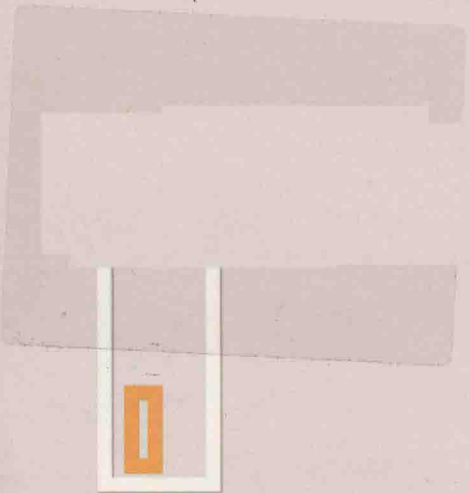
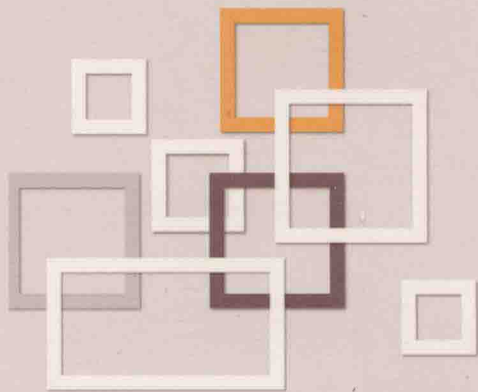




林立岩 主编

科技创新推动工程设计优质发展

——记改革开放以来辽宁部分优质设计成果



中国建筑工业出版社

科技创新推动工程 设计优质发展

——记改革开放以来辽宁部分优质设计成果

林立岩 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

科技创新推动工程设计优质发展——记改革开放以来辽宁
部分优质设计成果/林立岩主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 9

ISBN 978-7-112-22508-8

I. ①科… II. ①林… III. ①建筑设计-科技成果-汇编-
辽宁 IV. ①TU2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 177252 号

本书共六篇, 分别介绍了两个创新结构体系和六个创新核心技术, 包括:
钢管混凝土叠合柱结构体系; 约束砌体组合墙结构体系; 结构优化设计; 岩土
工程的新突破; 建筑物的加固改造与鉴定咨询; 水利与道桥。以上成果, 是改
革开放三十多年来辽宁工程结构领域中的丰硕成就, 这是大协作、新老结合和
大竞争的产物。

本书可供从事建设工程勘察、设计、施工及科研、教学人员参考使用。

责任编辑: 王华月 范业庶

责任校对: 王 瑞

科技创新推动工程设计优质发展——记改革开放以来辽宁部分优质设计成果

林立岩 主编

*

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

北京科地亚盟排版公司制版

大厂回族自治县正兴印务有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15¼ 字数: 379 千字

2018 年 9 月第一版 2018 年 9 月第一次印刷

定价: 60.00 元

ISBN 978-7-112-22508-8

(32290)

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

林立岩 李庆钢 孙 强 徐云飞

从 20 世纪八九十年代到 21 世纪初,这三十多年是我国改革开放以来建设事业发展的
大好时期。到处是欣欣向荣的建设景象。建设科学技术也得到相应的蓬勃发展,科技创新
不断涌现。这一时期,高等院校主动与设计、施工单位进行了紧密的结合和协作,促成
了一大批开创性的科技成果。在辽宁省,清华大学、大连理工大学、哈尔滨工业大学、东北
大学、沈阳建筑大学等高校的师生,走出校门,与设计、研究、咨询、施工单位的科技人
员紧密协作,立项发展许多有开拓性和研究工作。我们发现,辽宁广大设计科研人员,在
这期间一改过去的沉闷和平庸,表现出自强不息的创新精神,爆发出强烈的科技探索能
力,取得了许多有突破性的自主创新成果。

我们认为,在工程结构领域中,20 世纪末到 21 世纪初期间,辽宁省下列几项成果有
重大突破,达到和超过我们国家的先进水平,是光辉的榜样。这些可贵的成果,可归纳为
两项自主创新的结构体系(钢管高性能混凝土叠合柱结构体系、约束砌体组合墙结构体
系)和六项核心关键技术(地基基础抗震概念设计研究、高层建筑筏板基础研究、多层地
下室采用半逆作法自支护体系研究、既有建筑加固改造技术研究、空间钢结构及高层建
筑结构优化设计研究以及水工方面的大流量、长距离隧洞进行跨流域输水工程研究。道桥方
面我省保持着多项我国高速公路的先进纪录)等。

本书将用以下六个篇章分别介绍两个创新结构体系和六个创新核心技术:

一、具有国际领先水平的钢管混凝土叠合柱、叠合墙结构

1995 年,辽宁省建筑设计研究院的工程设计人员,综合利用混凝土柱的四大成柱理
念——“强化、约束、组合、叠合”,在地上 24 层高的沈阳日报社大厦工程中首先开拓性
地成功应用钢管混凝土叠合柱、叠合墙。从此,这一国际没有、国内领先的结构体系诞生
了。现在已在全国广泛推广应用。

所谓钢管混凝土叠合柱,即在混凝土柱的核心部位增设一钢管混凝土柱(组合);钢
管和管内外混凝土的相互约束改善了柱子的受力性能(约束),特别是管内采用高强、高
弹性模量混凝土(强化),提高了核心区的刚度和承载力;施工过程承受一定的轴向荷载
后,再浇筑管外混凝土,利用时间差来改善轴向力在柱截面中的分布(叠合)。

目前在辽宁已有 7 个叠合柱工程(见本段末的附注)在核心钢管内使用了 C100 级高
强度混凝土,在管外采用 $\leq$ C60 级的混凝土。管外混凝土后浇筑,也可与管内混凝土同期
浇筑,通过确定合适的叠合比,可合理分配柱截面上各区的轴压强度和轴向刚度。一般能
做到约占整个柱截面积 30%~40% 的核心钢管混凝土,分担约 70% 左右的总轴力,管外
混凝土仅承担约 30% 左右的总轴力。与同样承载力的普通钢筋混凝土柱或型钢混凝土柱相
比,其优势有:

(1) 外围混凝土的轴压比明显降低, 实现“强柱弱梁”, 柱身容易实现具有延性的大偏心受压破坏形态;

(2) 由于柱断面减少, 使柱子的剪跨比增大, 避免出现短柱和极短柱(汶川地震发现短柱破坏非常普遍且严重, 应引以重视);

(3) 钢管的加入, 使柱子的剪压比减小, 避免剪切破坏, 实现“强剪弱弯”;

(4) 增加柱的延性和耗能能力, 延长了叠合柱从屈服到破坏的过程, 提高了柱端塑性铰的转动能力;

(5) 梁、柱节点易于处理, 节点抗震性能良好, 做到“强节点弱杆件”, 施工方便;

(6) 用于剪力墙, 无论有无端柱, 试验表明, 其抗震性能均明显优于型钢混凝土剪力墙;

(7) 节省材料、减轻自重。前述东北大学综合科技楼工程原设计用 C50 钢筋混凝土柱, 断面为 $1000\text{mm} \times 1000\text{mm}$, 改用叠合柱后(内部 $\phi 377 \times 16$ 钢管及管中 C100 混凝土)断面减小为 $600\text{mm} \times 600\text{mm}$, 只有原来的 36%, 总用钢量基本持平。

注: 沈阳采用 C100 级高强混凝土的高层叠合柱工程为: 富林广场、远吉大厦、贵和大厦、万鑫大厦、东大综合科技楼、宏发大厦、清华同方信息港大厦等。

二、约束砌体组合墙结构是砌体结构的升级换代

直到 20 世纪 80 年代, 砌体结构乃是我国民用建筑的主要结构形式。为了提高砌体结构的抗震性能和安全度, 辽宁省特别是沈阳市建委积极倡导开展钢筋混凝土和砖“组合墙结构”研究。所谓“组合墙结构”(汶川地震后改称为“约束砌体组合墙结构”), 即将建筑物的所有承重墙体, 都处于圈梁和构造柱的包围约束之中, 形成约束块的组合体。由于层层设圈梁, 约束块体的高度均等于层高, 约束块按长度分两种, 一种为增强型(尺寸大约为长度等于高度), 又称为强约束块; 另一种为普通型(尺寸大约为长度不大于 2 倍高度)。到 20 世纪 90 年代末, 这种组合墙体结构在辽宁省已用到数百万平方米, 在省外也推广应用了近百万平方米。这种创新结构的研究, 是全国产学研大协作的产物, 中国建筑科学研究院抗震所、中国地震局工程力学研究所、大连理工大学工程力学系、哈尔滨建筑大学土木系、清华大学土木系等单位 and 辽宁地区的主要设计施工单位都积极投入这一课题的试验研究。经过约十余年的共同协作, 到 21 世纪初, 已基本完成试验研究工作, 通过了国家级鉴定, 并编制了相应的地方设计施工规程。

2008 年 5 月 12 日汶川地震, 是对这种创新结构体系的实际考验。汶川地震大量建筑倒塌的悲剧传到时, 当时有不少正在设计施工中的住宅工程的业主和设计施工单位纷纷向研究组打来电话, 问是停工还是继续建? 你们能负起责任否? 于是, 设计人员迅速奔赴灾区开展调查研究。当时年过七旬的老工程师林立岩等就在第一时间连续三次奔赴北川、都江堰、成都等不同烈度地区实地考察。调查发现在超设防烈度区按《砌体结构设计规范》(GBJ 3—88) 和《建筑抗震设计规范》(GBJ 11—89) 设计的装配式砌体建筑大部分倒塌; 按《砌体结构设计规范》(GB 5003—2001) 和《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001) 设计的建筑, 破坏情况有明显好转, 但在超烈度区仍破坏严重, 不满足人民群众的期待, 安全度还不够; 调查还发现, 其中有一部分建筑, 设计人员在 (GB 50011—2001) 规范的基础上加密了构造柱的间距、承重墙上层层设圈梁, 许多构造措施参照辽宁省组合墙的做法, 震后效果很好, 基本上达到了“小震不坏、中震可修、大震不倒”的设防目标。如中

建西南建筑设计院在震区设计了六十多所中小学校舍,基本上参照组合墙结构的规定设计的,大震后全部安然屹立不倒,说明砌体结构是有巨大抗震潜力的。如果今后设计充分发掘其潜力,严格保证建筑物的整体牢固性,提高约束柱和约束梁的应用水平(全楼采用强化约束块),加强施工质量,这种强化“约束”和紧密“组合”的砌体结构,完全可以做到“小震不坏、中震可修、大震不倒”的。汶川地震的成功实例表明,在地震区可以应用约束砌体组合墙结构,约束砌体组合墙结构是砌体结构的升级换代。

我们认为,辽宁“组合墙”结构的试验研究,是按最不利的8层模型做的,实际工程应用该成果时应根据具体情况加以限层、限高,并不断吸取各地的经验教训,修正过去组合墙研究的一些模糊的甚至错误的认识,增加严格的构造措施,形成新的结构体系。这是一条科学、正确的研究路线和方法。

三、结构优化设计展新姿

随着电子计算机应用技术的发展,在工程结构领域中结构优化设计取得了显著的进展。20世纪八九十年代,辽宁省建筑设计研究院自主编制的计算机软件,不仅有辅助设计系统,还或多或少带有自动设计功能和优化设计功能,如平面框架,平板网架、独柱基础、螺旋楼梯等软件,优化功能非常醒目。1988年8月,在加拿大举行的“第三届计算机在土木工程中应用国际会议”上,辽宁省建筑设计院作了系统的介绍,取得了广泛的重视和影响。

传统的结构优化方法是解析优化法,先确定目标函数,然后用计算机进行网络搜索求出最优解。林立岩首先提出用“最大应变能准则法”进行钢结构网架的优化,又快又准地取得最优解,这一成果达到国际领先水平。

近来,随着大跨度建筑和高层建筑的迅速发展,结构变得非常复杂。除非采用超大型超高速计算机,一般分析软件满足不了迅速准确优化的要求,出现了用概念设计方法进行结构方案的优选。特别是高层框架—核心筒体结构、超高层剪力墙结构、框支结构,辽宁省的结构工程师们用概念设计方法进行了深入的探讨,对当前设计中存在的问题提出批评意见和建议。大大促进了辽宁高层建筑的健康发展。

四、突飞猛进的岩土工程新技术

改革开放以来,辽宁省涌现出不少有创新精神的岩土工程师,他们把过去单纯的地质勘探,提升为真正的岩土工程研究,使岩土工程成为地质勘探、高等土力学、地震理论、结构力学和施工技术多学科共融的结合。他们的主要功绩有:

(1) 普遍重视岩土工程的抗震概念设计,提出一系列抗震概念措施。如强调地震波、地震加速度、地质构造、场地特征对建筑的影响;研究地基基础的抗震作用;提出加深基础可以减轻地震作用的概念、基础设计应有整体牢固性的概念、加强建筑物的嵌固性能的概念、桩与地基土协同工作的设计概念、宜用四周带侧壁的地下室来减轻水平地震作用的概念;对大型整体基础提倡按变形控制原则设计基础;减轻上部建筑自重和促进结构的规则性等。

(2) 合理利用地基资源,特别是砂类土地基资源。在辽宁,已有一百多幢高层和超高层建筑,按基础刚度扩展法和变形控制原则,设计采用筏形基础,建筑高度最大已超过300m。许多建筑是在含薄黏土夹层的砂土地基上修建的,经过岩土工程师对夹层体局部处理后修建,效果很好。辽南地区还有在黏性土地基上作砂垫层,然后在砂垫层上再建筏

形基础效果也很好。

(3) 适当提高地基设计的安全度。国际上有惯例,当人均 GDP 超过某一数值(各国不同)后,宜提高当地地基的承载力安全度。辽宁前几年将营口、盘锦的软土地基国家规范给定的承载力特征值适当降低,按变形控制原则设计基础,收到显著的控制效果。

(4) 在深基础的基坑支护中,首创采用自支护半逆作施工方法,在建筑物密集区的高层建筑地下室工程中应用此法,都取得显著的技术经济效益。

(5) 在岩土工程师和结构工程师配合下,辽宁省一些既有建筑实施了纠倾,平移、增层改造工作。

五、通过咨询、鉴定,加固改造既有优秀建筑

自改革开放以来,城市要发展扩张,许多古代、近代、现代以及当代的优秀建筑需要咨询和鉴定,确定是否进行加固改造,或拆除重建。辽宁省沈阳市土建学会下属三个咨询部做了大量的工作。为沈阳故宫文溯阁进行鉴定,提出保护措施使濒临倾斜倒塌的文物建筑重获新生;使一批历史建筑得以挽救,如沈阳南站、沈阳老北站站舍;增层改造了一批近代建筑,如沈阳市政府办公楼、省国土资源厅办公楼、沈阳日报社办公楼等;通过鉴定为一些现代建设提供增强抗震性能的建议,如辽宁大厦、省工业展览馆、原东北局礼堂等。这些咨询鉴定工作,为留住历史根脉,传承中华文明做出突出贡献。

此外,他们还帮助当地设计施工单位,解决不少建设过程中出现的重大疑难问题。如东北大学综合科技楼,是一个多中庭、大柱网、采用框剪结构的高层建筑,建设单位强调要切割空间,把单一中庭切割成上下左右四个中庭;做到既要抗大震,又不希望出现短柱现象;中庭四周的走廊是主要交通休息通道,为了美观,也为了节约,希望最大的柱子结构断面不超过 $600\text{mm} \times 600\text{mm}$ 。通过研究,建议采用钢管高弹性模量混凝土叠合柱结构体系,使一栋近 20 层高的教学科技大厦的全部柱子都不超过 $600\text{mm} \times 600\text{mm}$,完全满足了建设单位的要求。

六、与建筑结构并驾齐飞的水利工程、道桥结构

在总结前期工程结构时,鉴于篇幅和人力,可以建筑结构为主,但千万不能遗漏辽宁的水资源调度和道桥工程。辽宁的水资源“蓄、调、配、用、治”,是全国搞的最好的水利建设。国内有人积极反对修水库调大水,但辽宁省根据省情,中部和西部严重缺水,仅东部长白山余脉分布区域降水量较多,这几年,省政府按照习近平总书记提出的“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水方针,建设了“东水济西”的输水网络,共有三条线路,中线已于 2012 年建成,解决了中部 8 个城市的用水问题;北线要建跨越大辽河的输水大通道,解决辽西北地区的用水问题,2017 年即可基本建成通水;南线将彻底解决辽南地区的用水问题,正在积极策划中,现暂由中线供给水。根据省水利厅的规划,“到 2015 年,可以从根本上解决辽宁的水资源问题”。辽宁省的调水,尽量保持生态均衡,只是把多余的水调走,消除了连年的洪涝灾害。现在沈阳、本溪、抚顺连年的洪灾消失了。由于东部河流保持稳定的水位,加上调水管线和隧洞都走地下,沿线和库区都变成山清水秀的生态旅游集聚区,建起了漂流区、画家村,有的地方还成了“北国富春江”、“东方九寨沟”、“神州北湖”。

在调水工程中有两条世界最长的大口径输水隧洞,本书应当好好总结一下它的成功经验。这两条隧洞,凝聚了辽宁人民的美丽“中国梦”。

以上成果，是改革开放三十多年来辽宁工程结构领域中的丰硕成就，将分六个篇章在本书中逐一介绍。这是大协作、新老结合和大竞争的产物。文章的作者，不仅有省内的专家，还有许多外省专家；不仅有现已退休的老专家，还有许多年轻的专家。我们在此对作者们表示最诚挚的感谢。

21 世纪最近十几年设计部门改为企业化管理，偏向追求产值，讲究奖金，年轻人对挣钱的风气有所抬头，致使设计院对创新的追求没以前强烈了。以辽宁省为例，过去积极对结构进行咨询、鉴定、研究、促进既有建筑改造的人少了，曾经风风火火的技术咨询部大多名存实亡，有个经咨询改进方案修建的沈阳人最喜欢的游乐园——夏宫，干脆拆掉；上述几大创新技术之一的“约束砌体组合墙”，现在没有人去进一步研究了。本应成为辽宁省核心技术的钢管混凝土叠合柱，现在搞的最好的地方已不在辽宁，而是重庆、深圳；结构优化设计的一些方法是辽宁先提出来的，现在在省内要想优化，由于软件没有及时维护，已经不好用了，要到外省去计算；砂类土地基上采用筏形基础的高层建筑，在辽宁最高已超过 300m，但设计人却是请来的外省工程师；我国最早的建筑物平移工程诞生在辽宁，现在很少移房，拆房成了最“挣钱”的“经济”，反观南方省份，房子不仅可以平移，还可在平移的同时旋转、整体抬升、局部纠倾，改造应用水平不断提高；……所以，辽宁省的结构专家们千万不能自满，更不能停顿，要知道差距在加大，自满就会落后，停顿就是倒退。

当前，我国现代化建设正处在关键期，经济发展进入“新常态”，既要保持中高速增长，又要向中高端水平迈进。党中央提出创新驱动发展战略。建筑行业要培育新的增长动力和竞争优势，只有自主创新才能提高设计院的竞争力，用技术实力保障企业跨越式发展，创新是根本。我们要更加注重科技进步和全面创新，坚持走创新驱动发展之路，才能实现质量更优、效益更高、结构更合理、产业更高端的增长。形成万众创新的生动局面，在新一轮世界科技革命和产业革命中迎头赶上。

推动“万众创新”，核心是人才建设，要大力培养创新型人才，让潜心研究者心无旁骛，为创新创业者解后顾之忧；破除论资排辈、门户之见、头衔崇拜；以真才实学论英雄，多让年轻人挑大梁，出头彩；改革科技成果产权制度、收益分配制度和转化制度，更好体现知识和创造的价值，切实保护创新者的合法权益。使创新者勇于追求，再攀高峰，使万众创新热潮涌动，活力澎湃，为我国建设事业做出新贡献。

本书可供从事建设工程勘察、设计、施工及科研、教学人员参考。

林立岩 顾问总工程师 全国工程勘察设计大师
李庆钢 辽宁省建筑设计研究院有限责任公司总工程师
孙强 辽宁省建筑设计研究院有限责任公司副总工程师
徐云飞 辽宁省建筑设计研究院有限责任公司技术处处长

目 录

第一篇 钢管混凝土叠合柱结构体系

钢管混凝土叠合柱结构的研究和应用	林立岩	单 明	(3)
《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》简介	钱稼茹	林立岩	(10)
钢管高强混凝土叠合柱	林立岩	李庆钢	(17)
钢管混凝土叠合柱的设计概念与技术经济性分析	林立岩	李庆钢	林 南 (26)
沈阳富林广场的钢管高强混凝土叠合柱结构	林立岩	宋作军	(36)
钢管高强混凝土组合柱轴压承载力试验研究	钱稼茹	康洪震	(43)

第二篇 约束砌体组合墙结构体系

约束砌体结构成套技术研究	……	王天锡 李国华等, 张前国 林立岩等, 魏珽 崔健友 刘立泉等, 邬瑞峰 解明雨 奚肖凤 陈熙之等	(53)
周期反复荷载作用下组合墙结构的抗震性能研究	……	黄维平 邬瑞峰	(59)
汶川地震后我省新建的第一幢农村小学	……	林 敢 林 南	(65)
应继续采用约束砌体组合墙结构体系	……	林 南 温青培 孙 强	(70)

第三篇 结构优化设计

平板网架的优化设计	林立岩	(81)
用“最大应变能准则法”进行空间钢结构优化	林立岩	(92)
高层框架—核心筒结构体系的设计优化	林立岩 孙 强 白宏涛	(97)
高层剪力墙结构的优化设计	林 南 白宏涛	(104)
大连奥泰中心 1 号塔楼对于钢管混凝土叠合柱优化技术的应用与研究	王立长 李 洋	(111)

第四篇 岩土工程的新突破

地基基础抗震概念设计	单 明	温成世	张海东	(119)
论筏形基础在高层建筑中的应用	林立岩	刘忠昌	林 南	(126)
按刚度扩展法设计筏形基础在富林广场工程中的应用	张春良	单 明		(133)
结构自支护体系半逆作法在远吉大厦中的应用	林立岩	温青培	贾连光	(136)
砂土地基上大直径桩的承载能力	林立岩	刘忠昌	林 南	(142)
论软土地区高层建筑物采用砂石垫层地基的优越性	高达志	温成世	林立岩	(146)

建筑物平移关键技术设计与分析	楼永林 (151)
----------------------	-----------

第五篇 建筑物的加固改造与鉴定咨询

对铁路沈阳站站舍去留的大辩论	(161)
沈阳老北站应作为历史建筑传承下来	(163)
沈阳市政府大楼抗震加固及增层改造	林立岩 单 明 吴 波 (166)
国土资源厅办公楼“四增四”增层改造工程	沈阳市建学工程咨询设计研究所 (173)
沈阳日报社大厦由 16 层增建至 24 层	林立岩 张宗刚 (177)
请留住中山路口最早的标志性建筑	林立岩 邓子林 (179)
沈阳中街商业城的火灾加固教训	辽宁省土建学会建设结构咨询部 (181)
评东北大学多中庭科技楼设计	林 敢 (183)
对我省墙体改革与可持续发展的思考	林立岩 窦南华 杨荫泉 (188)
沈阳的 20 世纪建筑遗产应得到妥善的保护	林 敢 林 晖 温青培 (192)
某段地下交面隧道隆起原因分析	杨荫泉 刘 斌 李维宜 林立岩 (195)

第六篇 水利与道桥

当今世界最长的输水隧洞	杜士斌 (205)
四通八达的路, 跨江过海的桥	杨荫泉 (220)
黄海深处的连岛桥	杨荫泉 (223)
我们的美丽中国梦——对我国水资源建设的迫切思考	林立岩 杜士斌 杨荫泉 (225)

第一篇

钢管混凝土叠合柱结构体系

《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》CECS 188—2005 自 2005 年颁布以来，十多年的推广实践使这个由我国自主开拓研发的新型结构体系得到了工程界的广泛认可，应用范围已从辽宁省扩展至全国各地，最大结构高度已超过 300m。在高层建筑密集的重庆市，在建的最高建筑就是采用这种结构体系；在深圳，卓越皇岗世纪中心二号塔楼 68 层，高 260m，也采用了钢管混凝土叠合柱。最近，某地一座近 400m 的超高层建筑，经过我国超限高层建筑抗震设防审查专家委员会几位专家的初步论证，也建议采用钢管混凝土叠合柱结构体系。

辽宁省是最早在工程中应用叠合柱的地方。1995 年在沈阳日报社大厦的地下室工程中，由于和已有建筑零距离，创造性地采用了自支护半逆作施工工法，同时创新出了钢管混凝土叠合柱。从此开始了钢管混凝土叠合柱的系统研究，辽宁省建筑设计研究院与清华大学、大连理工大学、哈尔滨工业大学等单位同心合力，对这一结构进行了深入的试验研究。三所大学都培养出多名博士生，共同编制了《技术规程》。许多著名的专家，如中国工程院院士容柏生、赵国藩、王光远、陈肇源、欧进萍、江欢成等都曾分别在设计方法、试验方案、构造处理、工程应用、高性能混凝土的组合等方面进行指导并参加研究，为本课题的发展做出贡献。

遵照上级领导的要求，现将十八年来主要工程进行实录整理，报请备案，同时，将十几年来有关这一题目的部分已发表论文摘录于后，以便读者更全面地了解这一课题的研究情况和发展历程。这次主要将辽宁地区的工程进行实录，虽然在上海、广州、重庆、南京、深圳等地也都建成了采用钢管混凝土叠合柱的工程，但由于信息不够，仅能抽选几项作为代表加以介绍。其中许多工程已获得全国优秀建筑设计奖。从中可以看到这种结构诞生、发展的历史轨迹，也可以看到我省的发展差距。

十八年来积累了丰富的研究成果和工程试点经验，也发现了一些需要改进和提高的地方，已经到了需要修订和升级该《技术规程》的时候了。

十八年的开拓实践证明，钢管高强混凝土叠合柱利用多种结构和不同材料的合理组合，是技术密集型的结构体系。由于其科技含量高，原创实力强，在推广过程中表现出超越势头猛，开发效益显著的特点，在同类结构体系中已处于领先水平。该项技术在推广应用过程中也经常遇到一些阻力和困难，希望我省各设计、研究和管理部门继续发扬敢于竞争、勇于超越的精神，严谨、认真、踏实地面对各种挑战，深入研究探索存在的问题，不断总结实践经验，把科技创新推向新阶段，使辽宁省在“十二五”期间从建筑结构的“科技大省”向“科技强省”转化。

本章编辑 李庆钢 孙 强

钢管混凝土叠合柱结构的研究和应用

林立岩 单 明

(辽宁省建筑设计研究院有限责任公司, 沈阳)

【摘 要】 本文介绍近 20 年来由我国自主创新的钢管混凝土叠合柱结构从概念形成到原理探讨, 从理论和方法逐渐成熟, 到编制《规程》, 从辽宁到全国的工程应用及主要研究成果, 展望进入“十二五”期间, 钢管混凝土叠合柱的应用趋势。

【关键词】 叠合柱; 组合柱; 理论与试验研究; 工程应用及成果推广

1 钢管混凝土叠合柱概念的提出

1995 年初, 沈阳日报社大厦地下室工程施工中出现了问题。由于该工程与相邻的住宅相距为零, 前者为高层建筑, 地下室 2.5 层, 埋深 14m, 后者为多层砌体结构, 基础为浅基础, 若地下室土方开挖必然影响后者的安全。基坑只有采取极为有效的内支护措施才能确保后者的安全。两个楼分属两个单位, 关系十分紧张, 后者不允许前者往其屋下打入锚杆, 施工工期又很急。在此情况下, 建设单位找我院进行技术咨询。我院当时的总工程师林立岩设计大师率先提出采用半逆作自支护工法施工的创新理念。方案是在每个柱网的位置下沉钢管混凝土柱子, 这种钢管混凝土柱子既是主体结构的垂直承重构件的核心部件, 还在施工期间利用核心钢管混凝土作为深基坑内支护体系的竖向支撑构件。原来各层楼盖中的混凝土梁由上往下随土方开挖逐层先做出来作为内支护体系的水平支撑构件。待地下各层土方都完工后, 再由下而上浇筑筏板基础和各层楼盖, 这时在钢管外围再浇筑柱子的后期混凝土, 无意之中形成“叠合柱”。后来果然按这一想法进行施工, 整个过程非常顺利。上部结构建到 10 层后, 建设单位要求原设计 16 层的大厦接建到 24 层, 柱子也用叠合柱的计算原理进行加固设计。“叠合柱”的概念终于在 1995 年下半年产生了。

沈阳日报社基础工程的成功, 鼓舞我们进一步完善“叠合柱”的概念, 发现这种做法也可以在上部结构中应用。遂在 1996 年创造性地在辽宁省邮政枢纽大楼 (23 层, 高 96.9m) 工程上作为试点工程加以应用, 也很成功, 当时提出一些构造措施, 节点做法, 施工方法和相应的计算方法以及与高性能混凝土的组合等^[2]。继之在 1997 年又开展沈阳和泰大厦及沈阳市和平区地税局办公楼等两个高层建筑的试点工程, 在 1999 年完成沈阳电力花园双塔高层住宅、沈阳方圆大厦、京沈高速公路兴城服务区跨线服务楼等试点工程中使用。

这些试点工程的柱子均采用钢管内外的混凝土分期浇筑的叠合柱, 采用高性能、高弹性模量混凝土, 管内强度等级 C80~C100, 管外强度等级 C50~C60, 由于刚度分配合理,

一般采用占截面 $1/3$ 左右的核心钢管混凝土,承担约 $2/3$ 左右的总轴力和绝大部分剪力,与型钢混凝土柱比较截面外围混凝土的轴压比和剪压比明显减小,从而整个柱子截面尺寸明显减少,剪跨比增大,柱子的延性和抗震性能显著提高,一般一个 20 层左右的高层柱子,断面可控制在 $600\text{mm} \times 600\text{mm}$ 左右,从“材料强化”+“约束”+“组合”+“叠合”的全新成柱理念出发,终于产生革命性、颠覆性的技术突破。

我们感到对这种新的结构逐渐有了信心。为了稳妥起见,于 1997 年和 1998 年请国内一些著名专家在大连和沈阳两地举行技术论证会,先后参加的专家有赵国藩、容柏生、钱稼茹、胡庆昌、蔡绍怀、方鄂华、吴学敏、吴波、李惠等。在大连的论证会着重研讨现代高性能混凝土在高层柱子中的应用;在沈阳的论证会着重研讨叠合柱概念的可行性和应用前景。该课题(钢管高强混凝土叠合柱结构)研究成果荣获 1998 年建设部科技进步二等奖。

专家的研讨论证对钢管混凝土叠合柱这一课题给予充分的肯定,认为它符合我国国情,准确把握组合结构这一大方向,以超前的战略思维,顽强的科研钻劲,在短短的两三年内就搞出多幢叠合柱试点工程,每项工程起点都很高,均有所创新,结果都很成功;从概念的提出到原理的探讨,再到设计施工方案的制订都很令人满意。

专家还认为,钢管混凝土组合柱在国际上虽偶有应用,但理论研究深度不够,在高层中应用也不够成熟,在国内仍停留在 SRC 水平上应用;将“组合柱”概念延伸到“叠合柱”国际上还没有,是我国的自主创新,极有发展前景。专家学者鼓励我们继续以世界的眼光、超前的意识、全面策划,联合高校(主要有清华大学、大连理工大学、哈尔滨工业大学)、设计单位、研究部门、施工及商品混凝土供应生产单位共同协作,进一步把这一课题做大做强。当时就确定以我院进行结构设计的沈阳富林广场工程作为进一步深入研究的试点工程。该工程的柱子和节点构造,均在清华大学进行结构试验,并以此为基础资料编制了《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》(CECS 188—2005)。由于该课题既符合抗震、安全的性能目标,又能减少混凝土墙、柱的尺寸,节约水泥和钢材,满足环保、低碳的要求,各类建筑工程都能适用,其研究成果将进一步提升我国建筑业的科技创新水平。

2 项目实施的几个阶段

2.1 1995~2000 年 从概念形成到原理探讨阶段

这阶段将本课题的许多理论问题分成专题,请高等院校进行专题研究,有钢管高强混凝土叠合柱的受力特点、抗震性能、受力变形特点、压弯构件的全过程分析以及构件(含节点)的设计方法等。期间各高等学校的许多著名专家都参加本课题研究并带出水平很高的博士研究生,如赵国藩院士及王清湘教授培养出陈周煜、张德娟等博士;王光远院士与李惠教授培养出王震宇、刘克敏等博士;钱稼茹教授培养出多名硕士后又培养出康洪震、江枣等博士。他们的研究成果和论文都取得了很高的水平。

这期间我国的钢管混凝土研究也进入总结成熟阶段,如蔡绍怀的极限平衡理论和钟善铜的统一理论都在这期间出版总结性专著,为本课题的基础核心构件的研究打下坚实的理论基础。

这期间,我省的现代混凝土研究也取得突破性进展。1995年我院与大连理工大学合作的“高强混凝土柱延性的试验研究”获省部级科技进步二等奖;我院与沈阳北方建设集团的“高强混凝土配制及应用”获部科技进步二等奖。C100级混凝土已开始在沈阳应用,至今已在七个工程中应用成功。特别是2002年建成的由我院设计的沈阳富林广场大厦,是我国第一个在钢管中采用C100级高强、高性能混凝土的超百米高层建筑工程,具有里程碑意义。这些都为进一步探讨钢管与混凝土的组合和叠合奠定了基础。

2.2 2001~2005年 理论和方法逐渐成熟,形成《规程》^[1]阶段

在前一阶段试验研究和试点工程的基础上,已具备了编制国家设计施工技术规程的条件,在此之前我院和部分高校为了试点工程设计和施工技术措施,现在到了应加以综合总结和提高自己的时候。加上2000年开始,全国有许多地方都希望采用钢管混凝土叠合柱,迫切希望能编制出一本全国通用的技术标准。于是我们在2000年开始着手筹建编制组,由在这一领域研究和应用处于领先地位的清华大学和辽宁省建筑设计研究院有限责任公司担任主编单位,呈报中国工程建设标准化协会申请立项,2002年在中国工程建设标准化协会(2002)建标协字第12号文《关于印发中国工程建设标准化协会2002年第一批标准制、修订项目计划的通知》中正式批准。

在编制规范有丰富经验的钱稼茹教授的领导下,在编制过程中又进行了许多理论研究,明确证明了钢管混凝土叠合柱较钢筋混凝土和钢骨混凝土(也称型钢混凝土)柱具有更优良的抗压性能和抗震性能。同时进行了设计方法研究;补充了轴向受压试验,在轴压力和反复水平力作用下的试验、梁柱节点核心区抗剪性能试验和钢管混凝土剪力墙试验等。

本规程于2005年审查通过并发行,编号为CECS 188—2005,短期内就已发行一万余册,广受设计人员的欢迎。

2.3 2006~2010年 从辽宁走向全国,成果推广阶段

《规程》发行后,设计、施工都有了依据,“钢管混凝土叠合柱”迅速风行全国。《规程》是2005年11月发行第一版,共5千册,三个月后即售完,遂于2006年3月第二次印刷,增印5千册,不久就发行了一万多册。可见市场对这本《规程》是很欢迎的。

随着《规程》的普及,叠合柱迅速从辽宁走向全国。目前粗略的统计,我国各大中城市中这期间已建了不少这种结构,有代表性的如上海陆家嘴的保利广场(30层,高134m)、重庆朝天门的滨江广场(53层,高205m)、广州珠江新城的A-1写字楼(35层,高151m)、深圳市中心的诺德金融中心大厦(40层,高183m)、南京鼓楼区的新世纪广场(51层,高186m)、成都国金中心办公大楼(50层,高236.6m)、沈阳金廊上的东北传媒大厦(43层,高184m)等。至于中小城市也有推广,辽宁省除沈阳外,大连、丹东、营口、鞍山、葫芦岛等市皆有实例,县级市大石桥也建设一幢16层的立德大厦。

2.4 2011年~今 成果扩展阶段

进入“十二五”,本课题研究的前期工作告一段落,将进入新的阶段,展望今后更美

好的明天,有以下几项工作需要做:

(1) 近 20 年的研究和推广,取得了巨大成绩,也取得许多经验,特别是各地科研设计施工人员的创造性,提出许多改进意见,值得我们认真加以分析总结,使“钢管混凝土叠合柱”更加充实多彩。

(2) 钢管混凝土叠合柱已被认定为“我国自主创新的一种结构体系”。在此基础上继续深入研究,发展创新结构理论,完善设计方法,扩大应用范围,创造更先进的性能指标,争取达到国际领先水平。

(3) 进一步探讨在超高层建筑的重载柱中应用钢管混凝土叠合柱来替代“组合巨型柱”。建筑的高度不断提高,近来出现一些高度超过 400m 的超高层建筑,对超大承载力和超大刚度柱的性能要求很高,希望利用现代混凝土的卓越性能和与高性能钢管的组合、约束、叠合作用,做到柱子断面合理缩小,技术经济指标更加先进。

(4) 随着国家新《抗震规范》的颁布,加上 18 年来叠合柱发展过程中总结起来的经验,为更好地发展这一新结构,急需修订新《规程》。各地涌现出一批有强烈开拓创新精神,能克服困难有顽强干劲的新人,应吸收其中造诣卓越者参加本规程的修订。

据文献记载,目前我国部分老专家已开始对叠合柱结构感兴趣,如陈肇元院士、魏琬研究员、容伯生院士、程文灏教授、江欢成院士、汪大绥设计大师、傅学怡设计大师、李国胜教授等都曾经在其主持或参与审查的工程项目中积极支持叠合柱方案。

3 主要研究成果

研究成果包括试验研究报告、钢管混凝土叠合柱结构技术规程、发表的论文,以及各地采用本《规程》设计的工程。这两大部分,详见“钢管混凝土叠合柱结构工程实录及论文摘引”^[2],这里仅对工程应用部分略作介绍。

叠合柱结构分两种,钢管内、外混凝土同期施工的也可简称为组合柱,不同期施工的则简称为叠合柱,本文分别介绍这两种柱的应用情况。

叠合柱诞生于沈阳,先后有 15 个塔楼采用混凝土不同期施工的叠合柱,沈阳以外后期有两个工程(分别在广州和大连)也采用叠合柱,其中超过 100m 高度的塔楼有四座,都是采用框架核心筒结构,分别是:

(1) 沈阳富林广场大厦(34 层,118m 高),是我国第一个采用钢管混凝土不同期施工叠合柱体系的超百米高层结构,也是我国第一个采用 C100 级高性能混凝土的高层建筑。原方案为混凝土结构,柱截面最大为 1300mm×1300mm,改用叠合柱后截面减为最大 1000mm×1000mm,减小 69%,2002 年 12 月主体建成。

(2) 沈阳皇朝万鑫大厦主塔楼(46 层,177m 高),是目前我国最高的不同期施工的叠合柱,最大柱断面仅 1200mm×1200mm,管内用 C100 混凝土,管外用 C60 混凝土,2006 年主体建成,2008 年全部完工。

(3) 广州珠江新城 A-1 写字楼(35 层,151.4m 高),2008 年完成设计,现已建成。

(4) 大连奥泰中心(42 层,152m 高),最大柱断面仅 1100mm×1100mm,管内用 C80 混凝土,管外用 C60 混凝土,柱每延长米的总用钢量(包括钢管、纵向钢筋、箍筋)为 554kg。与同期送审的营口某大酒店(40 层,171.6m 高,框架核心筒结构)比较,后

者采用型钢混凝土柱，最大柱断面为 1600mm×1600mm，为前者的 2.12 倍，柱每延长米的总用钢量（包括型钢、纵向钢筋、箍筋）为 1261.4kg，为前者的 2.28 倍。施工难度也比前者大。充分说明按本《规程》正确设计的叠合柱比型钢混凝土组合柱用钢量和用混凝土量都可以少一倍多。

在辽宁省采用组合柱建造的最高的建筑物为东北传媒大厦（43 层，184.3m 高）、大连海事大学双子星大厦（双塔楼，34 层，149.9m 高）、沈阳奥体万达广场（三个塔楼均为 43 层，129m 高）。断面为原来的 36%，东北大学科技楼工程原来混凝土柱断面为 1000mm×1000mm，改用钢管混凝土组合柱后，柱子尺寸仅 600mm×600mm，轴压比由 0.7 减少至 0.5，结构的抗震性能大大提高，这说明组合柱不仅用之于超高层，在高层混凝土结构建筑中也同样经济适用。东北大学科技楼工程获全国建筑结构优秀设计奖。

（5）我国高层建筑发展快的城市也开始采用钢管混凝土组合柱。除辽宁省外，比较有代表性的工程（均由各地设计院设计，都获得全国建筑结构优秀设计奖，截至 2011 年资料）见表 1。

除辽宁省外比较有代表性的工程

表 1

工程名称	工程结构资料
重庆环球金融中心大厦	框筒结构，地上 70 层，地下 6 层，高 338.9m
重庆重宾保利国际广场	框筒结构，地上 59 层，地下 6 层，高 259.5m
重庆联合国际	框筒结构，地上 70 层，地下 5 层，高 270m
重庆天成大厦	框筒结构，地上 60 层，地下 5 层，高 280m
重庆朝天门滨江广场	框支剪力墙结构，地上 53 层，高 204.8m，获 2006 年全国建筑结构优秀设计一等奖
成都国金中心办公大楼	框筒结构，地上 50 层，地下 5 层，高 236.6m
深圳诺德金融中心	框筒结构，地上 40 层，地下 4 层，高 193.2m，获 2008 年全国建筑结构优秀设计奖
深圳卓越皇岗世纪中心 1、2、4 号塔	框筒结构，地上 57 层，地下 3 层，最高塔楼 280m，其次为 268m 和 185.5m。均已建成。曾与型钢混凝土结构进行了详细的技术经济比较，最终选用钢管混凝土叠合柱。获 2012 年全国建筑结构优秀设计奖
上海保利广场	框筒结构，地上 30 层，高 134m，已建成。获 2012 年全国建筑结构优秀设计奖
南京新世纪广场	筒中筒结构，地上 51 层，地下 3 层，高 186m，已建成
深圳绿景纪元大厦	框筒结构，地上 61 层，地下 3 层，高 272m，柱最大截面 1400mm×1400mm，已建成
天津富力中心双塔	框筒结构，地上 54 层，地下 4 层，高 200m，柱最大截面 1200mm×1200mm，已建成
上海新发展亚太万豪大酒店	框筒结构，地上 32 层，地下 2 层，高 134m，已建成。获 2012 年全国建筑结构优秀设计奖
大连海创国际大厦	框筒结构，地上 35 层（不包括突出屋面的 2 层设备用房），地下 3 层，高 149.95m，已建成。获 2012 年全国建筑结构优秀设计奖
重庆中国银行大厦	框筒结构，地上 38 层，地下 2 层，高 192.1m。柱最大截面 1500mm×1500mm