

超深复杂基坑共用超重地下连续墙钢筋笼分节分笼吊装技术

段亚可

中铁十五局集团城市建设工程有限公司

DOI:10.12238/btr.v8i2.4628

[摘要] 南京江北地下空间是全国最大的单体地下空间项目,以某基坑地下连续墙的钢筋笼为论述对象,研究超重地下连续墙钢筋笼分节分笼吊装技术,其净重可达141t,为了使之能够实现超深分节分笼吊装,提出以一台履带式起重机作为主吊、一台履带式起重机配合吊装、纵向分笼横向分节的工艺。通过合理设置钢筋笼断开位置、吊点、起吊顺序,利用起重机钢筋混凝土重载路、顺利高效地完成了141t地下连续墙钢筋笼的吊装,创造了特殊的异形槽段四次钢筋笼起吊的记录,具有明显的经济、社会效益。

[关键词] 地下连续墙钢筋笼; 吊装; 施工技术

中图分类号: TV52 文献标识码: A

Super-deep complex foundation pit sharing heavy underground continuous wall steel cage segmental cage lifting technology

Yake Duan

China Railway 15th Bureau Group Urban Construction Engineering Co.

[Abstract] The underground space in the north of Nanjing is the largest single underground space project in China. Taking the steel cage of a certain foundation pit's underground continuous wall as the object of discussion, this paper studies the hoisting technology of the super-heavy underground continuous wall steel cage in sections and cages. The net weight of the steel cage can reach 141 tons. In order to achieve the super-deep hoisting of the steel cage in sections and cages, a process is proposed in which one crawler crane serves as the main hoist, another crawler crane assists in the hoisting, and the steel cage is divided longitudinally and the sections are divided transversely. Through the reasonable setting of the steel cage breaking position, lifting points, and hoisting sequence, and by using the heavy-load road of the crane's reinforced concrete foundation, the hoisting of the 141-ton underground continuous wall steel cage was completed smoothly and efficiently, setting a record of four hoisting operations of the steel cage in special-shaped slot sections. This has obvious economic and social benefits.

[Key words] underground diaphragm wall steel cage; lifting; construction technology

引言

随着我国城市化进程的加速发展,城市轨道交通建设需求日益高涨^[1]。地铁两线交叉换乘站或多线换乘枢纽越来越多^[2]。地下连续墙结构广泛应用于地下空间工程支护^[3]。一般来说,对于深度超过50m的地连墙定义为超深地连墙^[4]。地下连续墙超重钢筋笼的吊放是本阶段施工控制的难点重点^[5]。钢筋笼吊装属危大工程^[6]。对此地连墙钢筋笼进行吊装的施工之际,因为作业现场存在一定制约,导致很难采用吊装方式将此笼一次入槽,而只能在受限空间内进行分步、多次起落转移。本工程交叉工作面多,在地连墙施工过程中需克服钢筋笼吊装困难^[7]。地连墙的异形槽段形状一般有L形、Z字形、T字形等复杂的形状,以适

应地铁车站不同功能。

本次研究立足于南京江北地下空间工程,以钢筋混凝土地下连续墙的钢筋笼吊装特性作为基础,借助于受力安全计算分析此笼的起吊受力特性,并给出安全起吊的技术参数,从而为相似类似的工程带来一定的参考。

1 工程概况

南京江北新区地下空间项目在中国范围内目前是最大规模的单体地下空间项目。具体处于南京江北新区核心区,总用地面积约23.8公顷。某地块地下连续墙钢筋笼重141t、笼长71m、笼厚度1.06m、笼宽7.3m,接头采用目前应用最广泛的H型钢接头^[8]。钢筋笼配筋图详见图1,纵向分笼横向分节分4次起吊。

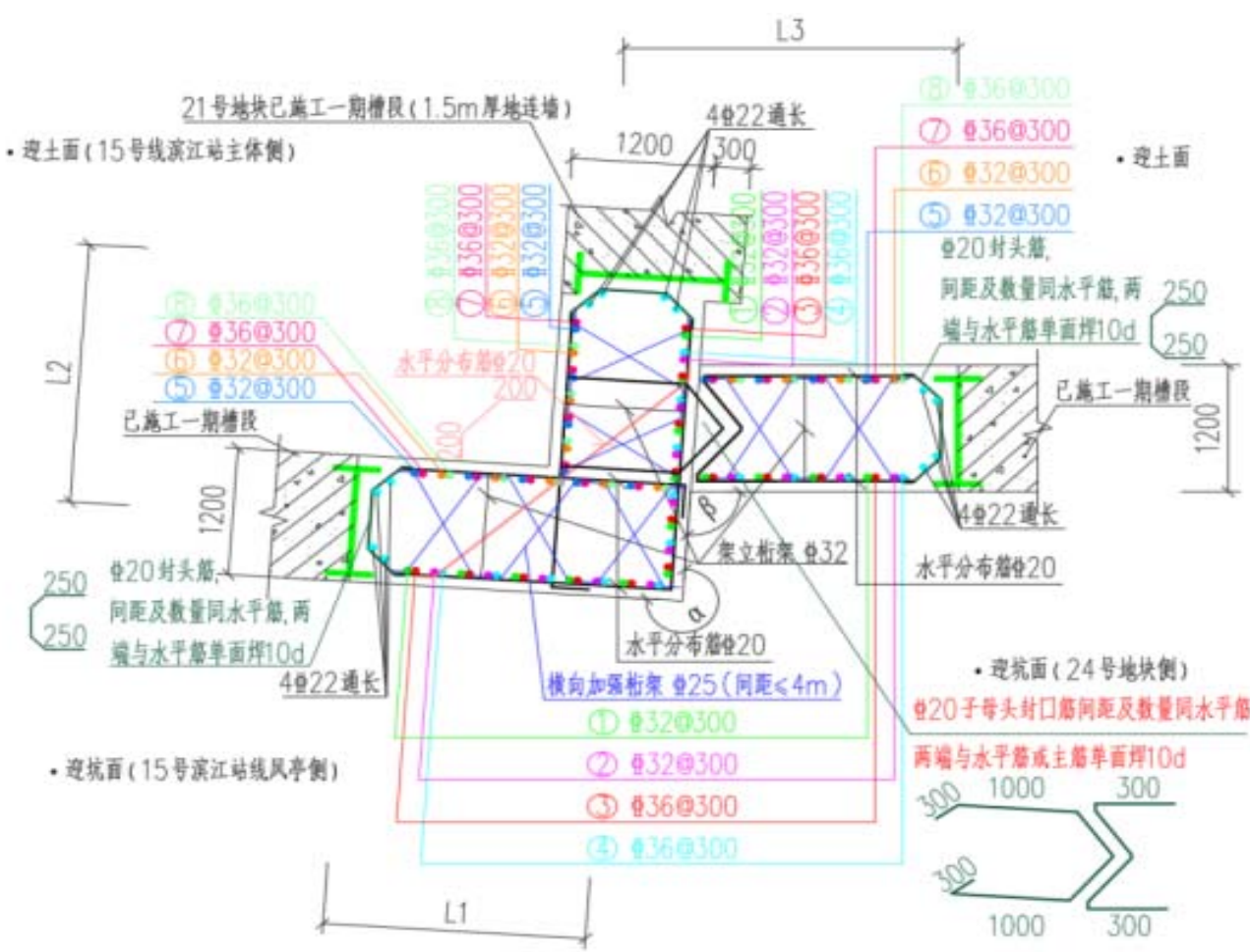


图1 钢筋笼配筋详图

此笼的加工平台为：在具体加工过程中,往往同时制作四节钢筋笼,并对其进行拼装,检查迎土面、背土面方向后,两台不同规格的履带吊在通过起吊特定的吊点,起吊至规定位置。

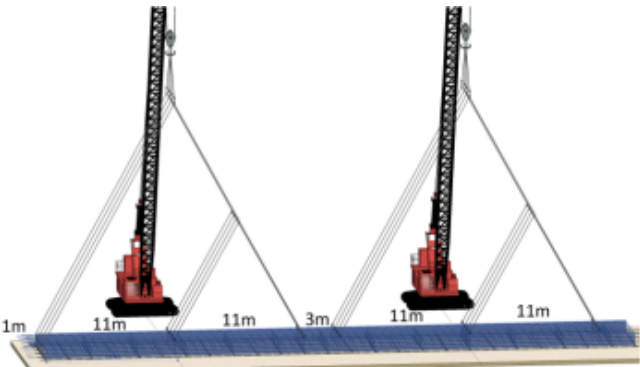


图2 双机抬吊示意及实物图

在超深基坑的围护结构方面,钢筋混凝土地连墙的应用度很高,尤其是复杂共用基坑群,为保证后续开挖顺利,易出现一些为保证后续基坑顺利开挖而产生的复杂异型地下连续墙,该

类地下连续墙一般由异形幅与一字幅共同组成,某基坑一墙双用,不同时期开挖的两个基坑共同的需求产生了L型异形幅+一字幅的复杂地下连续墙异形幅,对应钢筋混凝土墙连墙构成为:4个钢筋笼,4次起吊后灌注成墙,对于起吊技术有了更高要求,以达到最快时间内灌注,保证基坑安全。经过多次调查与分析,提出以SCC4500型履带吊为主吊、SCC2600型履带吊为副吊,纵向分节横向分笼,可以实现对这种超重钢筋笼的吊装,真正的做到快速高效。

2 施工难点

在施工过程中,超深地下连续墙需要得到极高垂直度支持,同时成槽深度也颇高,要求极为严格。在对连续墙进行双机抬吊之际,通常使用履带式起重机,此时需要克服设备高度高、质量大、履带吊多动作组合起吊;此钢筋笼的起吊精度,同样有着严格要求,保证重心、垂直度。

3 施工流程

在钢筋笼制作过程中,应严格按照相关施工流程,有效控制施工质量。对此钢筋笼进行纵向分笼纵向分节吊装之际,需要采用8个步骤才能完成,①钢筋笼吊装设计;②地下连续墙钢筋笼加工制作;③履带吊双机平台起吊;④倾斜提升钢筋笼;⑤副吊卸除卸扣;⑥履带吊水平行走运输;⑦钢筋笼平稳入槽;⑧搁置穿杠固定。其中钢筋笼的设计是整个起吊的关键点。

4 钢筋笼吊装设计

由于钢筋笼自重较大、长度较长,根据经验拟采取双机抬吊的方式起吊。施工采用分横向分笼、纵向分节4次起吊方式进行吊装,对于此连续墙来说,其最不利节钢筋笼长度可达50m,分节钢筋笼最大起吊重量为88.8t,全钢筋笼最大重量141t,主吊采用450t履带式吊机,副吊采用260t履带式吊机。主吊索具、扁担、卸扣重量为5t;副吊索具、扁担、卸扣重量为5t。

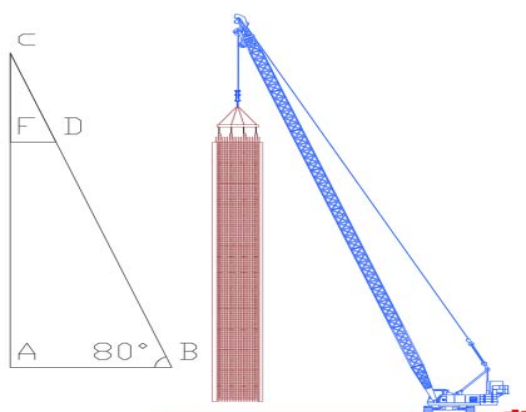


图3 起吊碰撞示意图

最重L型钢筋笼,宽5.1m,钢筋笼长度70.25m,钢筋笼自身重量为109吨。在分阶段吊装之际,最先吊装的部分为下节,其重可达20.20吨,幅宽、长度分别为5.10m与20.25m;其次对上节进行吊装,其重、宽、长,分别为88.8吨、5.10m与50m,至槽口,将上、

下两节进行对接,最后在整体下置。后采用同样方法起吊一字型钢筋笼。

4.1 吊车配置

计划选用双履带式起重机抬吊方式进行吊装作业^[9]。保证钢筋笼吊起后不碰撞主起重机臂架,确定起重机臂长及吨位^[10]。以上节笼长50m+起吊离地2m进行配置吊车,吊起后钢筋笼旋转需避开履带吊主臂,一般情况,钢筋笼需要在DF线以下,此笼半宽为3.0m,为此,取DF=3.25m,详见图3起吊碰撞示意图。

$FC=DF \cdot \tan 80^\circ = 3.25m \cdot 5.6713 = 18.43m$ 。在对主吊机垂直高度(鹅头至地面)进行计算时,既要考虑钢筋笼尺寸、重量、仰角,又要确保此笼被吊起后,可以实现180度旋转,同时不会碰到主吊架。通常此仰角为80度,满足AB距离大于等于3.25m的条件。

主吊主臂长度 $L=(H+FC)/\sin \alpha = (52+18.43)/\sin 80^\circ = 71.52m$,选择72m主臂满足要求。

4.2 吊点设置

4.2.1 钢筋笼纵向吊点设置

若是吊点的位置计算不够合适与精准,就容易导致钢筋笼出现不符合规定的挠曲变形,甚至破坏整体架构,焊缝也会出现开裂现象,难以起吊。为此,精准明确吊点位置就成为吊装工艺的关键一环,现作以下阐述:

参照弯矩平衡定律能够知晓,当钢筋笼的负、正弯矩一致,此时变形最小,据此就能进行后续计算,纵向吊点弯矩计算图见图4:

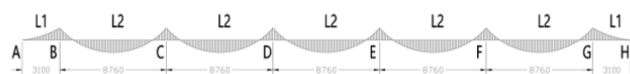


图4 纵向吊点弯矩计算图

$$+M = -M$$

$$+M = \frac{1}{2} \times q \times L_1^2; -M = \frac{1}{8} \times q \times L_2^2 - \frac{1}{2} \times q \times L_1^2$$

$$\text{故: } L_2 = 2\sqrt{2}L_1$$

又因上部钢筋笼分节长度50m

$$2 \times L_1 + 5 \times L_2 = 50$$

$$\text{故: } L_1 = 3.10m, L_2 = 8.76m$$

所以,此时选择的起吊点,从B至G(顺序),能够在起吊时,实现最小弯矩。另外,基于吊装实情,将B点逐步朝着A点移动,使得两点重合(移动距离为2.10m)。在具体吊装之际,主吊点位置为D、C、B,副吊点位置为D、E、F,在实际起吊过程中主、两台履带吊由于起吊人员配合的影响,无法做到完全同时起吊,导致DE段容易发生变形,在实际施工时将吊点进行适当平移调整,主吊靠近端部的点移向钢筋笼头,笼头锚入冠梁的钢筋只有主筋,无

法设置吊点故第一个吊点设置在1m处, D、E两点向中间靠拢, 吊点距离分别为1m、11m、11m、3m、11m、11m、2m。吊点设置为笼顶下1m+12m+23m+26m+37m+48m。

4.2.2 钢筋笼横向吊点设置

为保证钢筋笼的起吊安全, 地连墙钢筋笼横向(宽度)吊点设置2到4点, 在横截面之上, 钢筋重心位置将会对吊点产生明显作用, 一般而言, 这些吊点需要采用对称方式, 在起吊桁架上设置, 遵循的原则为: 宽度方向弯矩最小。

钢筋笼的(一字型)重心处于中心位置, 从横向层面来看, 荷载具有均匀性, 此时只需负、正弯矩达到平衡。令均布荷载为 q , 由于下节笼与上节笼宽度相同, 以6m标准幅进行计算。起吊时钢筋笼受力简图和横向弯矩见图5横向吊点弯矩计算图。

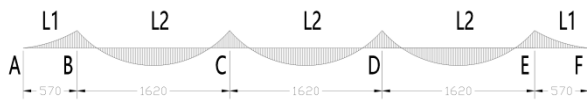


图5 横向吊点弯矩计算图

根据弯矩的平衡定律, 此笼的负、正弯矩一致相等时, 其变形值最小, 于是可进行下面计算:

$$+M = -M$$

$$+M = \frac{1}{2} \times q \times L_1^2; -M = \frac{1}{8} \times q \times L_2^2 - \frac{1}{2} \times q \times L_1^2$$

其中: q - 均布荷载; M - 弯矩

$$\text{故: } L_2 = 2\sqrt{2}L_1; 2 \times L_1 + 3 \times L_2 = 6$$

$$\text{解上述方程得: } L_1 = 0.57; L_2 = 1.62$$

参考设计图纸幅宽设置, 在实际施工之际, 还需要按照实情加以相应优化。底节笼因需与上节笼完全对齐拼接, 同上节笼横向吊点布置。计算可得: 上、下部钢筋笼横向吊点可按照0.57+1.62+1.62+1.62+0.57设置。

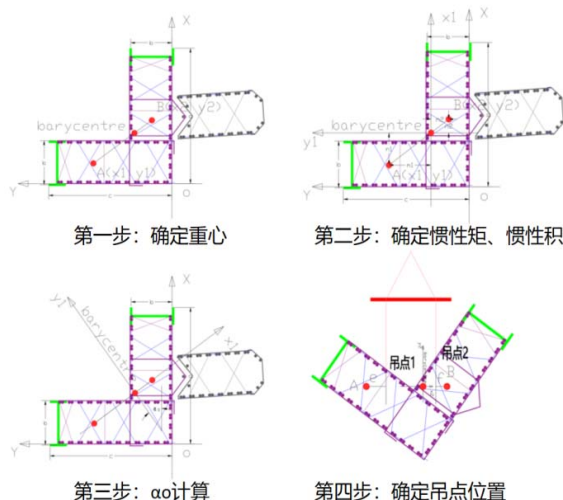


图6 转角幅L形计算流程简图

4.2.3 转角幅L形计算

对于此槽段(L型)来说, 可以遵循下面计算过程, 对吊点进行布置。基于此笼的尺寸、断面形式, 对其横向重心位置进行计算。此笼(L型)的计算模型, 可以细分成A、B两个模块, 详见图6转角幅L形计算流程简图。这两个模块的重心坐标, 分别表示, 此笼的重心坐标则是 (x_c, y_c) 。

假设: 此笼横断面(S)质量的分布具有均匀性, 其L型两边长、笼厚, 依次使用 a 和 c 、 b 表示。

此笼的A、B部分、总面积, 分别为 $a*b$ 、 $(c-b)*b$ 与 S ;

第一步: 算出此笼横断面分别对X与Y轴的静矩:

$$M_x = \sum S_i y_i = S_A * y_1 + S_B * y_2$$

$$M_y = \sum S_i x_i = S_A * x_1 + S_B * x_2$$

则钢筋笼横断面重心为:

$$y_0 = \frac{M_x}{S} = \frac{c^2 - b^2 + ab}{2(a + c - b)}$$

$$x_0 = \frac{M_y}{S} = \frac{a^2 - b^2 + bc}{2(a + c - b)}$$

第二步: 计算惯性矩和惯性积进行;

$$I_{x1} = I_{xB} + S_B * m_2^2 + I_{xA} + S_A * m_1^2$$

$$I_{y1} = I_{yB} + S_B * n_2^2 + I_{yA} + S_A * n_1^2$$

$$I_{x1y1} = I_{xyA} + S_A * m_1 n_1 + I_{xyB} + S_B * m_2 n_2$$

第三步: 计算形心主轴方向。

$$\alpha_0 = \frac{1}{2} \arctan \frac{-2I_{x1y1}}{I_{x1} - I_{y1}}$$

第四步: 因为此钢筋笼呈现出异形, 此时, 在吊起此笼横向两点时, 需要参考结构力学中的平衡原理, 于是就可以知晓:

①此钢筋笼的笼断面重心处于钢筋笼吊点之间的位置;

②处于吊点之外的此笼部位, 相较于吊点最大弯矩需要保持左右一致。对钢筋笼吊点位置进行分析, 其中A、B两个模块, 分别对吊点1、2的最大弯矩, 需要尽可能保持一致;

③此笼横向最大负、正弯矩基本保持一致, 当然这需要遵循一个前提, 就是此笼的刚度对变形要求可以进行满足; 立足于上述原则以及计算方式, 就能对吊点位置进行明确。

4.3 起吊索具设计

4.3.1 主吊扁担上钢丝绳验算

主吊扁担钢丝绳承重最大值为: 索具自重与此笼对接后重量。

吊重: $Q_1 = Q + G_{主吊} = 109t + 5t = 114t$

钢丝绳直径: 68mm, $[T] = 37.83T$

钢丝绳: $T = Q_1 / (2\sin 60^\circ + 2\sin 45^\circ) = 114 / 3.146 = 36.236t$

$< [T] = 37.83t$, 满足要求。

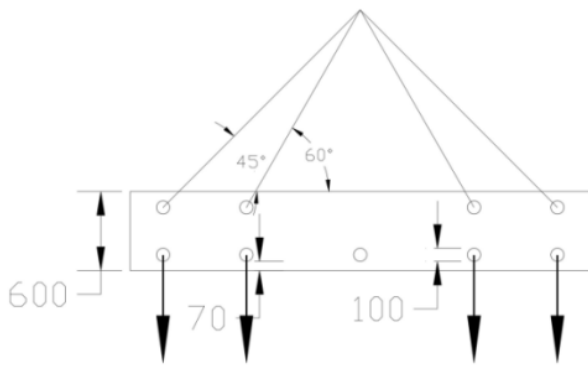


图7 主吊扁担上钢丝绳验算图

4.3.2 主吊扁担下挂钢丝绳验算

此绳承重最大值为: 索具自重与此笼对接后总重。其下挂钢丝绳最少为2道, 最高为4道, 钢筋笼总重量小于钢丝绳容许拉力。

4.3.3 主、副吊扁担验算

这两个扁担使用材质为钢板, 主吊、副吊扁担尺寸为3.5m×0.6m×5cm, 均采用Q235B型号。

① 吊车扁担横向最不利横截面 A_s 验算:

$$A_s = (3500 \times 50 - 5 \times 50 \times 100) \times 10^{-6} = 0.15 \text{ (m}^2\text{)}$$

竖向容许拉伸重量 G :

$$G = F/g = 6A_s/g = 325 \times 106 \times 0.15/9.8 = 4974.49 \text{ (t)}$$

② 扁担的竖向最小横截面:

$$A_s = (50 \times 600 - 100 \times 50 \times 2) \times 10^{-6} = 0.02 \text{ (m}^2\text{)}$$

则竖向截面容许抗剪重量:

$$G = Q/g = \tau A_s/g = 110 \times 10^6 \times 0.02/9.8 = 280.61 \text{ (t)}$$

$$G = F/g = 2.75 \times 10^6/9.8 = 280.612 \text{ (t)}$$

由上分析可知, 此扁担可以承接的最大起吊质量, 约为4974.49t; 若是基于其最小截面对最大剪力的承受加以验算, 那么可以承接的起吊重量, 即为280.61t。

综合上述对比分析, 就能知晓此型号扁担能够支持的最高起吊重量可达280.61t, 而本次工程对钢筋笼的起吊, 其最大重量可达109.0t, 由此可见, 对本次地下连续墙钢筋笼的起吊, 完全可以支持。

5 钢筋笼吊装技术

整个过程为将钢筋笼先竖立起来, 然后吊运至已完成的地下连续墙坑槽内^[11]。钢筋笼的中心线对准槽段的纵向轴线, 之后徐徐下放^[12]。

5.1 平抬起吊

① 两台履带吊就位到预定地点, 安装并检查卸扣。

② 细致检查钢丝绳的安装情况, 断丝率满足要求, 钢丝绳全面承重后再次检查, 此时检查主、副吊钢丝绳, 保证与钢筋笼中心线垂直。合格后进行平吊。

③ 在起吊时, 两台吊车需要同步平稳提升, 当此笼从平台上上提50厘米上下, 需要对吊点周边焊点、此笼平稳度进行全面细致检查。

5.2 倾斜提升

① 当此笼相距底面达到1.0m时, 此时副吊保持稳定, 主吊则进一步上提, 于是就能让此笼呈现出倾斜态。

② 主吊继续上提, 副吊在保障与地面维持合适距离的状态, 逐步朝着主吊进行缓缓移动, 直至将此笼呈现出垂直态。

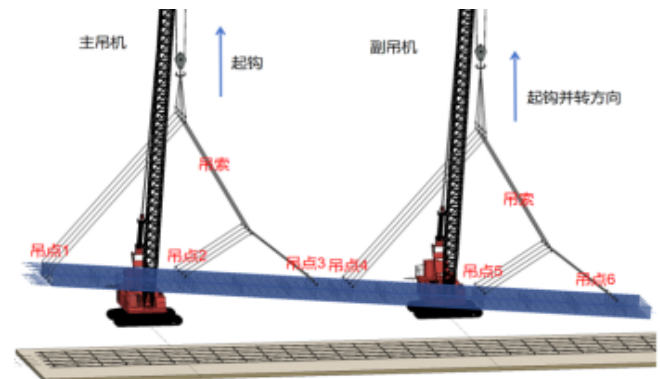


图8 双机倾斜提升示意及实物图

5.3 副吊卸扣卸除

钢筋笼达到垂直状态后静停, 保持300秒, 直至此笼彻底静态化, 随后特殊工种起重工进行吊装指挥, 将副吊机起吊点卸扣进行卸除, 随后远离起吊周边区域。

5.4 钢筋笼水平运输

主吊维持此笼底部不超过20厘米, 并将此笼转移至孔口位置。在此过程中, 需要对此笼的平衡进行科学控制, 不能出现显著摆动问题。此笼下端配置牵引绳, 发挥人力辅助作用, 将其进行适当拖动, 从而确保其稳定。

5.5 钢筋笼下放入槽

钢筋笼分两节四次吊装。首先将下节模块移动至孔口, 在下放之际, 将穿杠进行逐层抽离, 并脱卸索具。此时钢筋笼需要与槽中心垂直, 并缓慢下放, 不能强力下压, 若是出现阻碍, 就需要再次吊起, 在适当处理之后, 再次进行下放。当笼头吊筋处于设计标高位置, 主吊不再下吊, 随后, 借助于搁置扁担(双拼钢板制作)将完整钢筋笼引入导墙之上, 随后将主吊卸扣脱离, 吊装作业至此完成。

6 结论

通过对超深复杂基坑共用超重地下连续墙钢筋笼分节分笼吊装技术的研究总结,保证了南京江北地下空间二期项目围护结构的整体性、安全性。通过钢筋笼吊装设计、钢筋笼加工保证钢筋笼吊装过程的安全可靠性,同时也提升了本次施工质量,为主体结构施工带来了良好的条件支持。

最终超深复杂基坑共用超重地下连续墙钢筋笼分节分笼吊装圆满完成,为后续地下连续墙的施工提供了很多宝贵的过程资料和理论数据。

[基金项目]

南京江北新区超深超大地下空间安全施工关键技术研究项目(合同编号)[2022-B24]。

[参考文献]

[1]赵立锋,郭伟,胡适韬.盾构穿越既有车站结构地下连续墙施工关键技术研究[J].现代隧道技术,2024,61(S1):996-1001.
[2]张淑朝,牛磊.复杂富水地质条件下超深地下连续墙施工技术[J].建筑技术,2023,54(3):274-277.
[3]王松.地下连续墙钢筋笼起重吊装施工技术研究[J].中国设备工程,2023(23):188-190.
[4]王远,樊飞,常锁,等.综合交通枢纽基坑地下连续墙钢筋笼吊装施工技术[J].建筑技术,2022,53(9):1221-1223.

[5]倪登云,谢立忠,勾文亮,等.厚砂层超深地下连续墙施工技术[J].建筑技术,2022,53(6):646-648.

[6]徐厚庆,袁梦星.地下连续墙钢筋笼吊装设计与施工关键技术研究[J].施工技术,2019,48(24):81-84.

[7]张国永,孙浩林,刘永林,等.超深地下连续墙新旧搭接施工技术[J].铁道建筑技术,2023(9):170-174.

[8]张艳雷.高水压超深超厚地下连续墙接头选型研究[J].铁道建筑技术,2024(12):93-95,101.

[9]何洋,胡海杰,梁义龙.地下连续墙异形钢筋笼起重吊装的力学计算及机械选型[J].建筑技术,2022,53(9):1155-1158.

[10]刘晓敏,王岁军,冯伟,等.复杂地质条件下紧邻城轨隧道超深地下连续墙施工技术研究[J].施工技术,2021,50(1):83-86.

[11]龚彪,赵世才,唐绍勇,等.70 t超长地下连续墙钢筋笼加工及吊装施工技术[J].建筑技术,2022,53(6):682-685.

[12]崔泽旺,祁新建,宋富铎.软土地基中地下连续墙施工[J].武汉大学学报(工学版),2009,42(S1):380-383.

作者简介:

段亚可(1997--),男,汉族,河南省洛阳市人,本科,工程师,从事轨道交通、地下空间施工技术管理工作。