

浅谈钢管柱与钢筋混凝土柱连接节点

白艳峰

中国建筑科学研究院有限公司, 北京 100000

[摘要] 钢结构应用越来越广泛, 施工工期短, 可应用于大跨度, 构件截面较小, 但是钢管柱与混凝土柱连接构造较为复杂, 连接形式和计算方法单一。文中列举了两种做法, 钢管柱与混凝土柱节点做法。

[关键词] 钢管柱; 节点构造; 施工技术

DOI: 10.33142/ec.v5i4.5842

中图分类号: TU528.062

文献标识码: A

Brief Discussion on the Connection Joint between Steel Tube Column and Reinforced Concrete Column

BAI Yanfeng

China Academy of Building Research Co., Ltd., Beijing, 100000, China

Abstract: Steel structure is more and more widely used, with short construction period, which can be applied to long-span and small member section. However, the connection structure between steel pipe column and concrete column is complex, and the connection form and calculation method are single. This paper lists two methods, the joint method of steel pipe column and concrete column.

Keywords: steel pipe column; node structure; construction technology

引言

随着我国经济不断发展, 钢结构应用日益广泛。从结构体系考虑, 当结构上部楼层采用钢柱, 下部楼层采用型钢混凝土柱时, 在两种结构类型应设置结构过渡层, 一种连接方式是钢柱向下一层延伸至梁下部不小于 2.5 倍钢柱截面高度处, 且过渡层柱的箍筋应按下部型钢混凝土箍筋加密区的规定配置并全高加密。按型钢混凝土规范要求, 截面需要大于或等于钢柱直径 $D+150 \times 2\text{mm}$, 影响建筑使用空间, 且框架梁钢筋与型钢柱冲突, 施工技术要求较高。另一种连接方式是钢筋混凝土柱向上延伸, 延伸高度通过计算确定。且同样需要满足构造要求等。

不同的连接处理方式之间影响节点的受力性能, 针对不同的形式, 如何去选择连接方式并进行深化设计至关重要。针对这些问题, 在工程设计阶段必须给予认真考虑, 采用科学、经济的深化设计方法, 减少现场施工钢筋搭接数量及钢筋现场焊接数量, 保证工程质量和工程进度。本文结合工程实例, 浅谈钢管柱与钢筋混凝土相互连接的节点设计及节点构造等内容。

1 工程概况

本工程地上 3 层, 地下 1 层, 局部人防工程, 建筑高度 23.70m, 为多层建筑, 平面布置为半圆环形建筑。结构形式为钢筋混凝土框架结构, 屋面顶部采用钢结构架子做为造型。建筑结构的安全等级为二级, 建筑抗震设防类别为乙类, 建筑耐火等级为一级, 设计基准期为 50 年, 设计使用年限为 50 年, 抗震基本烈度为 7 度, 抗震构造措施按 8 度考虑, 设计地震分组第二组, 建筑物场地土类

别为三类。抗震地段属于一般地段, 基本风压为 0.45KN/m^2 , 基本雪压为 0.45KN/m^2 。梁、板混凝土强度等级采用 C30, 墙、柱混凝土强度等级采用 C40, 钢筋采用 HRB400 三级钢。

在下部方形钢筋混凝土柱变成圆形钢管柱, 截面变化的情况下, 梁柱节点内钢筋多数非常密集, 钢板、钢筋、柱脚螺栓、连接件等进行相互避让, 同时还需要预留出梁和柱的保护层。这就要求在深化设计慎重处理密集钢筋的碰撞避让问题, 避免深化返工。如图 1

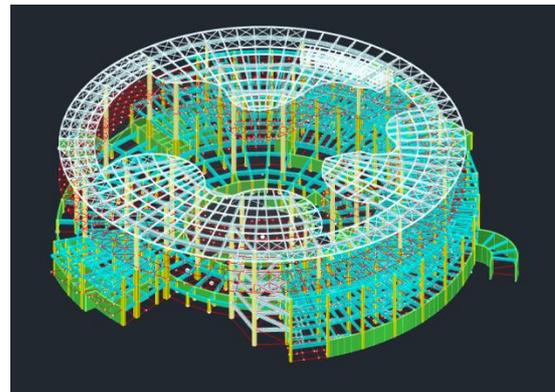


图 1 三维

2 主要分析结果

选用盈建科 JYK 程序对工程进行多遇地震作用下的弹性分析, 建立上部结构与地下室整体建模, 按单塔刚性楼板假定进行分析, 考虑扭转和模拟施工加载, 考虑+5%偶然偏心和双向地震扭转效应, 主要计算结果汇总于表 1。由表 1 可知, 结构主要计算指标均可满足规范要求。

表 1 多遇地震弹性计算结果

指标项	汇总信息	
总质量(t)	57329.95	
质量比	1.00 < [1.5] (1层1塔)	
最小刚度比	X向	1.00 > [1.0] (5层1塔)
	Y向	1.00 > [1.0] (5层1塔)
楼层受剪承载力	X向	1.00 > [0.80] (5层1塔)
	Y向	1.00 > [0.80] (5层1塔)
结构自振周期(s)	X	1.0605
	Y	1.0939
	T	1.0083
有效质量系数	X向	100.00% > [90%]
	Y向	100.00% > [90%]
最小剪重比	X向	0.00% < [1.60%] (5层1塔)
	Y向	0.00% < [1.60%] (5层1塔)
最大位移角(地震)	X向	1/530 > [1/550] (5层1塔)5层为钢结构层
	Y向	1/481 > [1/550] (5层1塔)5层为钢结构层
最大位移角(风)	X向	1/576 < [1/550] (5层1塔)
	Y向	1/510 > [1/550] (5层1塔)
最大位移比	X向	1.29 < [1.50] (2层1塔)
	Y向	1.20 < [1.50] (2层1塔)
最大层间位移比	X向	1.32 < [1.50] (4层1塔)
	Y向	1.30 < [1.50] (4层1塔)

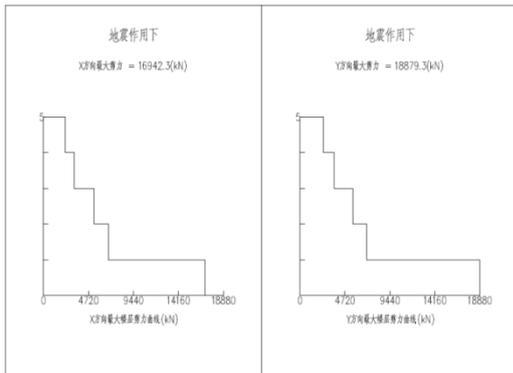


图 2 结构 X 向和 Y 向地震剪力汇总

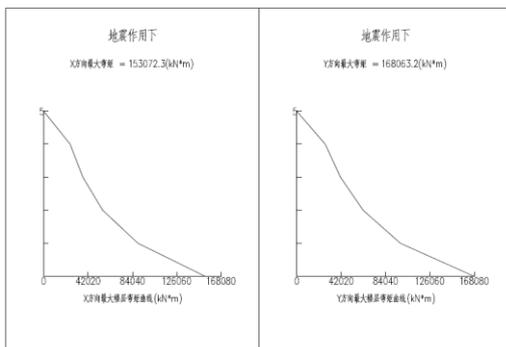


图 3 结构 X 向和 Y 向地震倾覆弯矩汇总

3 节点构造做法

第一种连接构造做法: 钢柱向下一层延伸到钢筋混凝土柱内, 延伸长度满足 2.5 倍钢柱截面尺寸。《组合结构设计规范》(JGJ138-2016) [1]、《钢结构设计标准》(GB50017-2017) [2] 以及《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010) 2015 [3] 版中给出了埋入式柱脚的设计计算模式和非埋入式柱脚计算模式。

(1) 埋入式柱脚埋置深度计算和构造要求, 底板局部受压承载力及基础底板冲切承载力计算参考《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010) 2015 版。埋入式柱脚示意图, 如图 4 和图 5。

$$h_B \geq 2.5 \sqrt{\frac{M}{0.4Df_c}} \quad (1)$$

式中: M 为钢柱脚底部的弯矩设计值; D 为钢柱直径; f_c 为混凝土抗压强度设计值;

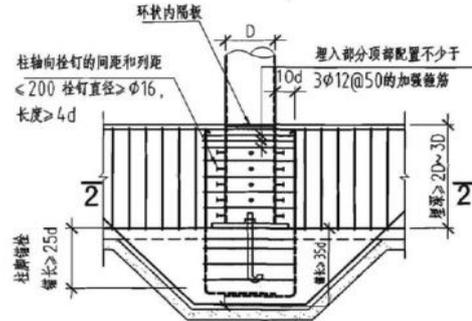


图 4 柱脚节点大样图



图 5 柱脚实际工程节点大样图

(2) 非埋入式柱脚环形底板锚栓配置计算, 《组合结构设计规范》(JGJ138-2016) 中地震设计状况

$$N_{ei} \leq \frac{1}{r_{RE}} \left[\frac{2}{3} a_1 f_c A r \frac{\sin^3 \pi \alpha}{\pi} + 0.75 f_{sa} A_{sa} r_s \frac{\sin \pi \alpha_t}{\pi} \right] \quad (2)$$

非埋入式柱脚底板截面处受剪承载力(中间设置芯柱)

$$V \leq 0.4N_B + 1.5f_t A_{c1} + 0.5f_y A_{s1} \quad (3)$$

底板局部受压承载力及基础底板冲切承载力计算参考《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010) 2015 版。非埋入式柱脚示意图(图 6)。

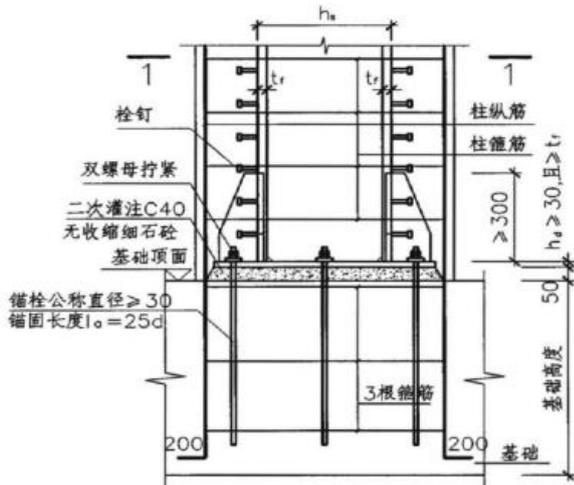


图6 箱型钢混凝土柱非埋入式柱脚

第二种连接构造做法：钢筋混凝土柱向上延伸，钢筋混凝土锚入到钢管里，根据空间模型计算，提取较不利柱内力， $M_x=1700\text{KN}\cdot\text{m}$ ， $M_y=750\text{KN}\cdot\text{m}$ ， $V_x=110\text{KN}$ ， $V_y=290\text{KN}$ ， $N=1400\text{KN}$ ；根据《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010) 2015版，考虑二阶效应后控制截面的弯矩设计值：

$$M' = C_m \eta_n M_2 = 1 \times 1 \times 1700 = 1700 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{偏心距} : e_0 = M' / N = (1700 \times 106) / (1400 \times 103) = 1214.29 \text{ mm}$$

$$\text{初始偏心距} : e_i = e_0 + e_a = 1214.29 + 26.67 = 1240.95 \text{ mm}$$

根据《混凝土规范》E.0.4可得混凝土受压区圆心角与 2π 比值及全截面纵向钢筋面积： $\alpha = 0.37$ ， $A_s = 11918.4 \text{ mm}^2$ 。

根据《抗规》6.3.7条和《高规》6.4.3条^[4]，取全截面纵向钢筋最小配筋率 $\rho_{s\min} = 0.75\%$ 。

全截面纵向钢筋最小配筋面积：

$$A_{s\min} = \rho_{s\min} \cdot A = 0.75/100 \times 502655 = 3769.91 \text{ mm}^2$$

即 $A_s > A_{s\min}$ ，取全截面纵向钢筋面积：

$$A_s = 11918.4 \text{ mm}^2$$

假定：考虑地震作用的时候，钢筋混凝土柱底全截面纵向钢筋全部受拉破坏（极限状态），此时钢管内的钢筋混凝土脱离分开，让钢筋混凝土柱钢筋破坏拉断，所产生的拉力：

$$N = f_y \times A_s = 360 \times 11918.4 / 1000 = 4290.6 \text{ kN}$$

每个栓钉承载力为 $N_c = 80\text{KN}$ （采用19栓钉）

拉力相当于钢柱与钢筋混凝土的剪力： $V = N = 4290.6\text{KN}$

一共需要 $n = 4290.6 / 80 = 53$ 根栓钉，一圈内侧需要8根栓钉，一共需要7排，每排之间的间距控制在200mm，钢筋混凝土锚入钢管柱内高度为1800mm。节点大样做法，如图7-8。

为了达到理想状态下，钢管与钢筋混凝土达到整体性，共同受力，同时又在钢管内侧增加了抗剪筋，保证钢柱底部节点刚性连接，同时保证钢柱中的钢筋混凝土受力性能合理。构造做法是沿着钢管内壁，焊接直径同钢管内

侧大小的钢环，钢筋或扁钢直径采用宽度 b 大于 20mm 或直径 d 大于 20mm 。本工程采用宽度 $b=25\text{mm}$ 的扁钢，具体节点大样，参考广东省标准《高层建筑混凝土结构技术规程》DBJ/T 15-92-2021^[5]，F.2.7条，节点大样做法，如图9。

加强措施，让钢筋混凝土柱中的钢筋出柱头，让其钢筋混凝土中的纵向受力钢筋与钢管内壁焊接，焊接长度为 $10d$ ，双面焊接。

构造技术措施：为了从各方面保证钢管与钢筋混凝土的整体性，避免钢管内的钢筋混凝土收缩，保证钢筋混凝土强度等各项指标的前提下，适量掺入微膨胀剂，满足规范要求，避免钢筋混凝土收缩与钢管脱离，无法共同工作。

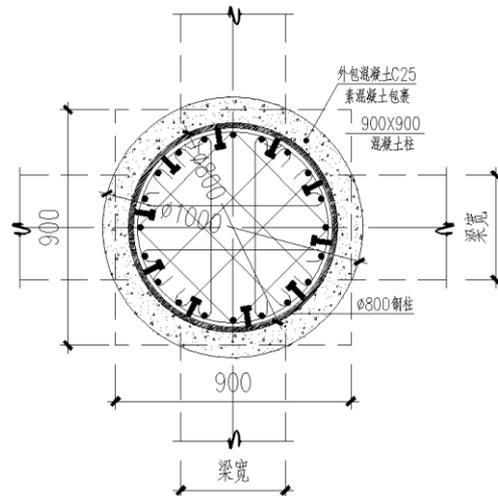


图7 节点平面图

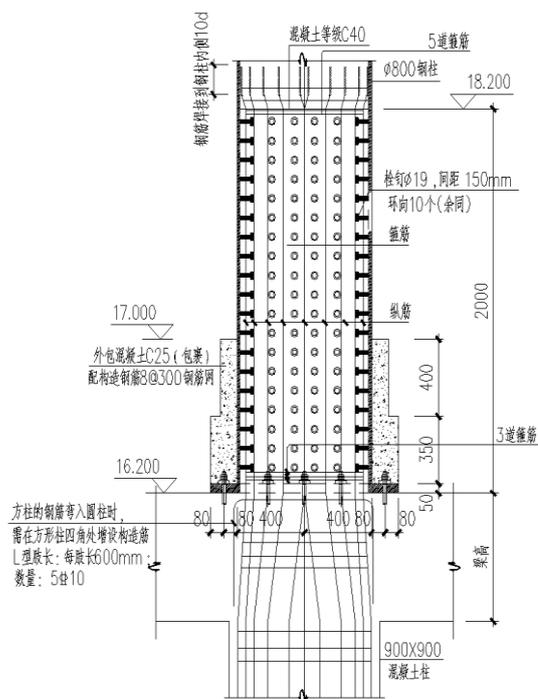


图8 节点剖面图

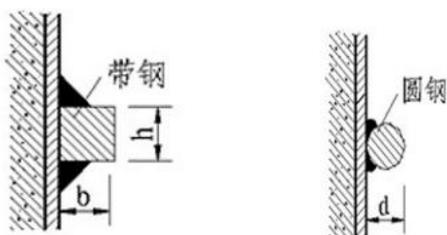


图9 节点大样图

4 施工质量控制

本工程抗震设防烈度为7度,但是抗震措施按8度考虑,抗震要求较高,钢管柱与钢筋混凝土连接节点施工质量直接影响整体结构稳定性,因此质量控制是工程重点。主要以下几个方面进行质量控制:

钢筋伸入到钢管内侧时定位不准,直接影响到钢管下方柱脚底板穿孔,尤其钢筋根数较多的时候,给施工造成困难。

钢筋混凝土中的纵向钢筋与钢管内侧的栓钉发生冲突,安装困难,以及钢筋混凝土中的箍筋也会与栓钉发生冲突,解决办法就是抗剪满足的前提下,利用外侧钢管参与计算,可以满足计算要求。圆形钢筋混凝土柱外侧箍筋保留,内侧箍筋采用拉钩的形式。保证抗剪满足要求。

浇筑采用的混凝土应该采用自密实混凝土,强度保持不变。

地脚螺栓的安装质量是整个钢结构安装精度的关键。地脚螺栓的安装质量包括平面位置、螺栓垂直度和高度三个方面。常规做法是将地脚螺栓固定好,在浇筑混凝土前,通过一定的手段,保证地脚螺栓的安装质量,如果浇筑过程中地脚螺栓发生位移,严重时会导致钢柱无法安装。

5) 钢筋混凝土中纵向钢筋与钢柱焊接问题,由于钢筋直径较大,在安装钢柱时,由于钢筋内收,安装完后。又要将钢筋外扩与钢柱焊接,施工不好操作。质量不好保证。最后将钢筋延长长度后焊接与钢管内侧。

6 结语

结构设计人员可以根据设防烈度和钢结构工程类型参考本文,需要满足规范构造措施和计算要求。随着钢结构相关规范版本的更新,但是柱脚设计原理是一致的,但是要求细节偏重不尽相同,因此柱脚设计时应相互参考,必要时,可以根据工程的实际情况,采用性能化设计的方法对柱脚进行分析设计。此节点在结构加层设计中,也会设计中也会涉及到,钢结构柱与混凝土连接对整体结构起着关键作用。

[参考文献]

- [1] 中华人民共和国行业标准. 组合结构设计规范: JGJ138-2016[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
 - [2] 中华人民共和国国家标准. 钢结构设计标准: GB50017-2017[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
 - [3] 中国建筑科学研究院国家标准. 混凝土结构设计规范: GB50010-2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
 - [4] 电气规范规划规范防火规范. 高层建筑混凝土结构技术规程: JGJ3-2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
 - [5] 广东省标准. 高层建筑混凝土结构技术规程: DBJ/T 15-92-2021[S]. 广东: 广东省住房和城乡建设厅, 2021.
 - [6] GB50936-2014. 钢管混凝土结构技术规范: GB50936-2014[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- 作者简介: 白艳峰(1982-)男, 学历: 本科, 职称: 中级, 专业方向: 建筑结构设计。