

# 钢管混凝土叠合柱的连接节点设计与探讨

江龙

香港华艺设计顾问(深圳)有限公司

**摘要:** 针对钢管混凝土叠合柱的梁柱连接、钢管对接及柱脚等连接节点的设计方案进行对比分析,并结合现场实际施工工艺技术,提出优化后的连接节点设计方案,节省施工周期并提高施工质量。

**关键词:** 钢管混凝土叠合柱; 超高层建筑; 连接节点设计

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2021.23.020

## 前言

近年来受制于城市规划相关用地指标的限制,以及对都市天际线不断更新追求,超高层建筑迅速建造及落成。此类超高层建筑中,底层建筑空间具有特殊的形式与意义,需要严格控制柱截面尺寸,实际工程中往往采用钢管混凝土叠合柱以承担巨大的轴压力。

钢管混凝土叠合柱是一种叠合构件,由中间圆形截面钢管混凝土柱和钢管外钢筋混凝土叠合而成,相比普通钢筋混凝土柱而言,具有承载能力高、截面小、塑性和韧性好、抗震能力强等特点,与高强混凝土配合使用,可以充分发挥高强混凝土强度高的特点。在实际工程应用当中,钢管混凝土叠合柱与混凝土梁的连接节点以及其本身的构造节点,钢筋和钢管纵横交错非常密集,对施工工艺和技术提出了挑战,本文以某超高层建筑为例,针对梁柱连接、钢管对接及柱脚等连接节点的设计提出优化方案,便于现场对钢管节点的加工进行精准控制,节省施工周期并提高施工质量。

## 一、工程概况

某超高层建筑位于深圳市龙华区深圳北站商务中心,包括1栋公寓(塔楼1栋)、1栋办公楼(塔楼2栋)以及沿街商业裙房,地下室四层,总建筑面积22.6万平方米。以塔楼2栋为研究对象,典型层结构平面布置如图1所示:

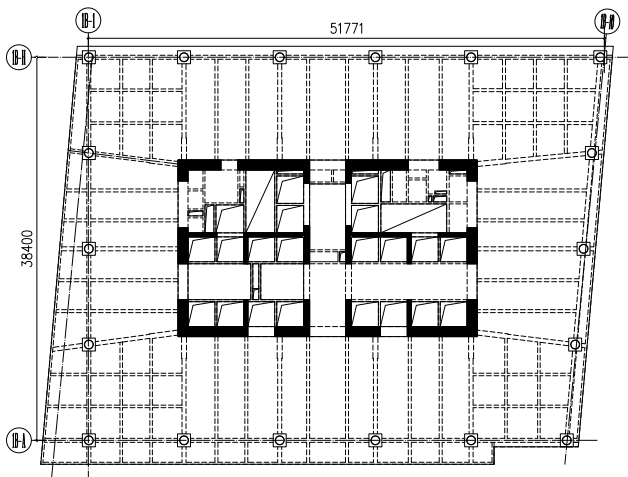


图1 塔楼2栋典型层结构平面布置图

塔楼2栋采用框架-核心筒结构体系,结构高度为191.4m,地上共44层,属超B级高度建筑。为减小柱截面及提高延性,塔楼外框架柱在中下部楼层采用钢管混凝土叠合柱,塔楼上部其余位置采用钢筋混凝土柱。

《T/CECS 188-2019 钢管混凝土叠合柱结构技术规程》<sup>[1]</sup>(以下简称《规程》)中,对钢管混凝土叠合柱的轴压比和承载力的提出了相应要求。选取首层轴线1B-A交轴线1B-1位置的典型钢管混凝土叠合柱,其轴压比及承载力计算如下:

叠合柱抗震等级一级,采用同期施工,箍筋全高加密,钢管内外混凝土强度等级相同均为C60,混凝土抗压强度设计值 $f_{ci}=f_{co}=27.5\text{N/mm}^2$ ,钢材牌号Q345,抗压强度设计值 $f_a=295\text{N/mm}^2$ ,轴压力设计值 $N=55739\text{kN}$ 。

叠合柱实际长度 $L=6000\text{mm}$ ;

混凝土柱截面 $b \times h=1300\text{mm} \times 1300\text{mm}$ ,

钢管外直径 $d_{co}=900\text{mm}$ ,

壁厚 $t=30\text{mm}$ ,

含管率:

$$\rho_a = A_a/A = 4.852\% > 3.0\%$$

套箍指标:

$$\theta = f_a A_a / (f_{ci} A_{ci}) = 1.587 > 1 / (\alpha - 1)^2 = 1.563$$

钢管混凝土短柱轴心受压承载力设计值:

$$N_0 = 0.9 f_{ci} A_{ci} (1 + \sqrt{\theta}) = 52762\text{kN}$$

钢管外钢筋混凝土轴压比:

钢管混凝土叠合柱的轴压比限值可按现行国家标准《GB50011-2010 建筑抗震设计规范》<sup>[2]</sup>规定的钢筋混凝土柱轴压比限值采用:

$$n_c = N / (f_{co} A_{co} + N_0) = 0.74 < 0.75;$$

满足规范要求。

叠合柱的轴心受压承载力:

$$N_u = \phi [0.9 (f_{co} A_{co} + f_y A_{ss}) + N_0]$$

$$= 78790\text{kN} > N = 55739\text{kN};$$

满足规范要求。

## 二、连接设计

钢管混凝土叠合柱的连接设计包括梁柱连接、钢管对接及柱脚,满足传力明确、构造简单、整体性好、安全可靠、节约材料和施工方便的原则。

### (一) 梁柱连接

当采用钢筋混凝土现浇梁板楼盖时,需要解决钢管混凝土柱与钢筋混凝土梁的连接节点问题。根据《规程》建议,梁柱节点可采用的连接方式包括:带外伸钢板的外加强环连接、穿筋连接、钢筋混凝土环梁连接、梁端加宽的变宽度梁连接、钢筋混凝土双梁连接等。

然而上述梁柱连接节点施工难度大、过程繁琐,设计与制作精度要求高,给设计和施工带来了很大的工作量。考虑节点施工的便利性与可操作性,可在钢管管壁上对应梁顶部及底部纵向钢筋位置,预先开设钢筋孔,

使得钢筋混凝土梁的纵向钢筋可以分别整体穿过钢管与叠合柱进行连接<sup>[3]</sup>。开孔时应注意开孔部位钢管截面面积不应大于钢管原截面面积的40%，同时应采用在钢管外洞口上下加设外环板、洞口两侧加设竖向加劲肋的方法进行补强，环板及竖向加劲肋的等效截面面积应满足下式要求：

$$A_{j,ef} = A_r + nA_p (h_{op,t} + h_{op,b}) / h_b \geq (f_a A_a - f_a A_{a,ef}) / f_s$$

式中：

$A_{j,ef}$ 为核心区环板和竖向加劲肋等效截面面积，

$A_r$ 为洞口上下环板的横截面面积之和，

$A_p$ 为单个竖向加劲肋的横截面面积。

钢管管壁开孔补强措施如下图所示，图中核心区的钢管壁外表面焊接2 16闭合环箍。环箍位于核心区中下部避让开孔，环箍与钢管采用单面角焊缝连接。

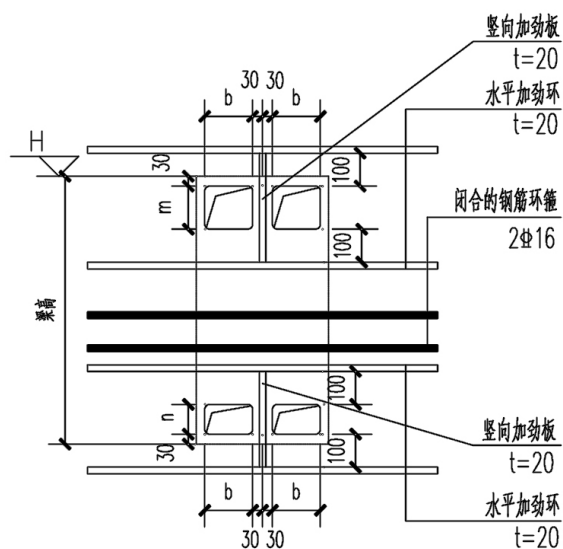


图2 钢管管壁开孔补强措施示意图

上述钢管管壁开孔补强措施示意图中，钢管管壁开孔高度m、n和开洞宽度b，其实际尺寸根据不同位置梁柱节点的弯矩及剪力计算结果各不相同，若仅仅是按照各个节点的实际计算结果对应开孔，则整个工程的开孔方案差异过大，不利于施工工作的开展且难以保证施工质量与观感的统一。

通过归纳整理各个节点的实际配筋方案，并结合各个节点钢筋混凝土梁的截面尺寸，将开孔高度与宽度进行分类汇总，提出“钢管开孔高度表”<sup>[表1]</sup>和“钢管开孔洞宽度及单排排放钢筋最大根数表”<sup>[表2]</sup>，便于施工图设计及现场预制加工。

表1 钢管开孔高度表

钢筋层数 (节点处各个方向钢筋层数总和)	开孔高度
1层钢筋	50mm
2~3层钢筋	100mm
4层钢筋	140mm
5层钢筋	170mm
6层钢筋	200mm

表2 钢管开孔洞宽度及单排排放钢筋最大根数表

梁宽	开孔宽度	面筋最大根数	底筋最大根数
250mm	70mm	2 25 (2 28)	2 25 (2 28)
300mm	95mm	2 25 (2 28)	2 25 (2 28)
350mm	120mm	2 25 (2 28) [2 32]	3 25 (2 28) [2 32]
400mm	145mm	3 25 (3 28) [2 32]	4 25 (3 28) [3 32]
450mm	170mm	4 25 (3 28) [3 32]	4 25 (4 28) [3 32]
500mm	195mm	4 25 (4 28) [3 32]	5 25 (4 28) [4 32]
550mm	220mm	4 25 (4 28) [4 32]	5 25 (4 28) [4 32]
600mm	245mm	5 25 (4 28) [4 32]	6 25 (5 28) [4 32]

结构设计人员进行梁配筋施工图绘制时，可参考上述两个表格，在满足施工放样和钢筋间距等要求的前提下，快速给出梁纵筋排布方案。另外，钢管管壁开孔一般为对称设置，因此在配筋时建议优先考虑钢筋根数为偶数根，便于钢筋对称放置；若确实为奇数根可考虑采用较大或较小一级的钢筋直径代换，调整钢筋根数为偶数后再对称排布。

根据以上钢管开孔高度与宽度表，可以给出典型钢管混凝土叠合柱节点设计方案。假定典型梁柱节点周边的钢筋混凝土梁高度分别为 $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$ 、 $H_4$ ，假定 $H_1 \geq H_2 \geq H_3 \geq H_4$ ，则 $H_{max} = \max(H_1, H_2, H_3, H_4)$ ； $H_{min} = \min(H_1, H_2, H_3, H_4)$ ，由于梁柱节点四周梁高不一定相同，因而水平加劲环的位置也不尽相同。梁顶部位的两道水平加劲环一般距离上部开孔各100mm位置即可，下部开孔部位的两道水平加劲环则需结合梁高来确定；通过归纳总结可知，梁底开孔上侧的水平加劲环距离梁顶标高为 $H_{min} - 130 - n_1$ ，梁底开孔下侧的水平加劲环距离梁顶标高为 $H_{max} + 70$ ，具体如下图所示：

### (二) 钢管对接

根据建筑功能布置及结构竖向荷载的分布差异，底部楼层的钢管混凝土叠合柱的圆钢管截面可能采用不同直径依次收进。

当两个不同直径钢管对接时，考虑施工便利性，可采用变径钢管连接，变径钢管的壁厚不小于所连接的钢管壁厚，按照1: 6的斜度设置锥头；由于钢管转折处存在较大的横向作用，因此须在变径钢管上下两端转折处设置隔板抵抗横向作用，同时均设置开孔以便混凝土浇筑及振捣。

不过在大多数情况下，变径钢管锥头的加工较为复杂，且施工质量难以保证；通常可行的方案是保持钢管混凝土叠合柱柱内钢管管径不变，通过调整钢管壁厚解决承载力的问题，以此实现节点设计的一致性<sup>[4]</sup>。

### (三) 柱脚

钢管混凝土叠合柱可以采用埋入式柱脚或端承式柱脚，叠合柱的竖向钢筋应锚固在基础混凝土内。锚固长度应符合国家标准《GB50010-2010 混凝土结构设计规范》<sup>[5]</sup>有关受拉钢筋抗震锚固长度的规定，且应分别设置箍筋及水平分布钢筋。

对于本工程而言，塔楼2栋的结构嵌固端为地下室

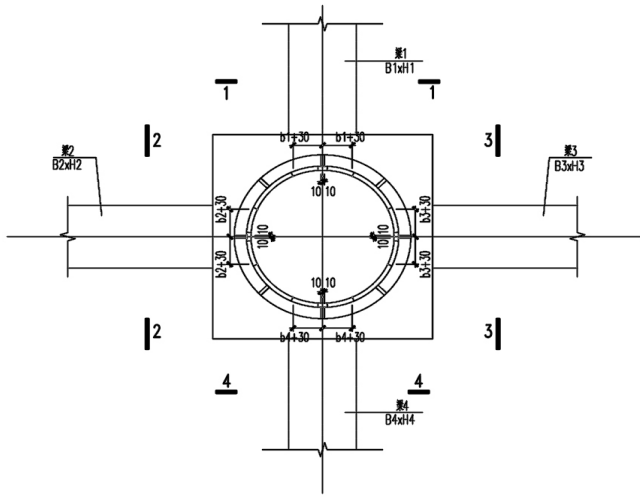


图3 典型钢管混凝土叠合柱梁柱节点构造示意图

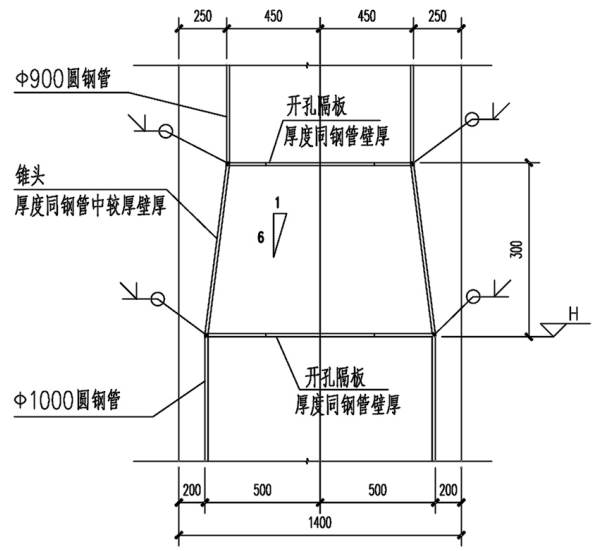


图4 不同直径的钢管对接构造示意图

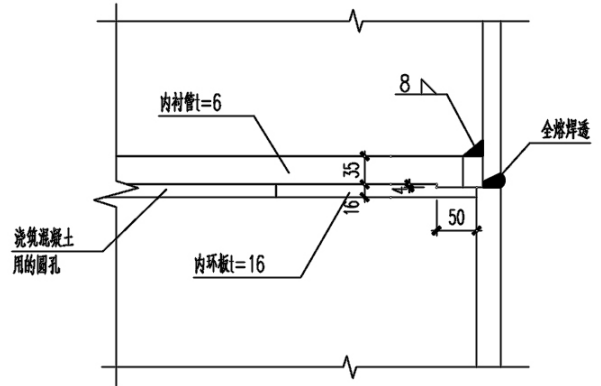


图5 相同直径不同壁厚的钢管对接构造示意图

顶板，地下室共设有4层地下室；地下室各层的抗震等级可逐级降低，相应的柱轴压比限值也逐级放松。考虑一定的工程成本与经济效益，仅在地下一层与地下二层采用钢管混凝土叠合柱，地下四层与地下三层采用普通钢筋混凝土柱。因此柱脚埋入地下三层柱截面范围内，而非基础底板的混凝土内，同时，宜在钢筋混凝土柱内设置层，过渡层可采用在截面中附加芯柱的钢筋混凝土柱。

### 三、施工效果

钢管混凝土叠合柱的梁柱节点位置由于钢筋和钢管相互贯穿纵横交错，节点构造做法非常复杂，同时建筑平面的角部区域由于建筑功能的需要，梁柱节点并非完全正交布置，导致部分梁柱节点斜向交叉，进一步加大的梁柱节点构造的复杂性。考虑现场施工工艺及技术水平，对钢管混凝土叠合柱的节点设计进行优化，在实际施工之前还需对梁柱节点进行节点深化设计以及施工条件确认。

由于节点详图中的梁柱节点尺寸均是理想状态下的尺寸数值，在实际节点深化设计时，需要考虑实际钢筋排布方案的影响；例如不同方向的钢筋相互交叉重叠，

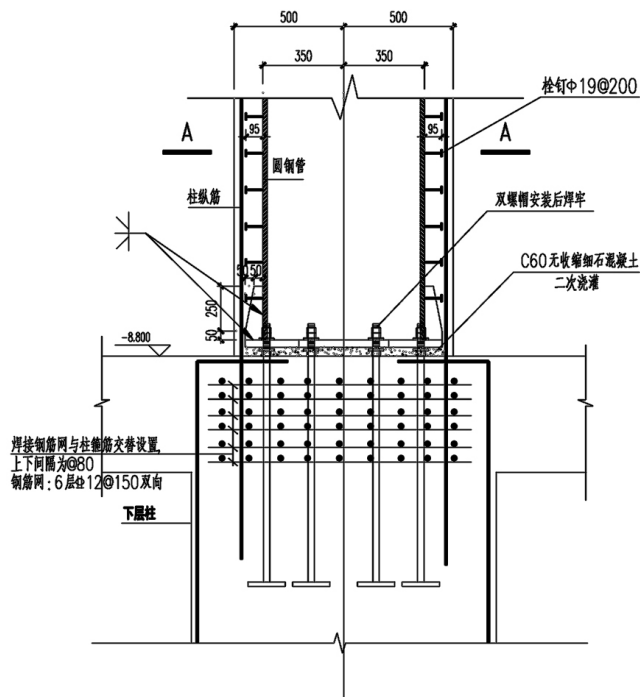


图6 钢管混凝土叠合柱的柱脚构造示意图

预开孔的尺寸需在钢筋理论直径数值基础上适当放大以满足施工操作的可行性，同时预开孔按长圆形设置避免角部应力集中；另外部分梁柱斜交区域，需对钢筋水平排布进行调整，避免部分钢筋与钢管壁斜交的角度过小，使得开孔后钢管截面率损失过大。

施工条件确认主要是提前测量并确认现场由于施工

机械和施工材料等因素造成的误差。例如钢管柱安装时可能存在偏位或旋转，造成梁纵筋未能与钢管预开孔对齐导致无法穿管；或者是柱纵筋绑扎时出现偏移，柱纵筋挡住钢管预开孔区域，柱纵筋与梁纵筋重叠无法绑扎等。以上施工误差均应事先考虑周全并进行现场测量确认，提高梁筋穿管的成功率，减少由施工误差导致的反复整改。

另外，在进行钢筋绑扎时可根据开孔规格尺寸分层进行钢筋绑扎，加快施工进度、提高作业效率。

#### 四、结论

本文以典型超高层塔楼为例，介绍了钢管混凝土叠合柱的连接节点设计，并结合实际工程施工工艺及技术水平提供了优化后的节点设计方案，针对梁柱节点提供了钢管开孔高度表以及钢管开孔洞宽度及单排排放钢筋最大根数表，可供设计人员在施工图绘制时参考。通过采取上述相关措施，现场有效节省施工周期及提高施工质量，并取得良好的经济效益。

#### 参考文献

- [1] 钢管混凝土叠合柱结构技术规程: T/CECS 188-2019 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2020.
- [2] 建筑抗震设计规范: GB 50011-2010 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [3] 黄用军, 尧国皇, 等. 钢管混凝土叠合柱的计算与设计[J]. 钢结构, 2008, 23(7).
- [4] 王兴法, 林超伟, 梁莉军, 等. 深圳湾科技生态园四区超高层结构设计[J]. 建筑结构, 2014, 44(23).
- [5] 混凝土结构设计规范: GB 50010-2010 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.

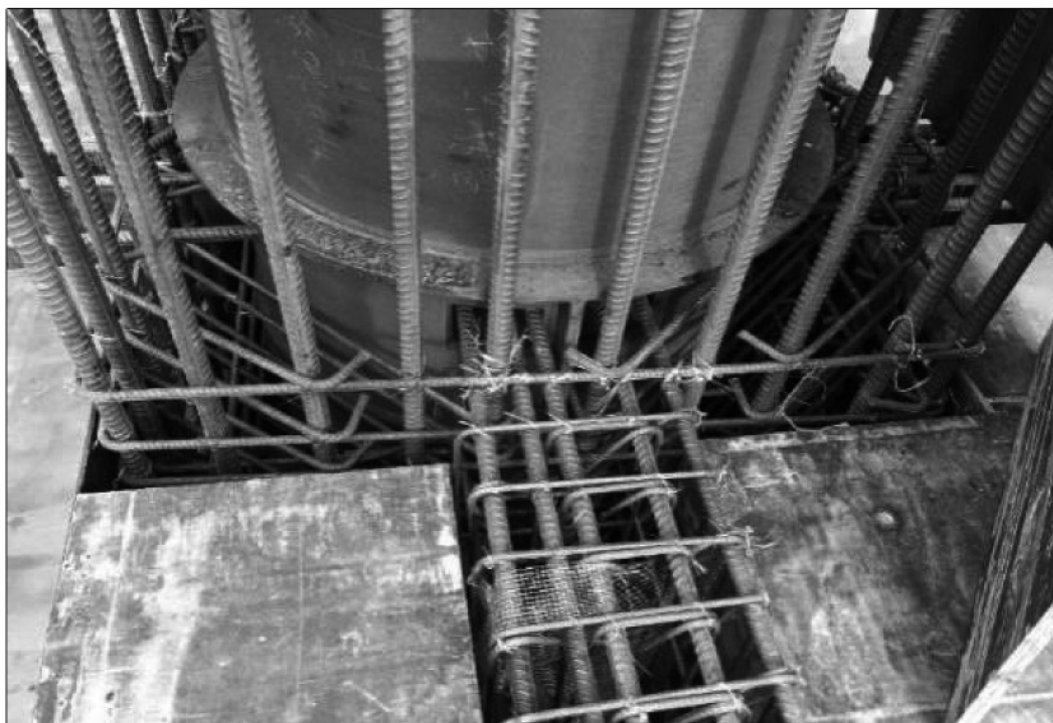


图7 施工现场的钢管混凝土叠合柱梁柱节点