

超大混凝土圆环内支撑在深基坑工程中的应用

赵升峰¹ 范钦建²

(1. 江苏今迈工程勘察有限公司, 江苏南京 210019; 2. 南京工业大学交通学院, 江苏南京 210009)

【摘要】 以南京新城科技园国际研发总部园深基坑围护实例为背景, 分析了直径超过 200 m 的超大混凝土圆环内支撑系统的工程应用特点, 介绍了混凝土圆环内支撑结构设计、平面布置以及竖向承重结构的布置、圆环受力情况及配筋计算, 并总结了深基坑超大圆环支撑设计的相关构造节点和关键技术要点。现场实测基坑位移较小, 内支撑系统内力在可控范围内, 整个施工过程达到了安全可靠的目标, 对保护周边环境起到很好的作用, 表明这些技术措施取得了良好的实施效果, 希望为今后类似的深基坑工程围护设计与施工提供借鉴。

【关键词】 深基坑; 超大圆环内支撑; 关键技术

【中图分类号】 TV 551.4; TU 942

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2013.01.005

Application of Super - Large Ring Concrete Bracing System In Deep Foundation Pit Engineering

Zhao Shengfeng¹ Fan Qinjian²

(1. Jiangsu Jinmai Engineering Investigation Co., Ltd, Nanjing 210019, Jiangsu, China;

2. College of Transportation Science & Engineering Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, Jiangsu, China)

【Abstract】 Through a example of deep foundation pit of international R&D headquarters park in science and technology park of Nanjing new city, engineering application characteristics of super-large ring bracing system are analyzed, which diameter is more than 200 meter. The structure design, layout, vertical load-bearing structure, the force and reinforcement calculation of ring are also analyzed. The related structure node and the key technical points are summarized in the designation of super-large ring bracing system. In the site test, the displacement of excavation is small and internal force of bracing system is in the controllable range. The whole construction process is safe and reliable, and protects the surroundings nearby well. The results show that these measures achieve good implementation. It provide some suggestions for same type of deep foundation pit projects.

【Key words】 deep foundation pit; super-large ring bracing system; key technology

0 引言

随着我国地下建筑大规模地开发, 为了最大程度地利用城市地下空间, 基坑面积越来越大, 深度越来越深, 具有多层地下室, 且面积超过数万 m² 的工程日趋普遍。深基坑工程工期紧, 周边环境复杂, 施工场地狭小以及土地使用范围受限, 致使其常采用板式围护体系结合内支撑的围护形式。内支撑系统主要采用钢筋混凝土支撑体系和钢支撑体系^[1]两种形式。

超大面积深基坑一般采用混凝土内支撑, 支撑常采用圆环、椭圆及抛物线圆支撑或对撑结合角撑边桁架的布置形式。对于长度超过 200 m 的超长钢筋混凝土对撑结构, 混凝土材料本身固有的收缩

和徐变特性就会充分发挥出来, 其支撑的受力效果受到较大地影响, 加之坑内密布工程桩的影响, 立柱往往偏离支撑节点中心, 对支撑受力亦会形成不利的影响。

针对上述问题, 文本提出把内支撑设计成圆环形结构, 充分利用混凝土抗压能力来抵抗土压力。结合国内几个代表性工程和有关文献资料, 对超大混凝土圆环内在支撑设计方法进行了分析, 指出超大圆环内支撑设计与施工的主要技术节点, 包括环形支撑梁承载力、梁钢筋计算、竖向承重体系的选择等。根据现场实测结构分析了工程实施的效果, 希望为圆环支撑设计与施工提供参考。

1 工程实例

1.1 工程概况

南京新城科技园国际研发总部园场地位于南京市泰山路东侧、奥体大街北侧。基坑面积约 57 500 m², 基坑总延长米约 965 m, 开挖深度 9.20~13.50 m, 基坑南北向边长约 250.00 m, 东西向边长约 240.00 m。基坑边线距离四周用地红线约 3.0 m。

基坑周边道路下埋设有电力、给水、通信等市政管线, 部分管线距离本工程基坑边线很近, 施工场地狭小, 周边环境要求较高。

1.2 地质概况

拟建场地地形较为平坦, 地面高程在 6.12~8.57 m 之间。场地地貌单元属长江漫滩。土质条件如下:

①₁ 杂填土: 灰褐色, 松散, 为粉质粘土混大量碎砖、碎石填积, 填龄不足 5 年。场地东部部分地段为近期堆填的建筑垃圾。

①₂ 素填土: 灰色—灰黄色, 可塑—软塑, 由粉质粘土混少量碎砖填积, 填龄不一, 填塘处该层填龄不足 2 年, 其余地段大于 10 年。层底埋深 0.0~3.6 m。

①_{2a} 淤泥质填土: 灰色—灰黑色, 流塑, 含腐植

物, 夹少量碎砖、碎石, 有腐臭味, 分布于场地填塘范围。层底埋深 1.8~2.0 m。

②₁ 粉质粘土、粘土: 灰黄色, 软塑—可塑。干强度中等偏高。层底埋深 0.7~4.0 m。

②₂ 粉质粘土、淤泥质粉质粘土: 灰色, 流塑, 局部软塑。干强度中等。层底埋深 1.5~4.7 m。

②₃ 淤泥质粉质粘土: 灰色, 软塑—流塑, 夹薄层粉土, 具水平层理。有轻微摇振出水反应, 干强度中等偏低。层底埋深 10.0~16.8 m。

②₄ 粉细砂: 灰色, 中密, 含云母碎片, 局部含少量腐木, 夹薄层粉质粘土, 具水平层理。层底埋深 18.5~34.2 m。

②_{4a} 淤泥质粉质粘土: 灰色, 流塑。夹薄层粉土, 具水平层理。干强度中等偏低。呈透镜体状分布于②₄ 层中。层底埋深 19.5~33.0 m。

②₅ 粉细砂: 灰色, 密实, 含云母碎片, 具水平层理。该层深度 45 m 以浅范围内大部分地段夹有 0.1~0.3 m 厚薄层软塑—流塑粉质粘土。层底埋深 32.5~41.0 m。

本次围护设计所采用的土层主要物理力学性质见表 1。

表 1 土层物理力学性质表

层号	土层名称	层厚 / m	液性指数 I _L	塑性指数 I _P	含水量 w / %	孔隙比 e	重度 γ / (kN · m ⁻³)	内摩擦角 φ / (°)	粘聚力 c / kPa
① ₂	杂填土	0.2~3.0	0.81	17.2	35.8	1.081	18.1	12.5	16.2
① _{2a}	淤泥质填土	1.5~2.6	1.01	16.0	39.2	1.254	16.8	15.6	11.8
② ₁	粉质粘土	0.0~2.6	0.65	17.5	32.3	0.913	18.9	13.3	16.6
② ₂	淤泥质粉质粘土	6.3~13.8	1.16	14.9	37.6	1.071	18.1	17.8	12.1
② ₃	淤泥质粉质粘土	5.4~25.6	1.18	13.8	35.7	1.059	18.0	18.5	12.2
② ₄	粉细砂	0.0~20.2			30.4	0.919	18.3	31.4	8.4
② _{4a}	淤泥质粉质粘土	0.5~4.3	1.38	12.1	36.2	1.076	17.8	24.2	10.0
② ₅	粉细砂	13.2~21.6			29.9	0.912	18.3	31.7	8.3

1.3 水文地质概况

地下水的物理特征绝大部分属于潜水性, 场地含水层为中上部①层填土、②₁、②₂ 和②₃ 层粘性土和下部②₄、②₅ 层砂性土, 潜水稳定水位埋深在地面以下 0.7~2.6 m, 地下水主要接受大气降水的人渗补给, 以垂直蒸发和径流方式排泄, 和附近地表水呈互补关系。水位受季节性变化影响, 年变化幅度在 1.0 m 左右。承压含水层水头埋深在地面下 1.55~2.10 m。地表水、地下水和水位以上土层对混凝土具微腐蚀性, 对混凝土结构中钢筋具微腐蚀性。

1.4 基坑围护型式

根据工程、水文地质及基坑开挖深度, 综合周边环境条件, 本基坑采用钻孔灌注桩, 外侧采用双轴水泥土搅拌桩作为止水帷幕, 竖向采用二道圆环混

土内支撑的围护形式。支护桩、止水桩及内支撑的位置关系见图 1。

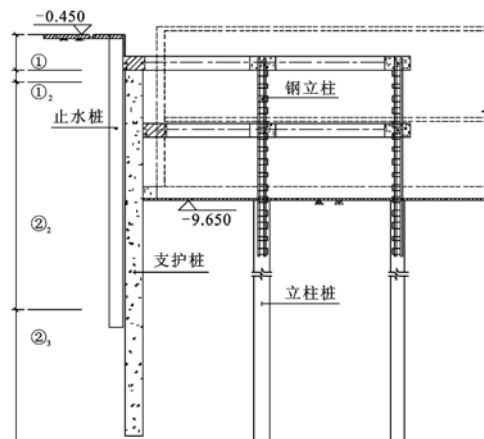


图 1 围护结构剖面图

2 圆环支撑工程应用

2.1 圆环内支撑的特点

圆环支撑形式适用于超大面积的深基坑工程,以及多种平面形式的基坑,特别适用于圆形、方形、多边形基坑^[2]。采用圆环内支撑形式,改变了常规的对撑结合角撑结构方式,以水平受压为主的圆环内支撑结构体系,充分发挥混凝土材料的受压特性,具有刚度大和变形小的特点^[3],对保护保基础施工、周边临近建筑及地下管网等公共设施的安全起到很好的作用。

采用圆环内支撑结构,基坑中无支撑面积达到2/3左右,为土方挖运机械化施工提供了良好的多点作业条件,环内无支撑区域按周围环境条件与基坑尺寸大小,采取多种开挖形式,挖土速度成倍提高,极大地缩短了深基坑的挖土工期,同时有利于基坑变形的时效控制^[4-5]。

采用圆环内支撑结构,与各类支撑结构相比节省

大量钢材和水泥,单位土方开挖费较其它支撑相比有较大幅度地下降,施工费用节约可观,经济效益显著。

2.2 圆环支撑设计

本工程基坑土方开挖量约55万m³,由于土方量大,施工机械多,施工作业交叉复杂,土方开挖需采取分层、分块立体和平面交叉的方式。因此,必须选用合适的内支撑型式,方可方便土方挖运,缩短工期,节省成本。

综合以上问题,并根据相关资料以及新闻报道,目前世界上已成功实施的天津117大厦基坑工程^[6],其圆环内支撑内环直径为188.00m,外环直径为210.00m;上海绿洲中环中心深基坑^[7-8],该工程圆环内支撑为176.20m,外环直径为195.20m。本工程借鉴以往工程成功的经验,首次采用内环直径202.00m,最外环直径236.00m的特大型圆环内支撑。各类支撑详细的截面尺寸见表2。

表2 支撑截面尺寸

层数	压顶梁/围檩	内圆环	外圆环	半圆环	径向支撑	角支撑	联系杆件
第一道	1 200×800	1 800×1 000	1 500×1 000	1 200×900	900×800	900×800	800×800
第二道	1 400×800	2 000×1 000	1 600×1 000	1 300×900	900×800	900×800	800×800

本工程土方开挖量巨大,因此在首道支撑,两圆环之间设计施工栈桥,方便挖土及地下结构实施阶段大量施工机械完成土方和施工材料的垂直、水平运输,形成土方开挖时的行车道及后期地下结构施工期间的泵车行车道以及堆放材料的场地,圆环支撑平面布置见图2,其中阴影区为栈桥区域。

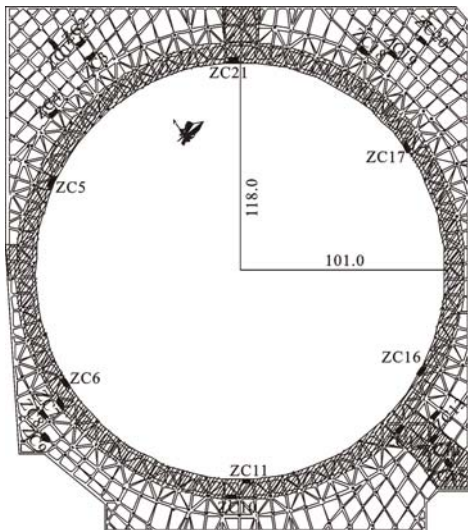


图2 圆环支撑平面布置图(单位:m)

2.3 圆环支撑受力与计算分析

圆环支撑受到径向杆件传来的土压力,同时作为栈桥承受上部渣土车、挖机及泵车等竖向荷载。圆环

支撑受力情况大致为,轴向压力和两个方向上的偏心弯矩。其计算过程可根据正截面承载力计算基本假定,按照双向偏心压弯杆件,进行正截面承载力计算。设计计算过程中采用有限元,对不同工况下,环形支撑内力进行复核计算,求得其变形规律和最不利受力点,对受力较大处进行局部加强。环形支撑梁配筋设计时,把钢筋混凝土双向偏心受压矩形截面配筋设计转化为单向偏心压弯矩形截面分别进行计算。

$$\eta e_i > (e_{ib})_{\min} \text{ (大偏心)} \quad (1)$$

$$\eta e_i \leq (e_{ib})_{\min} \text{ (小偏心)} \quad (2)$$

在实际工程设计时,根据式(1)和式(2)进行偏心判断,确定了偏心类型后,按照现有混凝土结构设计相关规范进行计算。

$$e_i = e_0 + e_a \quad (3)$$

$$\eta = 1 + \frac{1}{1400 e_i / h_0} \left(\frac{l_0}{h} \right)^2 \zeta_1 \zeta_2 \quad (4)$$

式中: e_i 、 e_0 、 e_a 分别为初始偏心距、附加偏心距、荷载偏心距; η 为偏心距增大系数。

3 关键节点设计与分析

3.1 圆环支撑下竖向承重体系

内支撑竖向支承系统立柱一般可采用角钢格构式钢柱、H型钢柱或钢管柱以及预制桩等,立柱桩常采用灌注桩,也可采用钢管桩以及预

制桩。

本工程圆环体积较大,且兼做栈桥使用,要求立柱及立柱桩既保证水平支撑的纵向稳定,加强支撑体系的空间刚度和承受水平支撑传来的竖向荷载,又要具有较好的自身刚度和较小垂直位移。因此,本工程基坑中圆环支撑立柱采用角钢格构柱,立柱桩采用钻孔灌注桩。

本次设计时考虑到支撑系统平面内转动失稳的问题,圆环下立柱桩桩端进入强风化岩石不小于 3.0 m,从而减小其发生平面内转动的可能性,同时设计过程采用有限元数值复核计算分析,结果表明不会发生该种情形。环形支撑体系只要水平支撑失稳问题解决得好,安全度便具有保障性。圆环形内支撑实景图见图 3。



图 3 圆环内支撑实景图

3.2 钢立柱与支撑圆环梁的连接

本工程第一道圆环支撑结构梁兼做施工阶段的栈桥梁,因此竖向支承系统必须采用可靠的连接来承受支撑结构梁板自重和大量施工荷载(包括大型挖机、运输车辆及堆载)。角钢格构柱由四肢 L200×18 等肢角钢四面焊接钢缀板构成,下部插入钻孔灌注立柱桩中,顶部与圆环梁整体浇筑连接。

钢格构柱与圆环梁连接节点详图见图 4。立柱与圆环梁连接的节点处于压、弯、剪复合受力状态,受力复杂,通过设置加强抗剪钢筋以及增设钢牛腿来平衡和分散各种力。为保证竖向支承系统的可靠性,在圆环梁底部,格构柱上设置钢托板,施工时焊接在格构柱上。

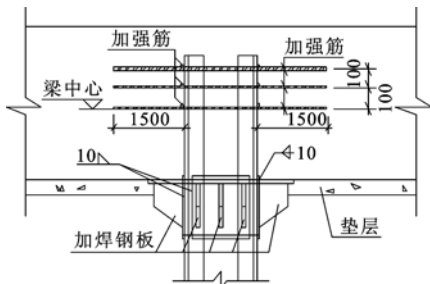


图 4 角钢格构柱与圆环梁连接图(单位:mm)

3.3 立柱偏离节点中心的处理措施

因工程桩、地下小型承台、地梁、结构梁、柱子以及剪力墙等构件的影响,经常遇到立柱偏离支撑节点中心的情况,设计中采用悬挑结构形式将支撑梁与立柱连接在一起。对于圆环梁悬挑结构,受力存在一定的不确定性,因此,悬挑结构在整个支撑体系中较特殊,一旦出现质量问题,将对整个基坑构成极大的安全隐患。

基于悬挑梁在结构中的重要性以及工作状况的复杂性,要求施工必须规范合理,且应注意保证结构具有足够的安全度。施工时应严格按标准执行,确保达到设计的要求。立柱偏离节点中心的悬挑结构具体实施方法见图 5。

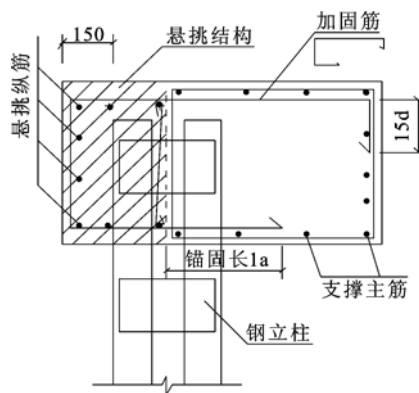


图 5 立柱偏离节点中心的悬挑结构

4 实测结果分析

本基坑工程基础底板垫层已经浇筑完毕。基坑施工以及开挖实施全过程对基坑位移、支撑轴力等各项内容进行了全方位的监测与监控。最近一期监测结果表明:基坑四周最大水平位移约为 16.44 mm。基坑工程整个实施过程中均处于可控、安全的状态。图 2 标出了内支撑轴力的测试点,其中第二道支撑测试位置与第一道支撑在同一竖向平面内,具体的支撑轴力测量成果详见表 3、表 4。

表 3 第一道支撑轴力测量成果表

测点	轴力/kN	测点	轴力/kN	测点	轴力/kN
ZC1	1 021.37	ZC8	7 110.31	ZC15	1 422.38
ZC2	1 222.00	ZC9	5 909.94	ZC16	6 532.05
ZC3	3 064.51	ZC10	4 225.27	ZC17	7 643.01
ZC4	2 934.27	ZC11	2 704.15	ZC18	3 022.99
ZC5	4 768.33	ZC12	2 604.05	ZC19	3 396.02
ZC6	7 840.43	ZC13	3 412.02	ZC20	4 477.46
ZC7	7 249.98	ZC14	2 804.42	ZC21	

(下转第 28 页)

参 考 文 献

- [1] 彭雪妍,肖浴,张敏,等.垃圾渗滤液生物处理工艺研究进展[J].安全与环境工程,2010,17(6):18-21.
- [2] ライト工業株式会社. ECウォール工法(環境配慮型遮水壁工法). NETIS 登录技术, 2005.
- [3] ライト工業株式会社. ECウォール工法(エコクレイ

ウォール工法). 財団法人土木研究中心建設技術審査証明, 2007.

- [4] 池田,幸一郎. 環境負荷低減遮水壁工法の実用化—EC(エコクレイ)ウォール工法[S]. 平成20年度中国地方建設技術開発交流会(広島県会場), 2008.

收稿日期:2012-09-14

(上接第20页)

第一道内支撑设计轴力报警值分别为:径向支撑4400 kN、角支撑4500 kN、内环支撑9900 kN及外环支撑8900 kN。表3表明,各支撑实测轴力均小于设计报警值。内支撑受力性态基本与计算结果相近。

表4 第二道支撑轴力测量成果表

测点	轴力/kN	测点	轴力/kN	测点	轴力/kN
ZC2-1	2704.36	ZC2-8	1168.05	ZC2-15	3824.38
ZC2-2	3049.57	ZC2-9	1204.15	ZC2-16	5307.79
ZC2-3	3666.96	ZC2-10	1984.65	ZC2-17	4286.06
ZC2-4	2267.73	ZC2-11	4014.61	ZC2-18	7048.45
ZC2-5		ZC2-12	6546.42	ZC2-19	3461.58
ZC2-6	1493.02	ZC2-13	5993.42	ZC2-20	3582.41
ZC2-7	2702.86	ZC2-14	3635.87	ZC2-21	

第二道内支撑设计轴力报警值分别为:径向支撑4500 kN、角支撑7700 kN、内环支撑16000 kN及外环支撑11000 kN。表4表明,各支撑实测轴力均小于设计报警值,内支撑受力性态大小规律与计算结果相似,但是实测轴力比计算值小很多。这与目前内支撑轴力计算方式以及现场实际测试方法有关。

5 结 论

本工程为目前国内软土地基中采用最大圆环形内支撑的建筑基坑之一,且基坑周边环境情况较为复杂,但实施结果表明,圆环钢筋混凝土内支撑体系受力较好、整体刚度好、坑内无支撑空间大,可有效地

避让主体结构,保证主体结构施工进度,同时对保护基坑周边环境起到良好的效果。

该工程成功实施,表明超大混凝土圆环形内支撑应用于类似南京地区的软土地基超大深基坑围护是一种安全的、合理的方案。

参 考 文 献

- [1] 刘国斌,王卫东. 基坑工程手册(第二版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009:21-25.
- [2] 龚昕,丁文其,赖允瑾,等. 双圆环形支撑体系在基坑工程中的应用[J]. 地下空间与工程学报,2010,6(1):179-183.
- [3] 刘有才,董利华,裘宝华. 大型钢筋混凝土圆环桁架支撑系统应用研究[J]. 施工技术,2006,35(6):66-68.
- [4] 秦立标,陈永康. 深基坑圆环形支撑施工技术运用[J]. 建筑施工,2007,29(9):677-679.
- [5] 余永志,沈国祥,朱良锋. 某大剧院深基坑工程设计与施工[J]. 施工技术,2006,35(11):27-29.
- [6] 湖北频道. 世界最大的环形内支撑基坑“中建三局造”[OL]. 湖北:人民网,2011-11-14.
- [7] 李象范,尹骥,刘有才,等. 超大深基坑钢筋混凝土圆环桁架内支撑设计[J]. 施工技术,2006,35(6):69-72.
- [8] 尹骥,管飞,李象范,等. 直径210m超大圆环支撑基坑设计分析[J]. 岩土工程学报,2006,28(S1):1596-1599.

收稿日期:2012-10-09