

内设钢筋的倾斜钢管混凝土柱施工技术*

田 伟, 夏 雷, 程娄锋

(上海中建海外发展有限公司, 上海 200125)

[摘要]由于钢管柱内混凝土配置钢筋可提升钢管和混凝土的协同工作性能, 北非一些国家的设计规范要求钢管柱内混凝土按构造配筋率设置钢筋。针对倾斜钢管柱内安装钢筋的难点, 确定了预制钢筋笼并与钢管固定、整体吊装的思路。先从设计入手, 明确了钢筋笼与栓钉间距, 并提出钢筋笼间非接触搭接的连接方式。在安装过程中, 探索利用钢筋滑槽克服钢管柱内栓钉影响、采用可分次焊接双十字定位筋固定钢筋笼、钢筋笼与钢管柱整体吊装等方法进行钢管柱内钢筋安装, 最后利用混凝土顶升技术完成钢管柱内混凝土浇筑。通过工程实践验证了技术措施的实用性和有效性, 取得良好的综合效益。

[关键词]非接触搭接; 钢筋滑槽; 钢筋笼; 吊装; 双十字定位筋; 施工技术

[中图分类号]TU755

[文献标识码] A

[文章编号]

Construction Technology of Inclined Concrete-filled Steel Tube Column with Internal Reinforcement

TIAN Wei, XIA Lei, CHENG Loufeng

(China State Construction Overseas Development Co.,Ltd., Shanghai 200125, China)

Abstract: Setting steel rebars in steel tube columns can improve the synergistic performance of steel tube and concrete, the design codes of some countries in North Africa require that the concrete in the concrete-filled steel tube column is reinforced according to the concrete reinforcement ratio. In view of the challenge of installing rebars in inclined steel tube column, the idea of prefabricated rebar cage, rebar cage fixed with steel tube and integral hoisting is determined. Starting from design, the distance between the steel cage and shear stud is defined, and the non-contact splice connection between the rebar cage is proposed. In the process of installation, exploring the use of rebar chute to overcome the adverse effect of shear studs inside the steel tube, separable welding double cross positioning bars is adopted to fix the rebar cage, and integral hoisting method is applied to install the rebars inside the steel tube column. Finally, concrete jacking technology is used to cast the concrete in the steel tube column. The practicability and effectiveness of the technology is verified through practice, and comprehensive benefits are obtained.

Keywords: non-contact splice; rebars chute; rebar cage; hoisting; double cross positioning rebar; construction

* 中建八局 2023 年度科技研发项目
(2023-2-15)

[作者简介]田 伟, 博士, 正高级工程师, 国家注册咨询工程师(投资), 国家一级注册结构工程师, 国家一级注册造价工程师, 国家一级注册建造师, E-mail: vannytian@163.com

[收稿日期]2023-09-12

0 引言

钢管混凝土结构是将混凝土灌入钢管内形成的一种新型组合结构，钢管混凝土结构能更有效地发挥钢材和混凝土各自优点^[1]。钢管对内部混凝土具有约束作用，提高了混凝土抗压强度；钢管内部的混凝土又可有效防止钢管发生局部屈曲。钢管和混凝土间的相互作用改善了构件的延性性能，提高了耗能能力，具有优越的抗震性能。由于钢管混凝土柱良好的力学性能，在超高层建筑领域的应用日益广泛^[2]。

国内设计规范一般通过栓钉加强钢管与混凝土柱的协同作用，一般不要求在钢管内的混凝土中设置钢筋^[3,4]。由于钢管柱内混凝土配置钢筋可提升钢管和混凝土的协同工作性能，北非一些国家的设计规范中，要求钢管柱内混凝土按构造配筋率设置钢筋^[5]。钢管内设置钢筋的要求给钢管混凝土柱施工带来极大挑战。

1 施工难点

在倾斜钢管柱内安装钢筋的主要难点为：①作业空间小，钢管混凝土柱内部空间狭小，且随着高度增加，钢管直径缩小，工人无法进入钢管柱内部安装钢筋；②钢管柱倾角的影响，由于超高层建筑造型需要，钢管混凝土柱经常是倾斜的，倾角的存在给钢筋笼吊装带来难度，钢筋笼会卡在钢管内壁，不易下落，且高空倾斜柱的高精度对接难度较大；③栓钉会与钢筋笼箍筋产生碰撞，钢管柱内壁一般设置栓钉，栓钉与钢筋笼箍筋在安装过程中会发生碰撞，这增加了钢管柱内钢筋的安装难度；④分段钢管柱连接处钢筋的连接方式，由于钢管柱是分段安装，分段处钢筋如何连接也是一个难题。上述问题的存在给内设钢筋的倾斜钢管柱施工带来困难。

2 技术思路与工艺流程

对内设钢筋的倾斜钢管混凝土柱的施工难点展开针对性研究，并提出如下技术思路：对于钢管混凝土柱内部空间狭小的问题，采用预制钢筋笼的方法，避免人员在钢管柱内作业；对于钢管混凝土柱倾斜导致的吊装难题，采取钢筋笼与钢管柱在地面安装并焊

接固定后整体吊装方式；对于栓钉与钢筋笼箍筋的碰撞问题，设计了钢筋滑槽，在安装钢筋笼前将钢筋滑槽推入钢管柱，覆盖在栓钉上，解决了栓钉的碰撞影响，方便钢筋笼安装；对于钢筋笼间的连接方式，在无法采用常规连接方式的情况下，采用新型连接方式方便施工并保障连接性能。

在上述技术思路下，内设钢筋的倾斜钢管混凝土柱的施工工艺流程如图 1 所示，主要流程为：从深化设计开始，同步进行钢筋滑槽的加工和钢筋笼制作，完成后开始安装钢筋笼，利用钢筋滑槽将钢筋笼推入钢管柱，设计了双十字筋对钢筋笼进行定位和固定，完成对钢筋笼和钢管柱整体吊装到位，测量定位并固定后对钢管柱进行焊接，焊接完成后利用顶升法进行钢管柱内混凝土浇筑。

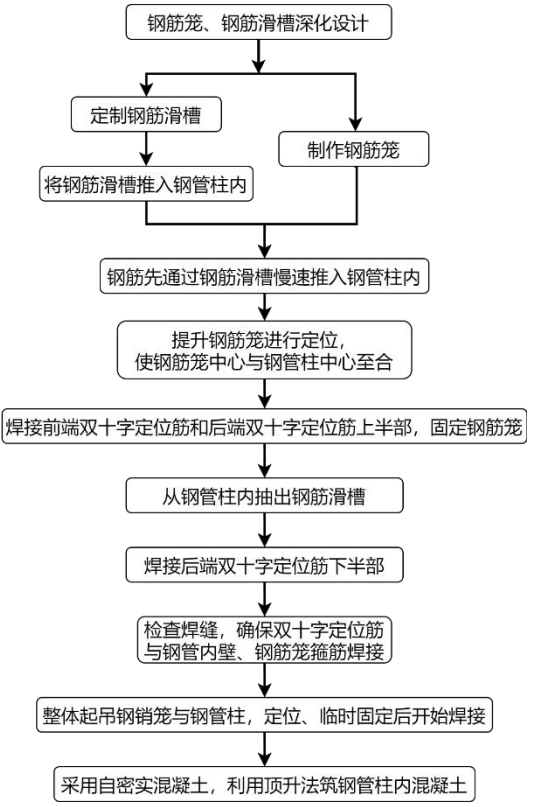


图 1 工艺流程

Fig.1 Process flow

3 实施要点

内设钢筋的倾斜钢管混凝土柱在施工过程中有诸多难点，下面从深化设计、钢筋笼绑扎、钢筋滑槽设计制作、钢筋笼安装等设计和技术要点对内设钢筋的倾斜钢管混凝土柱施工技术进行阐释。

3.1 深化设计

分段钢管柱连接处钢筋的连接方式是关键点。钢筋的连接方式主要有 3 种，即搭接连接、机械连接和焊接连接。由于钢管柱安装是在高空，机械连接和焊接难度较大，不仅耗时较长，而且无法保障连接质量，长时间的高空作业对作业人员也不安全。基于上述考虑，主要考虑搭接连接方式。常规搭接方式需连接钢筋直接接触，由于钢筋倾角的存在，使得上、下段钢管内钢筋笼在安装过程中会碰撞，导致安装失败。基于上述难点，提出了钢筋笼的非接触搭接连接方式，钢筋间的搭接连接无须钢筋直接接触，钢筋间可保持一定间距，间距大小根据搭接长度、钢管柱倾角和安装便捷性确定。当搭接长度为 1m 时，1.5° 倾角的水平距离约为 3cm，综合考虑施工便捷性，将钢筋间的非接触距离定为 10cm。并为非接触式搭接找到了设计依据，美国标准混凝土规范中对非接触搭接的间距规定是不大于搭接长度的 1/5 或 150mm^[6]，因此上述非接触搭接方式符合设计要求。

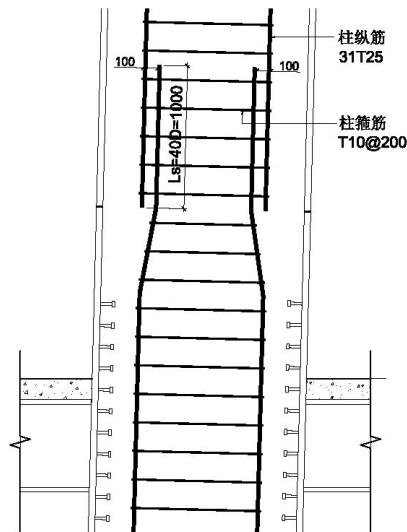


图 2 钢筋笼连接深化设计

Fig.2 Detailed design of rebar cage connection

按钢筋笼非接触搭接思路，对钢筋笼采用“大小头”设计，下段钢管柱顶部预留搭接长度，并对钢筋笼进行缩径，形成“小头”；上段钢管柱按正常设计，为“大头”。在安装过程中，只需将上段钢筋笼的“大头”套入下段钢筋笼的“小头”，安装方便快捷。钢管柱

内钢筋笼的非接触搭接连接设计如图 2 所示，钢筋笼与栓钉保持 100mm 间距，钢筋间非接触搭接距离设计为 100mm，搭接长度为 1000mm。此外，需要特别注意的是，必须提前复核吊重，计算钢筋笼自重及钢筋笼与钢管柱总重，并复核总重是否超过塔式起重机吊重。

3.2 钢筋笼绑扎

深化设计完成后即可开始钢筋笼绑扎。钢筋笼长度为其对应钢管柱分节长度加上搭接段长度。钢筋笼绑扎需提前规划绑扎场地，尽量选在塔式起重机或汽车式起重机工作范围内，避免二次倒运。为便于钢筋笼绑扎，设置了绑扎支撑架，提高了绑扎效率。钢筋笼绑扎过程中，需对绑扎钢丝进行加强，确保主筋和箍筋绑扎牢固，防止钢筋笼在安装和整体吊装过程中出现散架情况。绑扎完成的钢筋笼如图 3 所示。

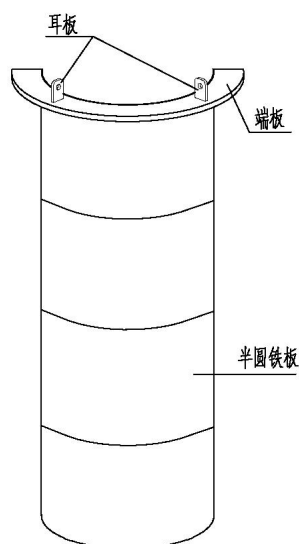


图 3 钢筋笼现场绑扎

Fig.3 Field installation of rebar cage

3.3 钢筋滑槽设计制作

钢筋滑槽的主要作用是避免安装过程中钢筋笼与钢管柱内栓钉碰撞。为防止钢板变形，在钢板拼接焊缝处设置加劲肋加强。钢筋滑槽端部设置环板，在推入钢筋笼时便可卡在钢管柱边缘，固定钢筋滑槽。环板上焊接 2 个耳板，用于钢筋笼安装完成后抽出钢筋滑槽时使用。钢筋滑槽设计如图 4a 所示，钢筋滑槽无须全圆，仅需覆盖 1/3 的圆弧即可满足使用要求。钢筋滑槽实物如图 4b 所示。需根据钢管柱直径变化情况设计相应的钢筋滑槽，钢筋滑槽在工厂提前定制。



a 设计



b 实物

3.4 钢筋笼安装

钢筋笼安装前首先需进行钢筋滑槽安装。钢筋滑槽安装需汽车式起重机和叉车配合，钢筋滑槽前端由汽车式起重机吊起，对准钢管柱内空间，避开栓钉，后端由叉车缓慢推入钢管内。钢筋滑槽安装完成后照片如图 4c 所示，此时钢筋滑槽环板卡在钢管柱外侧，在安装钢筋笼过程中可有效固定滑槽。

钢筋滑槽就位后，开始安装钢筋笼。钢筋笼在钢管柱内安装需汽车式起重机和叉车配合，钢筋笼由汽车式起重机吊起，由叉车缓慢推入钢管柱内。钢筋笼安装过程中照片如图 5 所示。



c 安装完成

图 4 钢筋滑槽

Fig.4 Rebar chute

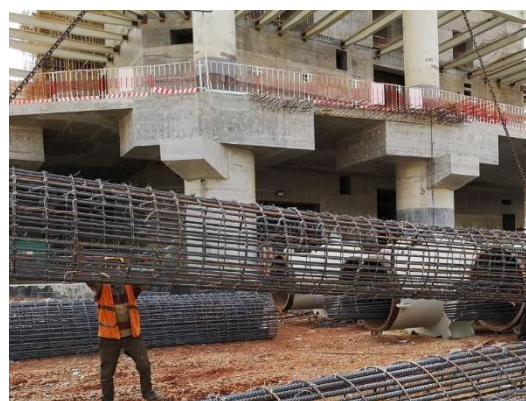
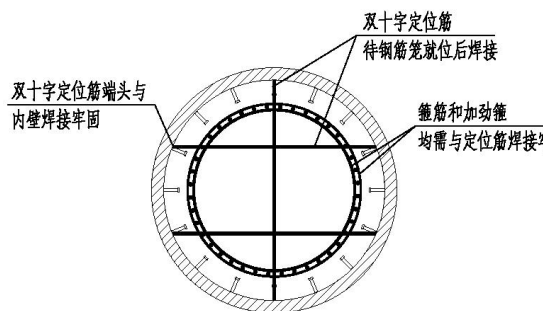


图 5 钢筋笼吊装

Fig.5 Hoisting for rebar cage

3.5 焊接双十字定位筋

将钢筋笼推入钢管柱内后，用汽车式起重机吊起钢筋笼前端，钢筋笼前端到达设计位置后，先在前端焊接双十字定位筋，使钢筋笼前端和钢管连为整体。在调整钢筋笼后端位置后，临时焊接后端双十字定位筋的上半部分，待抽离钢筋滑槽后，焊接完下部双十字定位筋。为保证双十字定位筋与钢筋笼牢固连接，在钢筋笼内侧设置加劲箍，同时双十字定位筋的焊缝需进行专项设计，考虑吊装过程中的动力系数。在双十字定位筋焊接完成后进行焊缝验收，确保钢筋笼和钢管柱牢固焊接成整体，保障高空吊装过程中安全。双十字定位筋的设计如图 6a 所示，双十字定位筋焊接完成后照片如图 6b 所示。



a 设计



b 完成

图 6 双十字定位筋

Fig.6 Double cross positioning bars

3.6 钢筋笼与钢管柱整体吊装

钢管柱吊装落位过程中，应确保下段钢管柱的钢筋笼“小头”插入上段钢柱的钢筋笼“大头”内部。插接完成后钢柱缓慢落下，紧固耳板进行固定，结束吊装。钢管柱和钢筋笼整体吊装过程中照片如图 7a 所示。钢管柱和钢筋笼吊装完成后照片如图 7b 所示。吊装完成后利用千斤顶对钢管柱进行调整，测量复核无误后即可进行钢管柱焊接作业。

3.7 钢管柱内混凝土浇筑

为确保钢管柱内混凝土浇筑质量，选用高性能自密实混凝土，混凝土需具有高强度、高流动性、低水化热、微膨胀性、高稳定性和自密实等性能^[7-8]。钢管混凝土顶升浇筑法需提前确定每次浇筑作业的顶升高度，在钢管柱深化设计和加工制作时便预留直径 125mm 圆孔作为浇筑孔，同时对浇筑孔内

部进行加强。在已安装完成的钢管柱浇筑孔位置焊接输送管，安装截止阀，连接泵管。泵送管线安装如图 8 所示。利用泵送压力将混凝土连续不断地自下而上灌入钢管柱，顶升至预定浇筑高度，稳定泵压 2~3min，关闭截止阀。在钢管柱内混凝土顶升完成后的 8~12h，通过下一个浇筑孔向管内混凝土浇水，在混凝土上表面蓄水 50mm 进行养护。



a



b

图 7 钢管柱与钢筋笼整体吊装

Fig.7 Integral hoisting for steel tube column and rebar cage



图 8 顶升管线安装

Fig.8 Installation of jacking pipeline



图 9 标志塔钢管柱安装

Fig.9 Installation of steel tube column of Iconic Tower

4 工程应用

埃及新行政首都中央商务区(CBD)标志塔总占地面积6.5万 m^2 ，建筑面积26.2万 m^2 ，塔楼地上78层，高度385.8m，为非洲第一高楼。塔楼结构形式为钢框架-核心筒，外部钢结构框架的外框柱为16根钢管混凝土柱，柱有 1.5° 的倾角，直径由底层1600mm逐步收缩至顶层的550mm，壁厚由80mm减至20mm，钢管内分布着100mm长栓钉，钢管内钢筋由首节32 ϕ 25减少至14 ϕ 25，箍筋为 ϕ 10@200mm。为了顺利完成倾斜钢管柱内钢筋安装，深入研究并形成了“内设钢筋的倾斜钢管混凝土柱施工技术”。该技术安全可靠，减少了高空作业，保障了施工安全，有效提高了内设钢筋的倾斜钢管混凝土柱的施工效率与施工质量，不仅降低成本350万元，而且缩短施工工期1个月，取得了良

好的技术、经济和社会效益。标志塔内含钢筋的倾斜钢管柱安装如图9所示。

5 结语

针对倾斜钢管柱内钢筋绑扎和连接难题，针对内设钢筋的倾斜钢管混凝土柱施工技术提出预制钢筋笼并与钢管柱整体吊装的创新思路，主要创新点如下。

1)提出了钢筋笼非接触搭接的连接方式，利用钢筋笼大、小头插接的连接方式解决了由于钢管柱分段引起的钢筋笼钢筋间连接问题。

2)设计了钢筋滑槽构造，通过在钢管柱内设置钢筋滑槽，解决钢筋笼在安装过程中与栓钉的碰撞问题。

3)设计了可分次焊接双十字定位筋，对安装完成的钢筋进行定位和固定，将钢筋笼与钢管柱连接成整体，便于整体吊装。

内设钢筋的倾斜钢管混凝土柱施工技术通过工程实践和应用，验证了该技术的实用性和有效性，取得良好的综合效益，并为类似工程实践提供借鉴，并向海外同行展现了中国建设者创新发展、精益求精的工匠精神。

参考文献：

- [1]陈桐. 超高层建筑发展趋势研究初探[D]. 北京：中国建筑设计研究院, 2017.
CHEN T. Research on the development trend of super high-rise buildings [D]. Beijing: Chinese Architectural Design and Research Institute, 2017.
- [2]李江.超高层矩形钢管混凝土柱施工质量控制及关键技术研究[D].北京：北京建筑大学,2014.
LI J. Super-tall rectangular concrete-filled steel tube column construction quality control and the key technology research [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture,2014.
- [3]傅学怡. 实用高层建筑设计[M]. 北京：中国建筑工业出版社, 2010.
FU X Y. Practical design of high-rise building structure [M]. Beijing: China Architecture &

Building Press, 2010.

[4] 钢管约束混凝土结构技术标准[S]. JGJT471-2019.

Technical standard for steel tube concrete structures[S]. JGJT471-2019.

[5] Design and Construction of Concrete Structures[S]. Egypt standard, ECP 203-2007.
混凝土结构设计与施工规范[S].埃及标准, ECP 203-2007.

[6] Building Code Requirements for Structural Concrete[S]. USA standard, ACI 318M-14.
混凝土结构设计规范[S]. 美国标准, ACI 318M-14.

[7] 王仲宾. 高层建筑钢管混凝土施工新技术研究[D].沈阳: 沈阳建筑大学,2018.

WANG Z B. Research on new technology of high-rise steel tube concrete construction[D]. Shenyang:Shenyang Jianzhu University, 2018.

[8] 孙金坤,李晓明,周建平,等.大直径钢管混凝土柱顶升法浇筑工艺研究与应用[J].施工技术,2018,47(19):124-127.

SUN J K, LI X M, ZHOU J P,et al. Research and application on the pouring technology for lift-up large diameter concrete-filled steel tubular column[J]. Construction technology, 2018, 47(19): 124-127.