RC 环梁,与钢管柱紧密箍抱,楼盖梁的纵筋则锚固于环梁内,借环梁传递弯矩。环梁的宽度可与框架梁的宽度一致,高度宜比框架梁高 50 mm,且宜不小于 0.5 倍钢管直径。环梁的上、下纵筋(即环筋)分别不应小于框架梁上、下纵筋的 0.7 倍。

环梁节点系方小丹和李少云提出^[14]。最早于 1997 年用于昆明邦克大厦(36 层,8 度抗震设防)。以后陆续在广州、深圳、珠海、太原等城市 20 多幢高层建筑(最高 68 层)中得到成功应用^[25,26],取得了良好的经济技术效益。其间,进行了多批节点模型静力试验^[14-16]、足尺节点静力试验^[17]和节点模型低周反复荷载试验^[18,19]。试验结果证明了该节点构造的安全可靠性。

3.2.3 变宽度梁

如图 7 所示,将梁端局部加宽,使纵向钢筋连续绕过钢管。梁端绕筋的斜度应不大于 1/6,并应在开始变宽度处增设附加箍筋将钢筋包住。

3.2.4 穿筋单梁

如施工条件允许,在个别特殊情况下,可在钢管上开孔,将梁的纵筋穿过钢管或直接锚入核心混凝土

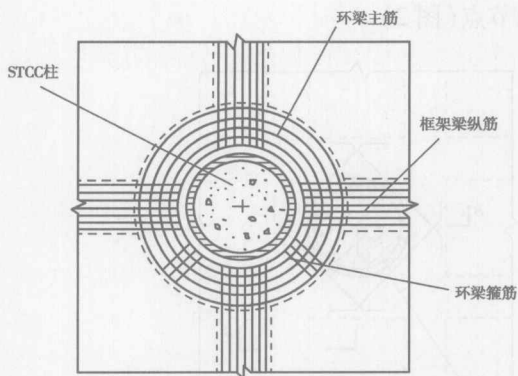


图6 环梁构造

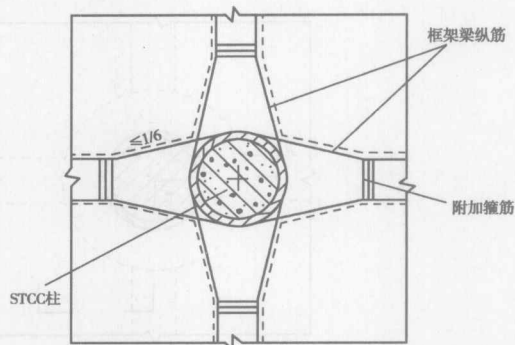


图7 变宽度梁构造

内(图8)。在钢管开孔的区段,应采用内衬管段或外套管段与柱钢管紧贴焊牢予以补强。衬(套)管的管壁厚度 t_1 应不小于柱钢管的管壁厚度 t ,穿筋孔的环向净距 s 应不小于孔的长径 b ,衬(套)管端面至孔边的净距 w 应不小于孔长径 b 的2.5倍。为了便于开孔和补强,宜采用双筋并股穿孔。

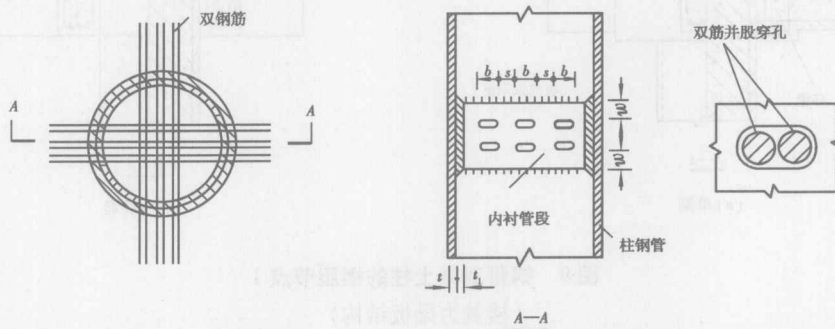


图8 穿筋单梁构造

上述诸种节点构造,各具特点。在剪力传递方面,承重销传力途径明确,剪力可直达核心混凝土,但有穿心部件,浇注混凝土不甚方便,制作工艺较复杂,焊接质量要求高,须委托压力容器厂、锅炉厂或造船厂加工制作,加工费用较高^[21]。在20世纪90年代初期,由于对钢管混凝土组合界面的粘结力尚缺少试验研究,担心钢管与核心混凝土之间能否可靠地传递剪力,在当时国内兴建的钢管混凝土高层建筑中,几乎都采用了承重销节点。以后,随着对钢管混凝土组合界面粘结性能的认识深入^[23],在后来建造的钢管混凝土高层建筑中,已普遍改用无穿心部件的环形牛腿和抗剪环。环形牛腿和抗剪环,无方向性,无穿心部件,无论加工制作、吊装定位和混凝土浇灌都很方便。尤其是抗剪环,材料用量最省,近年来在钢管混凝土高层建筑中得到日益广泛的应用。

抗剪环的抗剪能力取决于环形焊缝的长度($l = \pi D$)和环形凸缘的承压面($A_l = \pi D d$),二者均与钢管柱的直径 D 成正比。当钢管直径较小时,即可能出现环形焊缝长度或环形凸缘承压面积不够的情况,此时,就须采用环形牛腿。环形牛腿的抗剪能力取决于腹板(肋板)竖向焊缝的总长度,可借调节腹板的块数和高度予以满足,与钢管柱的直径无关。而承压面积也可借加大环板的宽度予以满足。一般来说,抗剪环适用于柱子直径较大的情况,环形牛腿适用于直径较小的情况。

在弯矩传递方面,井式梁(双梁)和环梁,以其构造简单,勿需在钢管壁上打孔穿筋,无现场焊接,施工方便,材料用量较省,在工程中应用较普遍,特别是环形梁,可适用于各种形状的柱网^[14,22]。变宽度梁,虽也可避免钢筋穿管,但毕竟只适用于钢筋根数不多、钢管直径不大的场合。至于穿筋单梁,因制作工艺较复杂,浇注混凝土不甚方便,只在个别工程中有过应用。

综上所述,根据现有的试验研究成果和工程实践经验,在现浇RC楼盖体系中,钢管混凝土柱的楼层节点,建议优先采用以下的组合搭配:

①对于梁板结构的楼盖,当柱子直径较大时,宜采用双梁/抗剪环节点或环梁/抗剪环节点(图9)。当

柱子直径较小时,宜采用双梁/环形牛腿节点或环梁/环形牛腿节点(图2)。

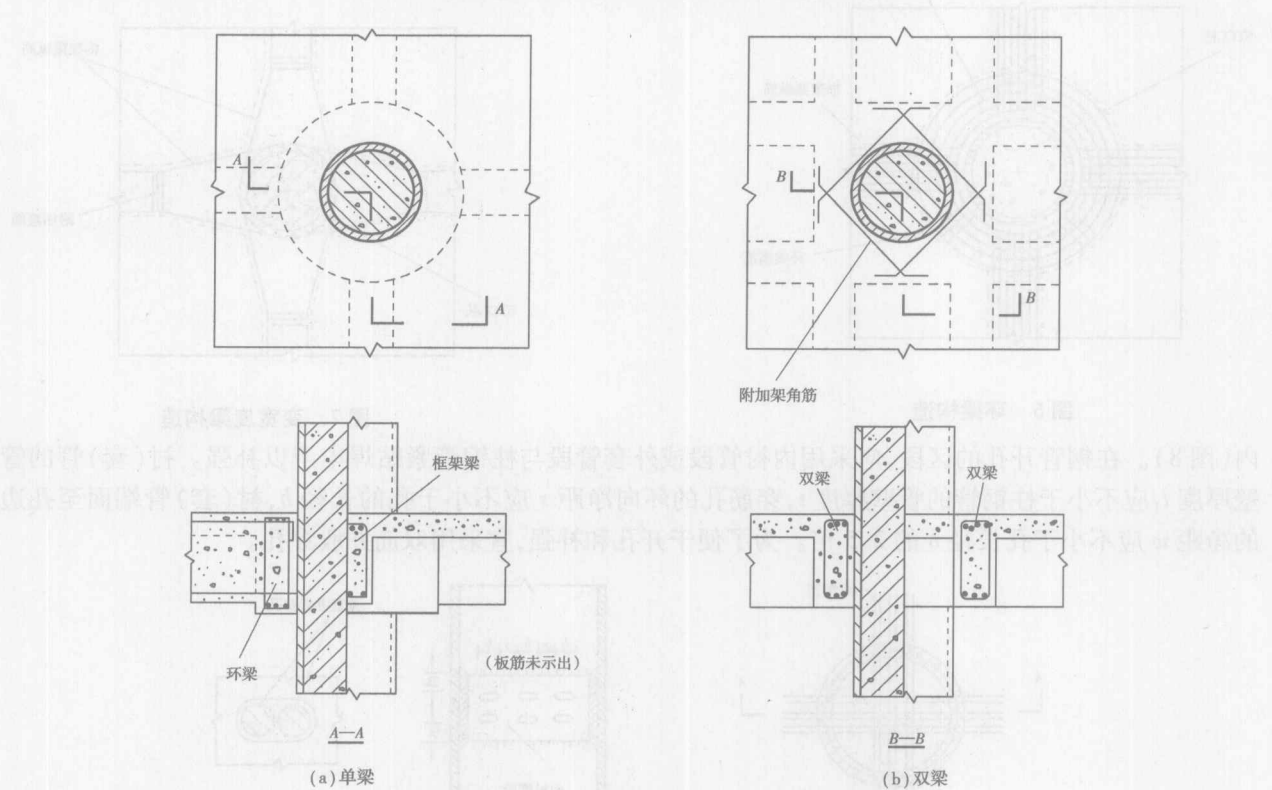


图9 钢管混凝土柱的楼层节点1
(楼盖为梁板结构)

②对于无梁楼盖和双向井式密肋楼盖(包括无粘结预应力的)宜采用双梁/台锥式环形深牛腿节点(图10)。

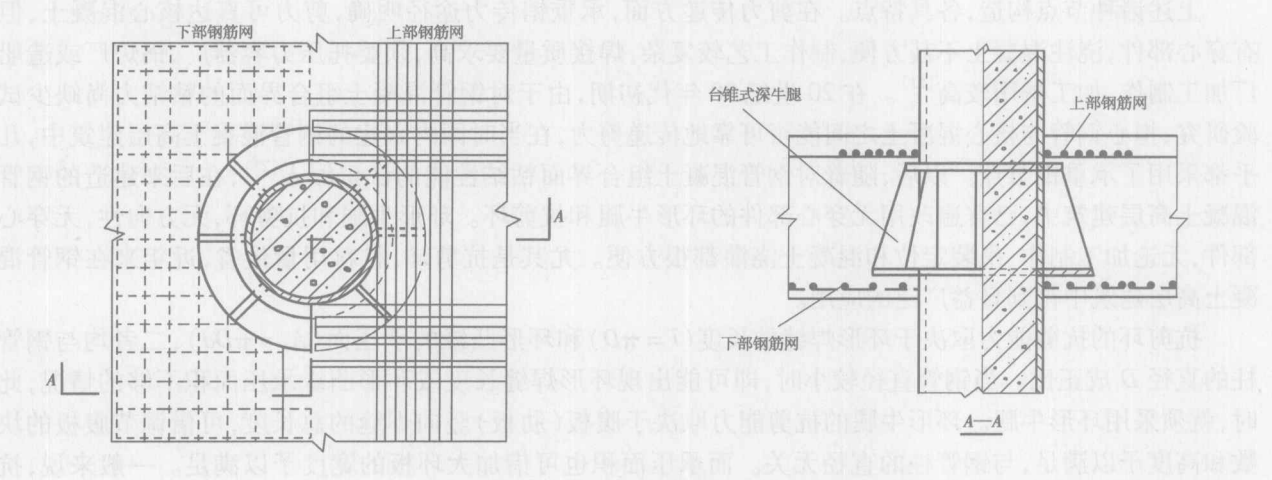


图10 钢管混凝土柱的楼层节点2
(楼盖为无梁平板或井式密肋板)

至于柱/梁节点的计算模型,可做以下偏于安全的假设:

①在作剪力传递时,忽略 RC 楼盖与钢管柱界面的粘结力。

②在作弯矩传递时,视加强环和环筋为独立环带,不考虑其邻域钢管壁的共同作用,以免削弱钢管的套箍能力。因限于篇幅,有关节点设计的计算细则,可参阅专著[1]第13章。

4 钢管混凝土柱与钢梁的连接

当楼盖采用钢框架或钢-混凝土组合结构时,即会出现钢管混凝土柱与钢梁连接的课题。

梁端剪力传递可按钢结构的做法,用焊接于钢管上的连接腹板来实现,梁端弯矩传递则采用环绕钢管柱的加强环与钢梁的上下翼缘板焊接的方法来实现(图 11)。《规程》^[3]推荐的加强环形式如图 12 所示。无论中柱、边柱和角柱,加强环都应做成封闭状的满环,切不可采用半环或大半环,以免造成钢管环向应力超量而削弱其对核心混凝土的套箍约束能力,导致钢管被撕裂和柱子承载能力下降。

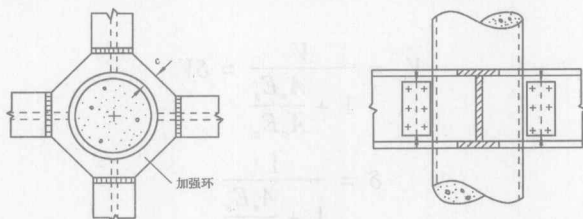


图 11 钢管混凝土柱/钢梁连接构造

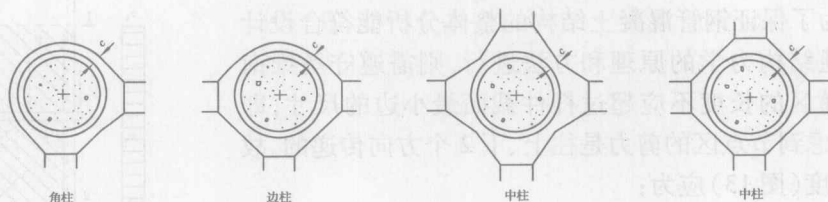


图 12 加强环形式

加强环板的最小宽度 c 应根据其抗拉能力不小于梁翼缘板抗拉能力的 0.7 倍这一条件来确定。该条件系根据加强环最薄弱部位与梁轴线呈 45° ,并将加强环视为独立环带,不考虑其邻域钢管壁的作用,由等强静力平衡条件得出的。

当钢管柱直径较大时,加强环也可设在钢管内侧,兼作抗剪连接件。内加强环与钢管壁之间必须用坡口满焊。

5 钢管内部剪力传递

如图 13 所示,楼层梁端剪力在梁、柱节点处传递于钢管壁后,即借助钢管与核心混凝土组合界面的粘结力,沿着节点的上下临域逐渐传递于核心混凝土,直到截面 I—I 和截面 II—II 处钢管与核心混凝土的应变开始协调一致,二者完全进入共同组合作为止。介于截面 I—I 和截面 II—II 之间的区域,称为剪力传递区,其长度称为剪力传递区长度。

在作节点剪力传递分析时,必须首先建立合理的计算模型,确定剪力传递区长度,弄清钢管与核心混凝土所分别承担的剪力份额。

笔者在专著^[1]中已做过论证,按照我国现行规范所设置的安全度水平,钢管混凝土结构在正常使用荷载下的结构反应是线弹性的,而且处于弹性阶段的钢管混凝土柱,如同普通 RC 柱一样,其钢管只起纵向钢筋的作用,对核心混凝土的套箍约束作用尚不显著而可以忽略不计。

现以最不利の中柱为例,设截面 II—II 以下(图 13)钢管和核心混凝土分别所承担的剪力为 V_s 和 V_c ,相应的应力分别为 σ_s 和 σ_c 。令 E_s 和 E_c 分别为钢管和混凝土的弹性模量,则由虎克定律和变形协调条件得:

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s}, \quad \varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{E_c} \quad (1)$$

和

$$\varepsilon_s = \varepsilon_c \quad (2)$$

解式(1)得: