

钢管混凝土结构在我国的应用和发展

钟善桐

摘 要: 钢管混凝土具有承载力高、塑性和韧性好、经济效益显著和施工快捷等优点, 因此在我国工程建设中发展迅速, 已建成一些世界最大最高的工程。钢管混凝土用于高层建筑和拱桥有突出的优点, 综合经济效益显著, 在新千年中有很好的发展前景。

关键词: 钢管混凝土结构; 高层建筑; 拱桥; 承载力; 劲性骨架

中图分类号: TU 377 文献标识码: A 文章编号: 1000-4726(2001)02-0080-3

APPLICATION AND DEVELOPMENT IN CHINA OF CONCRETE FILLED STEEL TUBULAR STRUCTURE

ZHONG Shantong

Abstract: Because of its higher load bearing, better plasticity and toughness, faster construction progress as well as its apparent economic profitability, technology of concrete filled steel tubular structure experienced a rapid development in engineering construction of China. A number of world level largest and highest buildings have been built in China. There are unique advantages and apparently comprehensive profitability for steel tube covered concrete used in high-rise buildings and arch bridges. It must have desirable development prospective in the new millennium.

Key words: concrete filled steel tubular structure; high-rise building; arch bridge; load bearing; steel frame

钢管混凝土结构自 60 年代引入我国以来, 迄今已有三十多年。它在我国的应用和发展历经了两个阶段: 60 年代至 80 年代中期为推广应用阶段, 80 年代后期至今为发展提高阶段。

由于圆钢管混凝土具有承载力高、塑性和韧性好、经济效益显著以及施工快捷等突出的优点, 因而在我国应用最广, 研究工作也最为深入。本文介绍的内容专指圆钢管混凝土结构。

1 推广应用阶段 (60 年代至 80 年代中期)

第一个采用钢管混凝土的工程是北京地铁 1 号线, 在北京站和前门站的站台中采用了圆钢管混凝土柱。由于承载力高, 柱截面比钢筋混凝土柱小很

多, 增加了有效使用空间, 取得了良好的经济效果。随后北京地铁 2 号线(环线)工程中的全部站台柱均采用了钢管混凝土柱。

在这一阶段, 国内各有关部门开始应用和推广这种结构, 包括单层和多层工业厂房、锅炉和高炉构架以及送变电构架等。应用较多的是冶金工业、电力工业、造船工业及一些机械制造业。例如首钢、鞍钢、本钢、包钢、宝钢和天钢等, 许多重型工业厂房柱和高炉构架柱都采用了钢管混凝土柱, 用以代替传统的钢柱。

很多造船工业中的船体装配车间也采用了钢管混凝土柱, 如大连造船厂、武昌造船厂、枞阳造船厂、芜湖造船厂和沪东造船厂等。

在电力工业中, 主要是在锅炉构架和送变电构架中采用钢管混凝土替代常用的钢结构。

此外, 在各地水泥厂的窑尾多层框架以及铝厂的多层框架中也都采用了

这种结构。

据不完全统计, 这一阶段在全国采用钢管混凝土的已建工程总数超过 200 个, 都取得了明显的经济效益。以下列举几个典型工程。

(1) 1972 年建成的本溪钢铁公司二炼钢轧辊钢锭模车间, 跨度 24 m, 柱距 6 m, 设有起重量 Q 为 20 t/100 t 及 10 t/50 t 重级工作制桥式吊车, 轨顶标高 11.500 m, 柱顶标高 15.800 m。钢管混凝土柱由 4 ϕ 219 \times 5 的焊接管组成 1 240 mm \times 400 mm 矩形截面四肢组合柱, 管内填 C40 混凝土, 腹杆用 ϕ 89 \times 3 的焊接空钢管。使用至今仍安全可靠。

(2) 大连造船厂船体装配车间, 1983 年建成, 为一个三跨车间, 2 个 36 m 跨, 一个 42 m 跨。柱距 12 m。各设有起重量 $Q = 20 \text{ t}/100 \text{ t} + 5 \text{ t}/20 \text{ t}$ 中级工作制双层桥式吊车, 轨顶标高分别为 21.000 m 和 12.000 m。边柱采用钢管混凝土 1 m \times 2 m 三肢组合柱, 外肢用 ϕ 325 \times 12 钢管, 内肢采用 2- ϕ 325 \times 7 钢管, 内填 C40 混凝土。中柱为 1 m \times 2.5 m 四肢组合柱, 下柱 4 ϕ 325 \times 7 钢管, 内填 C40 混凝土; 上柱由钢板焊成工字形截面, 腹杆为空钢管。钢材均用 Q 235。和常规设计的钢柱相比, 每根柱子可节约钢材 14 t, 共 71 根柱子, 节省钢材 994 t, 节约投资 129 万元。

(3) 1985 年竣工的太原钢铁公司二炼钢铸钢车间, 跨度 24 m, 柱距 18 m。设有起重量 Q 为 5 t/30 t 重级工作制吊车, 轨顶标高 25.000 m。采用钢管混凝土三肢组合柱, 截面 1 m \times 2 m, 柱肢由 3 ϕ 351 \times 7 钢管组成, 内填 C40 混凝土, 腹杆采用 ϕ 140 \times 4.5 空钢管。车间旁的立式连铸浇筑平台, 也采用了钢管混凝土多层多跨框架。

(4) 1990 年建成的沈阳市沈海热电厂, 为 30.35 m \times 13.2 m \times 54.65 m 三跨车间。汽轮机车间 ($L = 54.65 \text{ m}$) 柱子边跨采用 3 ϕ 478 \times 8 钢管混凝土三肢柱 (2.4 m \times 1.6 m), 中柱采用 2 ϕ 850 \times 12 钢管混凝土双肢柱 ($b = 1.5 \text{ m}$), 柱子最高达 67.1 m。

(5) 1987 年建成的西宁铝厂, 是一个 9 层工业厂房, 全高 41.6 m。柱子所受的最大内力为: $N_{\max} = 5\,050 \text{ kN}$,

典尚设计-路桥效果图、三维动画
<http://www.dillsun.com>

钟善桐, 1919 年 4 月生, 浙江杭州人, 哈尔滨工业大学土木工程学院教授, 博士生导师, 国际钢-混凝土组合结构合作研究协会名誉主席, 中国钢结构协会钢-混凝土组合结构协会理事长, 150090 哈尔滨

收稿日期 2000-09-28

$M = 25 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 和 $N = 3\,200 \text{ kN}$, $M_{\max} = 247 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。采用钢管混凝土柱和钢梁的双向框架体系,柱子为 $\varnothing 650 \text{ mm}$,沿高度改变壁厚。

(6) 1978年建成的首钢二号高炉,是国内高炉构架中采用钢管混凝土柱的第一个工程。柱子采用 $\varnothing 1000 \times 14 \sim \varnothing 700 \times 12$, Q 235 钢材,内灌 C30 混凝土。构架柱距 $14 \text{ m} \times 14 \text{ m}$,全高 40.5 m ,设 5 层钢平台,按 8 度抗震设防考虑。和钢柱相比,可节省钢材 42%。

(7) 1983年建成的湖北荆门热电厂,锅炉构架采用钢管混凝土双肢柱的框架体系。 $2\varnothing 800 \times 12$, Q 235 钢材,内灌 C40 混凝土,柱宽 1.8 m ,柱顶标高 49.900 m ,构架跨度 22.5 m ,柱距 12 m 。这是我国采用钢管混凝土柱的最高锅炉构架。

(8) 吉林省松蛟线路 220 kV 终端塔是我国第一个采用钢管混凝土 A 型柱的送电塔架,柱采用 $\varnothing 245 \times 4$, Q 235 钢材,内灌 C30 混凝土。塔架横梁高度为 18 m 。与钢塔相比,可节约钢材 50%,节省投资 30%,1981 年投入运行。

此外,采用钢管混凝土 A 型柱组成的 500 kV 门式送电塔架,1986 年用于沿葛洲坝水电站输出的线路上,节约了大量钢材。

(9) 1987 年建成的华北电管局微波塔(北京),建于 40 m 高办公楼的屋顶,塔高 78.3 m ,塔身由 $20\varnothing 273 \times 8$ 的钢管混凝土柱(内灌 C15 混凝土)沿 D 为 2.6 m 的圆周布置成一个圆筒形悬臂杆塔。为提高结构的刚度,在塔身外加设 20 对钢绞线,上端固定于微波塔的平台,下端固定于楼顶,而在中部偏上处与塔身相连。这 20 对钢绞线斜向交叉布置,形成一个空间抛物面,施加预应力后,为塔身提供了一个中偏上的弹性支座,提高了微波塔的刚度。

以上列举的只是几个较有代表性的采用钢管混凝土的典型工程实例^[1]。

2 发展提高阶段(80 年代中期至今)

在前一阶段推广应用的基础上,从 80 年代中期开始,钢管混凝土结构在我国的应用和研究进入了发展和提高阶段。在科学研究方面取得了一些创新的成果,而在工程应用方面步入了高层

建筑和公路与城市拱桥领域,而且发展十分迅速,建成了一些世界最大最高的采用钢管混凝土结构的工程。采用钢管混凝土的高层建筑已超出 30 座,采用钢管混凝土的拱桥则有二三百座之多,成绩显著,目前还在继续发展中。

2.1 高层和超高层建筑

钢管混凝土在高层建筑中的应用,由开始时的局部柱子采用到大部分柱子采用,再到全部柱子采用,这一发展过程仅十几年的时间。这种工程主要集中在福建省、广州、深圳和天津。其他如北京、重庆等地也有一些工程。采用钢管混凝土的最高建筑是 1999 年建成的深圳赛格广场大厦(地上 72 层,高 291.6 m)。这是我国自行投资、设计、全部采用国产钢材、自行加工和施工的第一个采用钢管混凝土的世界最高建筑物。其裙房部分采用框剪结构体系,塔楼部分采用框筒结构体系。框架采用钢管混凝土柱、钢梁和压型钢板组合楼盖,内筒由 28 根钢管混凝土密排柱组成 $21.3 \text{ m} \times 21.3 \text{ m}$ 的方形抗侧力筒,因而为采用全逆作法施工创造了条件。受力最大柱的轴心压力达 $9\,000 \text{ kN}$ 以上,采用钢管混凝土柱,截面为 $\varnothing 1\,600 \times 28$, Q 345 钢材,内填 C60 混凝土。若将其设计成钢筋混凝土柱,则截面将达 $2.4 \text{ m} \times 2.2 \text{ m}$ 。

根据我们多年来的研究和一系列的工程实践,钢管混凝土用于高层建筑中具有下列优点^[2]。

(1) 抗压、抗扭和抗剪性能好,承载力高。

(2) 抗震性能优越,延性好。用于高层建筑中时,控制柱子长细比,可不限轴压比。而长细比的控制高层建筑中通常极易做到。

(3) 可有效地防止高强混凝土的脆性破坏,能充分利用高强混凝土的承载力。

(4) 所用钢板厚度小,取材容易,价格低,不必进口钢材,且制造和安装都大为方便。

(5) 施工方便,可为逆作法施工创造条件。

(6) 耐火性能优于钢结构。

总之,在高层建筑中,采用钢管混

凝土结构可节约材料,降低柱子造价,减轻柱子自重,减小截面尺寸,增加有效使用空间,减轻基础负担,还减小了地震反应,由此取得了降低造价的效果。同时更增加了综合经济效益。

2.2 公路和城市拱桥

钢管混凝土在拱桥中的应用发展十分迅速。1991 年建成的四川省旺苍县东河大桥是我国采用钢管混凝土的第一座公路拱桥,跨度 115 m ,拱肋由上下两根钢管 $2\varnothing 800 \times 10$ 组成哑铃形,内填 C30 混凝土, Q 235 钢材。此后,在不到 10 年时间内,全国各地大量地建成了采用钢管混凝土的大跨拱桥。如 1995 年竣工的广东省南海县三山西桥,为中承式拱桥, $L = 200 \text{ m}$,两端带两个上承式半拱,各 45 m 。主跨拱肋由 4 根直径 0.75 m 的钢管混凝土组成 $1.8 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$ 的四边形组合截面。1993 年竣工的浙江省新安江望江大桥, $L = 120 \text{ m}$,中承式拱,拱肋为 $2\varnothing 900 \times (10 \sim 14)$ 钢管混凝土组成哑铃形截面。1998 年建成的长江三峡工程三座公路拱桥——黄柏河大桥、下牢溪大桥和莲沱大桥,跨度分别为 160 m 、 160 m 和 114 m ,拱肋皆采用两个钢管混凝土组成的哑铃形截面。1998 年建成的广西三岸邕江大桥,跨度达 270 m ,是迄今我国和世界上跨度最大的钢管混凝土中承式拱桥。拱肋用两对 $2\varnothing 1\,020 \times 16$ 横向设置的钢管混凝土哑铃形截面组成四边形,管内充填 C50 混凝土,截面宽 2.4 m ,高 5.6 m ,腹杆用 $\varnothing 400 \times 12$ 空钢管,钢材皆采用 Q 345。

此外,以钢管混凝土做劲性骨架而组成拱桥的工程也有不少。其中最著名的是重庆市万州区长江大桥, $L = 420 \text{ m}$,上承式拱桥。采用了 10 根钢管组成空间桁架($10\varnothing 402 \times 16$, Q 345 钢材),吊装成拱后,向管内灌 C60 混凝土,然后挂模板浇筑混凝土,成为高 7 m 、宽 15.6 m 的单箱三室箱形截面拱肋,桥面总宽 24 m 。这是迄今为止全世界跨度最大的以钢管混凝土为劲性骨架的公路拱桥。显然,若不采用钢管混凝土,这样大跨度的拱桥是无法实现的。

钢管混凝土用于建造拱桥具有以下优点:

(1) 钢管混凝土抗压承载力高,且抗震性能好;

(2) 由空钢管先组成拱肋,自重轻,可跨越很大跨度;

(3) 施工简便,可降低工程造价;

(4) 无混凝土开裂问题。

2.3 理论研究工作

在这一阶段,我国在钢管混凝土结构的理论方面做了系统全面的研究,逐步地完成了基本构件的特性、动力性能、结构体系、节点性能和构造以及防火性能等的分析、试验和研究工作,并完成和提出了统一理论和统一设计公式,使钢管混凝土结构成为一个完整的

新学科,为进一步提高和发展创造了必要的条件。

3 新千年的发展前景

综上所述,在我国钢管混凝土结构的应用和发展已经处于领先地位。由于它的突出优点更适合我国的国情,可以预期,在新千年中必将进一步成为我国建设事业中不可忽视的一种结构形式。

除了在理论方面将继续深入研究和提高外,在应用方面钢管混凝土也将继续广泛地用于拱桥和超高层建筑中。拱桥方面将由公路拱桥发展到铁路拱桥,高层建筑高度将由 300 m 发展

到 400 m 甚至更高。

此外,近年来在多层、高层民用住宅建筑中也已开始采用钢管混凝土柱和钢梁组成的框筒(剪)结构体系,在 10 层左右的住宅设计中,达到了每平方米用钢量不超过 40 kg 的水平,说明这一结构在住宅建设中也具有很大的竞争力,也将成为今后的一个发展点。

参考文献

- 1 钟善桐. 钢管混凝土结构. 黑龙江科学技术出版社,1994,12
- 2 钟善桐. 高层钢管混凝土结构. 黑龙江科学技术出版社,1999,1

典尚设计-路桥效果图、三维动画

<http://www.dillsun.com>