

深基坑地下连续墙钢筋笼吊装施工技术

沈烨锴¹, 方 泉²

¹绍兴轨道交通集团有限公司, 浙江 绍兴

²中国水利水电第四工程局有限公司, 青海 西宁

收稿日期: 2025年5月21日; 录用日期: 2025年7月10日; 发布日期: 2025年7月22日

摘 要

地连墙钢筋笼吊装入槽工序是地连墙施工的关键步骤, 直接影响地连墙质量。以某软土地区地铁车站深基坑工程为例, 介绍了深基坑地连墙钢筋笼整体吊装施工技术以及需要注意的技术要点。对吊点布置、异形幅钢筋笼加固、吊装施工过程进行论述, 相关技术可为相似工程提供参考。

关键词

地下连续墙, 钢筋笼, 吊装点位

Hoisting Technology of Steel Cage for Diaphragm Walls of Deep Foundation Pits

Yekai Shen¹, Xiao Fang²

¹Shaoxing Rail Transit Group Co., Ltd., Shaoxing Zhejiang

²Sinohydro Engineering Bureau 4 Co., Ltd., Xining Qinghai

Received: May 21st, 2025; accepted: Jul. 10th, 2025; published: Jul. 22nd, 2025

Abstract

The hoisting of steel cages is a critical step in diaphragm wall construction, directly impacting the quality of the wall. Taking the deep excavation project of a subway station in a soft soil area as an example, this paper introduces the integral hoisting construction technology for steel cages of diaphragm walls in deep foundation pits and highlights key technical considerations. It elaborates on the layout of hoisting locations, reinforcement measures for irregularly-shaped steel cages, and the hoisting construction process. The presented techniques offer valuable references for similar engineering projects.

文章引用: 沈烨锴, 方泉. 深基坑地下连续墙钢筋笼吊装施工技术[J]. 交通技术, 2025, 14(4): 468-479.

DOI: 10.12677/ojtt.2025.144047

Keywords

Diaphragm Wall, Reinforcement Cage, Hoisting Location

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着经济飞速发展,城市资源流动与人口集聚加速,催生了大规模的建设需求。在城市建设快速推进的浪潮下,高层建筑与城市轨道交通建设项目得以广泛铺开。在此背景下,以地下连续墙作为围护结构的深基坑工程日益增多。地下连续墙具有整体性能好、同时具备阻断渗流、挡水挡沙功能等优点得以在地下工程中广泛应用。随着地下工程建设不断推广,地连墙的深度也不断加深,对施工提出了更高的要求。在地下连续墙施工的过程中,钢筋笼的加工、吊运及入槽施工工序,对工程整体施工质量具有至关重要的影响[1]。在钢筋笼的吊装作业过程中,必须确保其在制作、安放以及吊装翻转的整个流程中,始终保持良好的整体性。这就要求钢筋笼具备足够的强度与刚度,避免因出现严重的不可逆非弹性变形,致使钢筋笼无法顺利入槽,甚至出现结构散架的情况[2]。此外,地下连续墙所使用的钢筋笼不仅建设成本高昂,其吊装作业过程中蕴含的危险程度也相对较高。倘若吊装作业出现失败情况,极有可能引发严重的经济损失。因此,如何解决超深地下连续墙钢筋笼吊装入槽这一难题,始终是工程领域持续深入探索的重点方向[3]。杨宝珠,邵强[3]等以天津市文化中心交通枢纽车站基坑工程为背景,介绍长 55 m 重 88 t 的超长、超重地连墙钢筋笼整体吊装技术,通过建立有限元模型,分析吊点布置,并通过实测挠度与模型计算结果对比分析布置合理性,验证布置纵横向桁架筋的正确性。王远[4]等以星火交通枢纽工程为例,总结超长超重地连墙钢筋笼吊装重其中设备选型、吊装流程、吊点布置、各类主吊点转换的工况、异形幅钢筋笼吊装、钢筋笼加固、玻璃纤维筋钢筋笼吊装等施工方法。徐厚庆[5]等以杭州地铁吴家路站和新兴路站为背景,比选不同吊装系统布置,提出适用不同尺寸钢筋笼的吊装系统的选用方法;总结地连墙钢筋笼吊装起重设备选型的计算工程;总结优化桁架设计的方法;总结提高吊点、搁置点周转效率的方法。王新成[6]等对南京地铁建设过程中长大钢筋笼吊装过程中设备验算、吊点位置验算进行总结;张宏斌[7]对地铁车站地连墙钢筋笼吊装过程中吊点、吊环筋、吊环加强筋进行详细分析验算,强调吊点加强的方法和作用。

本文以某软土地区地铁车站深基坑工程为背景,对地下连续墙钢筋笼吊装设备选型、吊点布置、异形钢筋笼加固吊装、预埋件保护等进行论述,相关经验可为其他工程参考。

2. 工程概况

某软土地区地铁车站为地下两层岛式车站,车站标准段采用单柱双跨箱形框架结构。车站采用明挖浇筑法进行施工,基坑支护体系为地下连续墙 + 内撑联合支护形式;侧墙采用复合墙形式,车站围护结构采用 800 mm 厚地下连续墙。端头井地下连续墙厚 800 mm,深 51 m,其中素墙 10 m。标准段地下连续墙厚 800 mm,深 38 m。车站主体围护结构地下连续墙共划分 60 幅段,包含“L”型幅共计 4 幅,“Z”型幅共计 4 幅,均位于车站东、西端头;包含“一”型幅共计 52 幅,位于车站东、西端头及标准段。地下连续墙采用 C35P8 水下砼浇筑,其中“Z”字型施工时分成 2 个“L”型。本工程地下连续墙钢筋笼设计幅宽最大为 8 米,最大长度为 49.32 米,最大重量为 67.209 t。

所有地连墙钢筋笼中, 重量最重的为 AZ1-AZ4 槽段钢筋笼, 其笼重 77.527 t, 但由于其为“Z”型幅, 现场施工过程将其分为两个“L”形钢筋笼进行加工及吊装。因此, 除“Z”型幅以外, 选取笼长最长为 49.32 m、笼重最重为 67.209 t 的 A2、A3、A9、A10、A6、A13 “一”型幅进行设备选型及负载验算, 其余地连墙 9 钢筋笼重量均小于该“一”字型钢筋笼重量。以 A2、A3、A9、A10、A6、A13 槽段钢筋笼进行设备选型及负载验算, 考虑吊索吊具等, 总重以 $67.209 + 10 = 77.209$ t 计算。

本工程采用整体吊装法将钢筋笼采吊装入槽。
主吊采用履带起重设备额定起重能力 350 吨, 副吊采用履带起重设备额定起重能力 200 吨。在吊放钢筋笼的过程中, 首先进行试吊, 把钢筋笼水平吊升至距离地面 100~20 mm 高度。试吊结束后, 通过在空中对吊索进行收放调控, 调整钢筋笼姿态, 使钢筋笼纵向达到竖直方向。再撤出副吊, 依靠主吊将钢筋笼吊装入槽。

3. 设备选用

3.1. 主吊设备

主吊吊具重 10 t, 考虑主吊吊具, 单幅钢筋笼最大重量为 77.209 T。主吊选用 SCC3500A-6 型 350 t 履带式起重机, 主臂臂长 72 m, 作业半径 18 m, 额定起吊荷载 94.3 t; 作业半径 12.8 m, 额定起吊荷载 135 t, 主要性能见下图 1。吊车臂长 H 在 24~84 m 之间, 吊车主臂的仰角允许范围在 30°~85°之间, 本次吊装吊车最大仰角为半径 12.8 m 时, 此时仰角 81°, 满足要求(见图 2)。

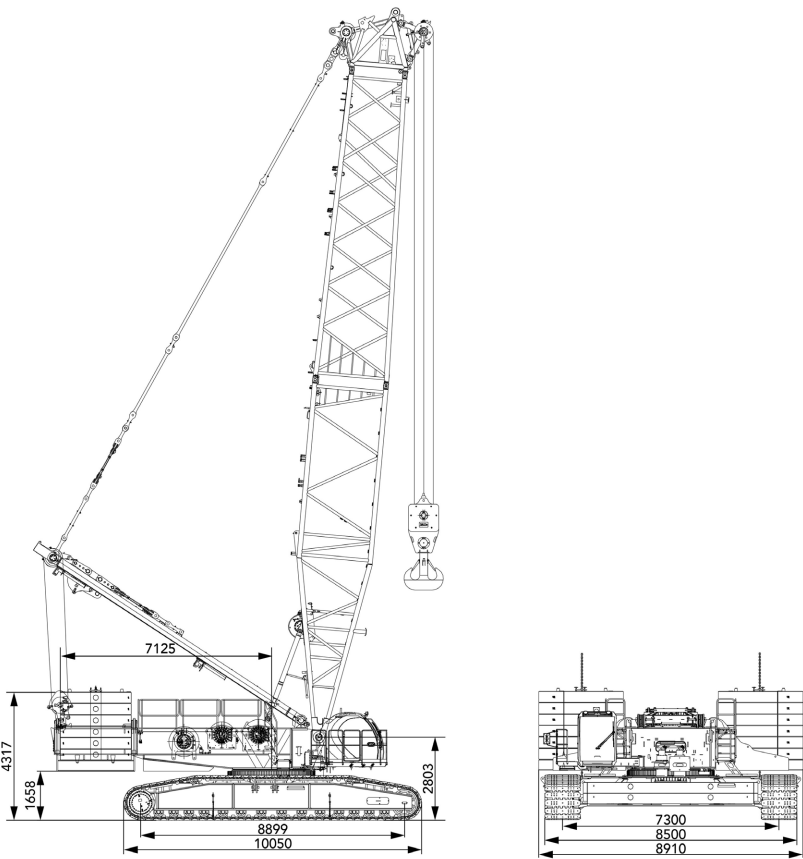


Figure 1. SCC3500A-6 Type 350 t crane dimensions (mm)
图 1. SCC3500A-6 型 350 t 主吊吊机尺寸(mm)

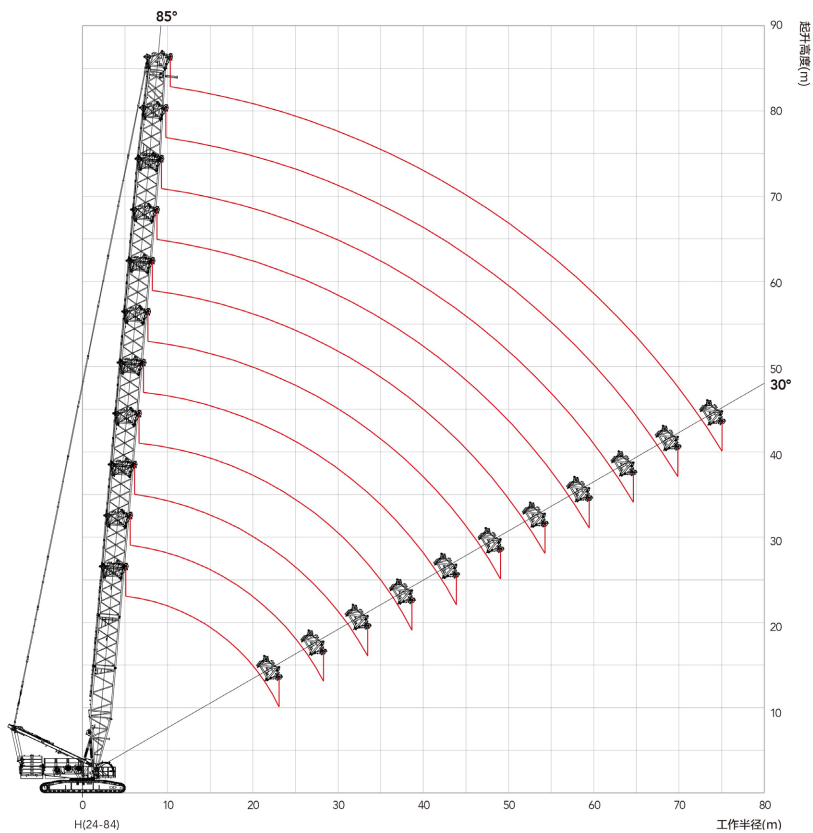


Figure 2. SCC3500A-6 hoist main boom lifting height
图 2. SCC3500A-6 主吊主臂起升高度曲线

3.2. 主吊把杆长度验算

如图 3 计算主吊机垂直高度时，不仅要考虑主吊臂架最大仰角和钢筋笼的最大尺寸、重量，而且要考虑钢筋笼吊起后能旋转 180°过程笼体不碰撞主吊臂架，即满足 BC 距离 $\geq 3.3\text{ m}$ 的条件(取最重“一”型幅 6 m 宽验算，增加 0.3 m 安全距离)。

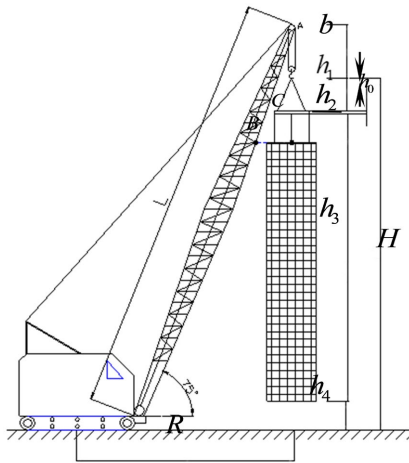


Figure 3. Reinforcement cage lifting by crane
图 3. 钢筋笼吊装示意图

当钢筋笼完全由主吊吊起时, 起重高度为以下几项相加:

- ① 钢筋笼距离地面 $h_4 = 0.5 \text{ m}$ (规范要求负重行驶不得大于 0.5 m);
- ② 钢筋笼长度 $h_3 = 49.32 \text{ m}$;
- ③ 扁担下钢丝绳垂直高度 h_2 , 按 5.43 m 计(根据主吊吊点间距确定);
- ④ 扁担高度 $h_0 = 1 \text{ m}$ (包含上下吊环);

SCC3500A-6 型 350 t 履带吊主臂长 72 m 时, 回转半径 12.8 m 时, 主臂额定起吊荷载为 135 t 。此时吊装总高度:

$$\sqrt{72^2 - (12.8 - 1.8)^2} + 2.803 = 73.953 \text{ m}$$

- ⑤ 扁担碰臂检测: 保持笼底距离地面即 $h_4 = 0.5 \text{ m}$ 不变, 则主吊扁担距离臂顶垂直距离:

$$b + h_1 = 73.953 - h_4 - h_3 - h_2 - h_0 = 17.703 \text{ m}$$

根据相似三角形得扁担距离主臂水平距离 2.74 m , 可得扁担最长不能超过 5.48 m , 否则扁担易于笼顶发生接触碰撞。

- ⑥ 笼顶碰壁检测: 保持笼底距离地面即 $h_4 = 0.5 \text{ m}$ 不变, 笼顶距离臂顶垂直距离:

$$b + h_1 + h_0 + h_2 = 73.953 - h_4 - h_3 = 24.133 \text{ m}$$

如图 4 根据几何关系计算可得笼顶距离主臂水平距离为 3.73 m , 满足笼顶不碰臂要求。

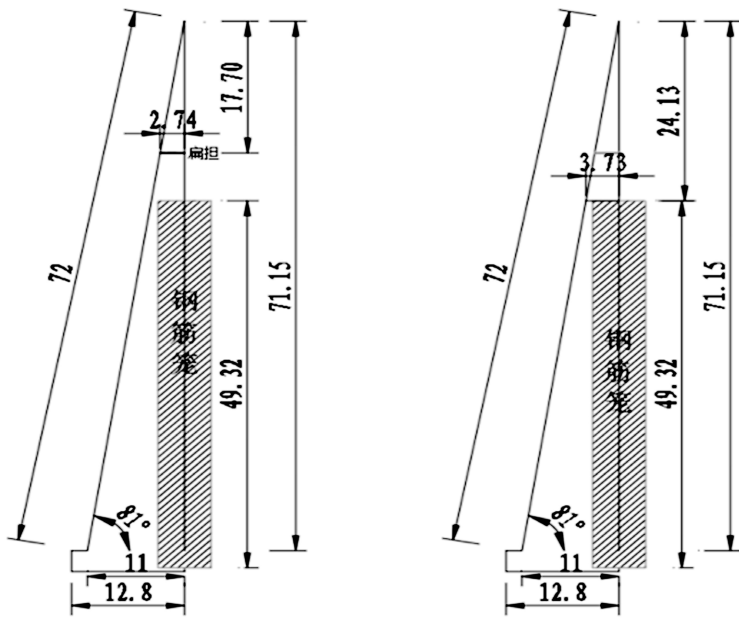


Figure 4. Dimensions of main hoist for reinforcement cage lifting (m)
图 4. 主吊钢筋笼吊装尺寸(m)

3.3. 起吊能力验算

当吊车臂长 72 m , 作业半径设定为 18 m 时, 吊车额定起吊荷载为 94.3 t 。根据《建筑机械使用安全技术规程》(JGJ33-2012)相关条款规定: 单机起吊时, 起吊荷载不超过允许荷载的 80% 。可得吊车起吊重量 $94.3 \times 80\% = 75.44 \text{ t}$ 。在采用双机抬吊作业方式时, 主吊起吊重量为 $2T_1 + 10 \text{ t} = 25.609 + 10 = 35.609 \text{ t} < 75.44 \text{ t}$ (T_1 计算见第 3.7 节), 故双机抬吊起吊作业时 350 t 履带吊满足该规范要求。

3.4. 副吊设备

副吊选用 SCC2000A-7 型履带式起重机，主臂臂长 49 m，作业半径 15 m 时，额定起吊荷载 59.6 t，主要性能参数见下图 5~6。

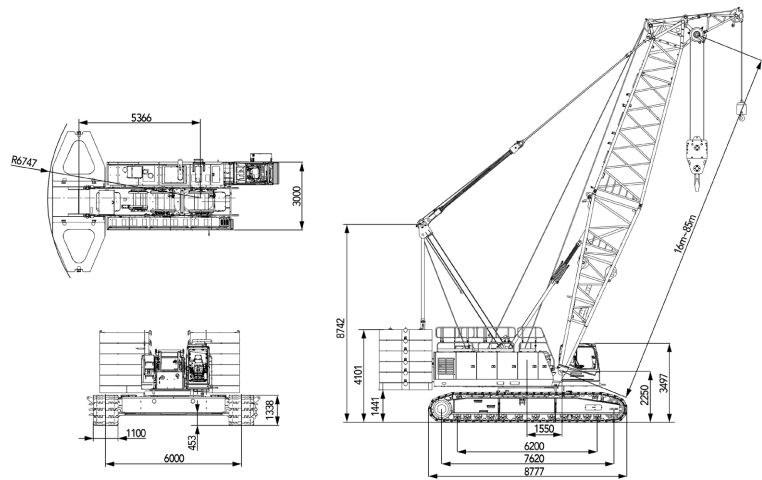


Figure 5. SCC2000A-7 type crane dimensions (mm)
图 5. SCC2000A-7 副吊示意图(mm)

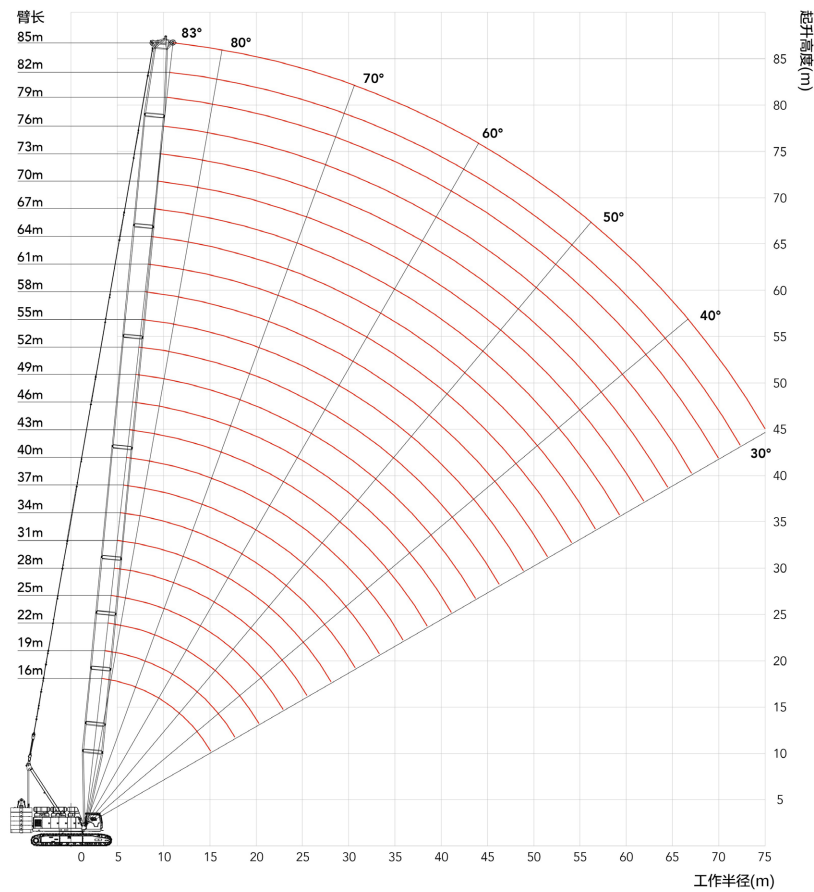


Figure 6. SCC2000A-7 hoist main boom lifting height
图 6. SCC2000A-7 副吊主臂起升高度曲线

3.5. 副吊把杆长度验算

当钢筋笼近似于垂直状态时, 副吊钢丝绳受力逐渐释放并趋于 0, 此时副吊起吊高度达到最大。其中
① 笼底距离地面 $h_4 = 0.5 \text{ m}$ ② 副吊段第一排吊点距离笼尾距离 $h_3 = 10 \times 2 + 3.5 = 23.5 \text{ m}$ ③ 副吊第一排吊点距离扁担距离 $h_2 = 5 \text{ m}$ ④ 副吊扁担高度 $h_0 = 1.0 \text{ m}$

SCC2000A-7 型 200 t 履带吊主臂长 49 m 时, 回转半径 15 m 时, 主臂额定起吊荷载为 59.6 t。此时吊装总高度为:

$$B + H_1 = 49.37 - H_4 - H_3 - H_2 - H_0 = 18.12 \text{ m}$$

有几何关系得扁担距离主臂水平距离 5.17 m, 副吊扁担最长不能超过 10.34 m。如图 7 保持笼底距离地面即 $h_4 = 0.5 \text{ m}$ 不变, 最高吊点距离臂顶垂直距离:

$$B + H_1 + H_0 + H_2 = 49.37 - H_4 - H_3 = 21.37 \text{ m}$$

笼顶距离主臂水平距离 6.10 m, 满足不碰臂要求。

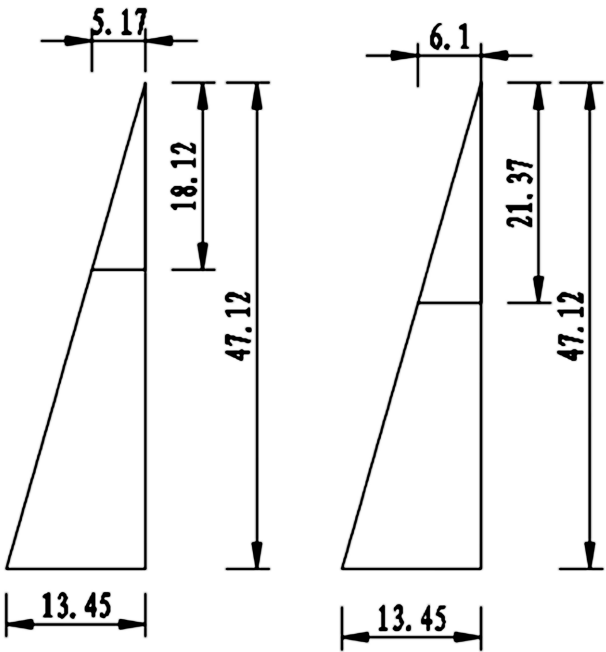


Figure 7. Dimensions of auxiliary hoist for reinforcement cage lifting (m)
图 7. 副吊钢筋笼吊装尺寸(m)

3.6. 起吊能力验算

当双机抬吊作业时, 副吊作业半径按 15 m, 此时吊车臂长 49 m, 额定起重荷载 59.6 t。按吊装最重钢筋笼, 幅宽 6 m 验算, 笼长 43.92 m, 笼重 67.209 t。根据《建筑机械使用安全技术规程》(JGJ33-2012) 规定: 单机起吊荷载不允许超过允许荷载的 80%。副吊允许起重量 $59.6 \times 80\% = 47.68 \text{ t}$, 根据计算, 双机抬吊时副吊起吊重量 $4T_2 + 4 = 41.6 + 4 \text{ t} = 45.6 \text{ t} < 47.68 \text{ t}$ (T_2 计算见第 3.7 节), 故双机抬吊起吊作业时满足该规范要求。

3.7. 双机平衡抬吊验算

如图 8 根据钢筋笼在双机抬吊时的平衡原理可得:

$$2T_1 + 4T_2 = 67.209t$$
$$(T_1 \times 0.82) + (0.5T_1 \times 9.82) + (0.5T_1 \times 16.82)$$
$$+ 21.82T_2 + 30.32T_2 + 38.82T_2 + 47.32T_2$$
$$= 67.209 \times 24.1$$

$T_1 = 12.805\text{ t}$, $T_2 = 10.4\text{ t}$ 。则双机平抬钢筋笼时，主吊起吊重量为 $2T_1 = 25.609\text{ t}$ ，副吊起吊重量为 $4T_2 = 41.6\text{ t}$ 。依据《建筑机械使用安全技术规程》(JGJ33-2012)的相关要求，在开展双机抬吊作业时，应当满足以下条件：所起吊的物体重量不得超出两台起重机于当前作业工况下允许起重量总和的 75%；同时，单台起重机的起吊负荷不得超过其自身允许起重荷载的 80%。符合规程要求。

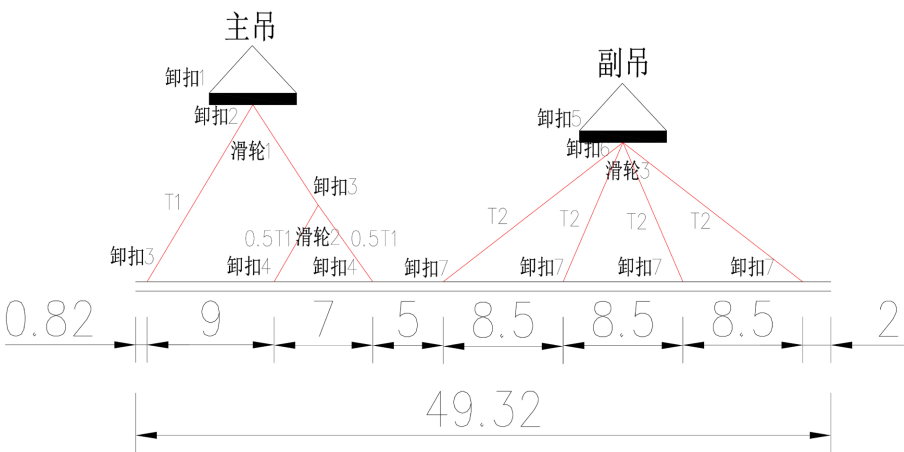


Figure 8. Force analysis diagram for tandem lifting of reinforcement cage (m)
图 8. 双机抬吊钢筋笼受力示意图(m)

4. 吊点布置

4.1. 一字型钢筋笼吊装

钢筋笼吊装如图 9，采用 28 点吊法吊装一字型钢筋笼，主吊沿钢筋笼宽度方向设置 4 道吊点，副吊横向设置 4 道吊点。沿钢筋笼长度方向，主副吊共布置 7 道吊点，其中包含主吊吊机 3 道，副吊吊机 4 道，吊点布置如图 10。

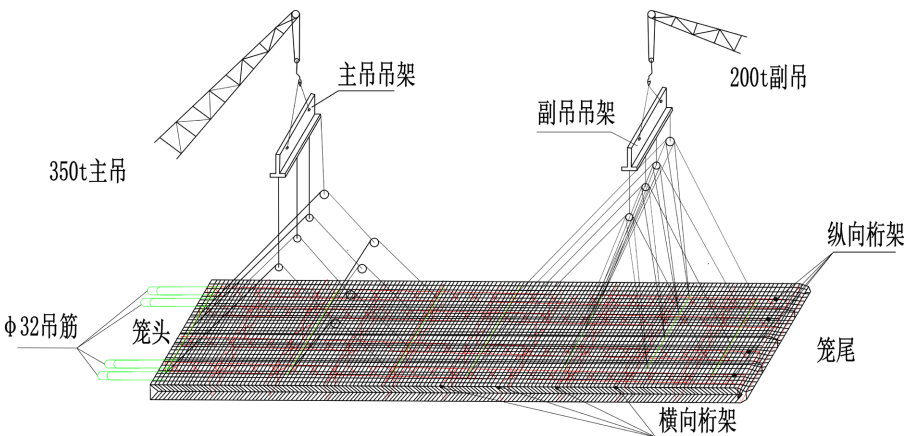


Figure 9. Reinforcement cage lifting by crane
图 9. 钢筋笼吊装示意图

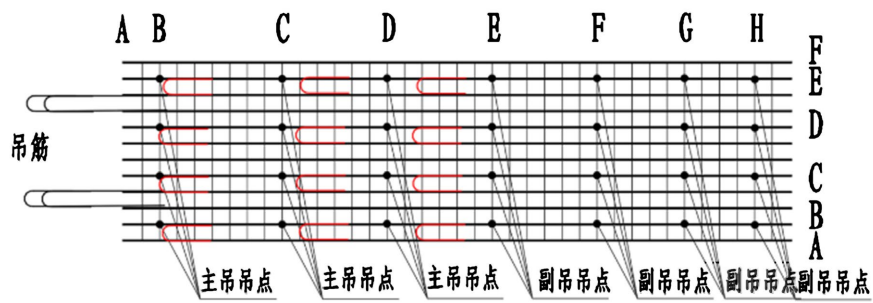


Figure 10. Layout of lifting points of reinforcement cage
图 10. 钢筋笼吊点布置

吊筋统一采用直径 32 的 HPB300 级钢，并在外观检查合格，取样检验合格后方可投入使用。钢筋笼主吊“U”形吊攀采用光圆 $\Phi 32$ 钢筋与上下纵筋焊接如图 11，焊缝长度 10 D，单面焊接，焊缝高度 10 mm；主吊吊点下方“U”形卡扣使用光圆 $\Phi 32$ 钢筋与主筋焊接连接如图 12，焊缝长度 10 D，焊缝高度 10 mm。钢筋笼副吊吊攀采用“几”字形光圆 $\Phi 32$ 钢筋与上下主筋焊接连接如图 13，焊缝长度 10 D，焊缝高度 10 mm。钢筋笼笼顶上方吊筋采用光圆 $\Phi 32$ 钢筋与主筋焊接连接，焊缝长度不小于 10 D，焊缝高度 10 mm。

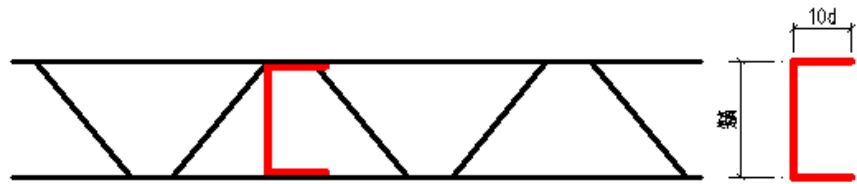


Figure 11. Main hoist lifting lugs reinforcement
图 11. 主吊吊攀加固

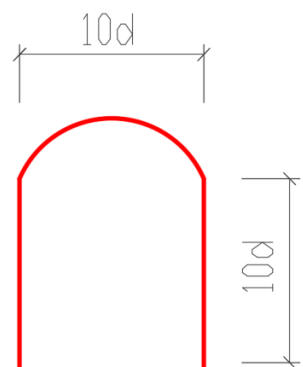


Figure 12. Reinforcement of U-bolt clamps
图 12. “U”型卡扣加固

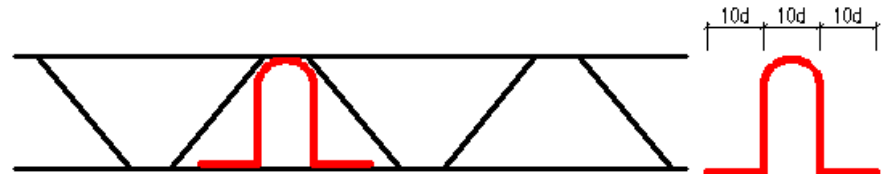


Figure 13. Auxiliary hoist lifting lugs reinforcement
图 13. 副吊吊攀加固

当钢筋笼处于垂直状态时，为保障吊点部位的稳固性，需在吊点所在位置额外增设两根横向桁架钢筋，以此对吊点进行强化处理。待钢筋笼下放至距离笼顶 1 米的位置时，采用扁担装置对钢筋笼实施固定操作，随后将用于加强的桁架钢筋切割。

4.2. 异形钢筋笼吊装加固

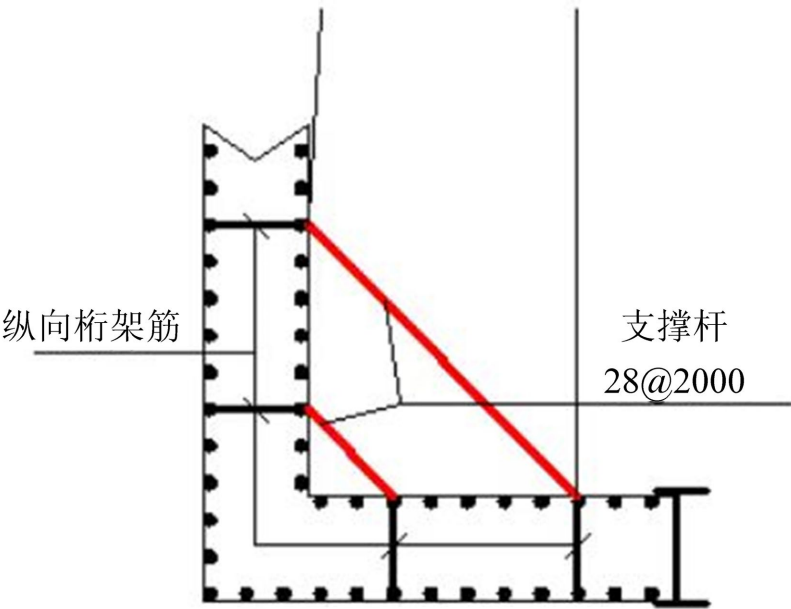


Figure 14. Reinforcement of L-shaped reinforcement cage
图 14. “L” 形钢筋笼加固立面

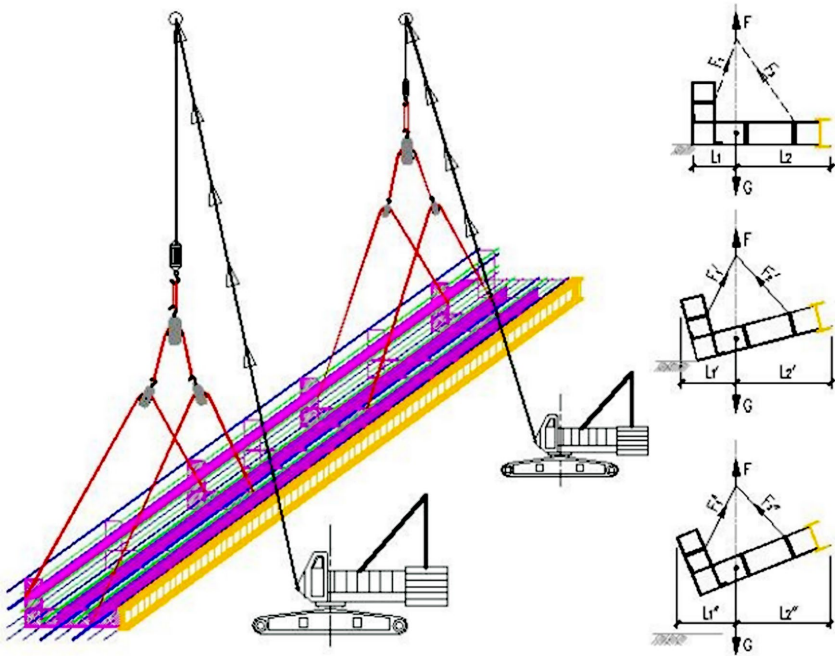


Figure 15. Lifting of L-shaped reinforcement cage
图 15. L 型钢筋笼吊装

针对“L”形幅钢筋笼的吊装作业,为避免钢筋笼在空中翻转过程中出现变形情况,需采取相应防范措施。在设置纵、横向起吊桁架和吊点基础上,还应增设 $\phi 28$ “人字”桁架和斜拉杆进行加强,如图14所示。“L”形幅钢筋笼吊装,主桁架吊点夹角需成 45° 角并穿过钢筋笼重心。

“L”形钢筋笼在起吊的过程中横向会产生一定量的翻转,随着起吊高度、翻转角度的变化,到钢筋笼重心的力矩 L_1 、 L_2 也在改变,钢丝绳的夹角、受力 F_1 、 F_2 也在动态变化。因此,“L”钢筋笼不能用横担吊装,只能用钢丝绳及滑车来起吊,通过滑车转向来平衡钢丝绳受力,最终达到起吊平衡的状态,通过主、副吊同步协调提升,将钢筋笼在空中回直如图15。

5. 预埋件保护措施

地连墙钢筋笼内有压顶梁预埋钢筋(带接驳器)、预埋钢板、注浆管、声测管及测斜管,施工时需严加注意,不得有任何遗漏。钢筋笼吊装、下放和混凝土浇筑时不得碰撞预埋件。特别注意各种预埋件不得侵占混凝土浇筑导管通道。

(1) 侧斜管

测斜管绑扎在钢筋笼迎土侧主筋上,长度基本与该地连墙长度一致。随钢筋笼一起吊放下去;笼顶吊钩的焊接位置应尽量避免测斜管一定距离,以免起吊期间将测斜管拉坏。测斜管因密封掩饰,防止泥浆进入。

(2) 声测管

为保证地下连续墙墙身质量,需预埋声测管进行超声波透射法检测,每幅地连墙布置4根,两侧焊于竖向桁架上。异形幅增加声测管,以保证无死角。声测管下端采用铁皮封口,焊接牢固,上端加盖,并点焊,接头均采用满焊,并用胶带缠住。笼顶吊钩的焊接位置应尽量避免声测管一定距离,以免起吊期间将声测管拉坏。

(3) 注浆管

根据设计图纸,在钢筋笼两端内侧采用2根 $\phi 50$ mm厚3 mm的钢管作为注浆管,用螺纹接头将6 m的钢管接长,管深度插入墙底0.5 m,管顶出地面10 cm左右。在注浆管底部钻取多个 $\phi 6$ mm的小孔,底部使用胶带或橡皮缠绕密实,避免混凝土灌注时水泥浆进入管内。制作钢筋笼时按照设计要求的位置浆注浆管用铁丝或点焊固定在钢筋笼上,做到:牢固不脱落、可以插入下部土体内、下放及上提砼导管时不会触碰注浆管,须保证连接处密闭性良好。

(4) 预埋钢板

钢筋笼制作与安装过程中,需严格对钢筋笼预埋件标高进行控制。标高控制过程中,以钢筋笼搁置点为基准点,按标高反算至预埋件标高,定出预埋件位置。钢筋笼下放过程中,于导墙上搁置型钢对钢筋笼进行下放固定,保证钢板、接驳器等预埋件标高控制在设计允许偏差范围内。

6. 结论

- (1) 采用双机抬吊,28点吊法进行地连墙钢筋笼整体吊装,对吊装过程进行详细论述,可为类似工程提供参考。
- (2) 对起吊设备选型的工程进行介绍,总结设备验算的计算过程,为类似工程设备选型提供参考。
- (3) 借助科学合理的吊点布置方案,并针对吊点实施加固措施,防止钢筋笼吊装过程中发生散体。
- (4) 异形钢筋笼吊装前需要设置桁架和斜拉杆进行加强以保证反转过程中不发生影响施工的变形。

参考文献

- [1] 刘建国,杨云飞,朱军,等.超长地下连续墙钢筋笼吊装施工技术[J].施工技术,2019,48(S1):579-585.

-
- [2] 赵运梅. 超深地下连续墙钢筋笼吊装施工计算方法研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2015.
 - [3] 杨宝珠, 邵强, 丁克胜, 等. 超深、超大地下连续墙钢筋笼吊装过程研究[J]. 工业建筑, 2013, 43(7): 101-104.
 - [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] 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.
 - [6] 王新成, 何江. 地铁连续墙施工中钢筋笼的吊装技术[J]. 铁道建筑, 2003(4): 26-27.
 - [7] 张宏斌. 地下连续墙施工中钢筋笼吊装技术[J]. 隧道建设, 2010, 30(S1): 446-450.