

支护转结构复合地连墙钢筋笼吊装研究

黄 锋

中铁大桥局第二工程有限公司 江苏 南京 210000

摘 要：以张靖皋长江大桥南航道桥北锚碇支护转结构复合地连墙为研究背景，对二期槽段不同断面形状钢筋笼吊装技术进行研究。针对该支护转结构复合地连墙钢筋笼“重、大、长”的特点，对钢筋笼进行合理分节，根据钢筋笼重量及分节，选择合适的吊装设备。根据钢筋笼节段在翻身吊装过程中的不同受力工况，合理设置桁架筋，对钢筋笼吊点区域进行局部加强。分析钢筋笼在下放过程中的受力情况，提出钢筋笼临时打梢及接长时的稳定措施。

关键词：支护转结构；地连墙；钢筋笼；吊装；钢筋笼打梢

1 研究背景

张靖皋长江大桥南航道桥为（1220+2300+660）m悬索桥，锚碇采用支护转结构复合地连墙基础，地连墙长为118m，宽75m，地连墙厚1.5m，外围双层地连墙深67m，地连墙在基坑开挖期间的作为基坑支护结构，运营期转换为永久结构的一部分。

随着地连墙结构尺寸越来越大，地连墙配套的钢筋笼也越来越重，工程中由于钢筋笼吊装受力复杂，安全风险高，关于地连墙钢筋笼吊装的研究一直备受关注。沈杰超^[1]对于杭州地铁深度超过60m，重量超过90t的钢筋笼吊装设计进行了分析，提出了实际吊装施工中需要考虑的问题与注意的事项。叶茂森^[2]探讨了大尺寸钢筋笼制作，吊点设置，吊装方法以及吊装加固等具体施工控制措施，张友光^[3]研究了大型履带式起重机双机抬吊，竖转翻身，整体入槽的施工技术，温裕春等^[4]对超大型地下连续墙钢筋笼施工吊装过程进行了动态数值模拟，以钢筋笼从水平到竖直的起吊过程中0°，30°，45°，60°四种工况建立了能够模拟动态吊装过程的有限元模型，根据数值模拟结果分析了动力效应影响下的笼体受力规律，确定出了吊装过程的最不利工况，罗赛楠^[5]利用商业软件ABAQUS建立了43m长的大尺寸钢筋笼的三维数值模型，并根据已有吊装方案分析了大尺寸钢筋笼在吊装过程中的薄弱位置，给出了优化方案。

张靖皋长江大桥南航道桥地连墙一期槽段设置封闭钢箱结构，钢箱向两侧外伸4道横向钢箱网片，二期槽段在刚性接头连接处设置2道横向钢筋，插入一期槽段的4道横向钢筋之内，形成非接触搭接^[6]。

由于本项目钢筋笼平面大，竖向长，质量重，钢筋笼自身刚度小，吊装、翻身、打梢均难以控制钢筋笼的受力和变形，如果出现意外将严重影响施工安全。本文选取施工工程中最重的钢筋笼作为研究对象，通过madis

建模、分析，按照施工全流程计算了钢筋笼的变形和受力情况，确定吊装和打梢方案。

2 钢筋笼设计参数

2.1 钢筋笼设计概况

本工程支护转结构地连墙共有112个槽段，本文研究对象为编号SN2-3的二期槽段，钢筋笼总长63m，宽8.25m，L型断面，短边长3.3m，重约204t。竖向主筋为直径28mm钢筋，横向主筋沿着高度方向直径有28mm，32mm，36mm3种，加强筋直径为28mm，均为HRB400级钢筋。

2.2 钢筋笼分节

由于单个钢筋笼总长63m，整体起吊翻身难度较大，故将钢筋笼纵向分成两节。钢筋笼分节综合考虑钢筋笼的制作、运输、接长等工艺要求，以及主筋间距布置，确定顶节长37.5m，重约136t，底节长25.5m，重约68t。本文重点研究顶节钢筋笼的吊装下设过程。

3 钢筋笼吊装方案

3.1 钢筋笼吊点位置确定

由于钢筋笼纵向长，重量大，平面尺寸不规则，因此吊点位置的选择尤为重要，合适的吊点位置可以优化钢筋笼在起吊翻转跟过程中的受力情况。不合理的吊点位置将会增大钢筋笼吊装过程中吊点、钢筋受力，易造成连接点的焊缝脱落，从而引发严重的吊装事故。

根据钢筋笼的纵向尺寸和重量，确定本次吊装采用双机抬吊的方式，主吊负责钢筋笼上端起吊以及钢筋笼翻转到位的下设，副吊负责钢筋笼翻转过程中下端起吊，通过主吊提升、副吊下放实现钢筋笼空中翻转。通过计算确定主吊两个吊点间距为8.72m，副吊吊点间距为8.82m。吊点纵向布置见图1。吊点的设置除了考虑主体钢筋受力情况外，还需考虑翻转过程中两台吊机吊钩在是否会过于靠近，钢筋笼在下设过程中吊钩拆除的

问题。

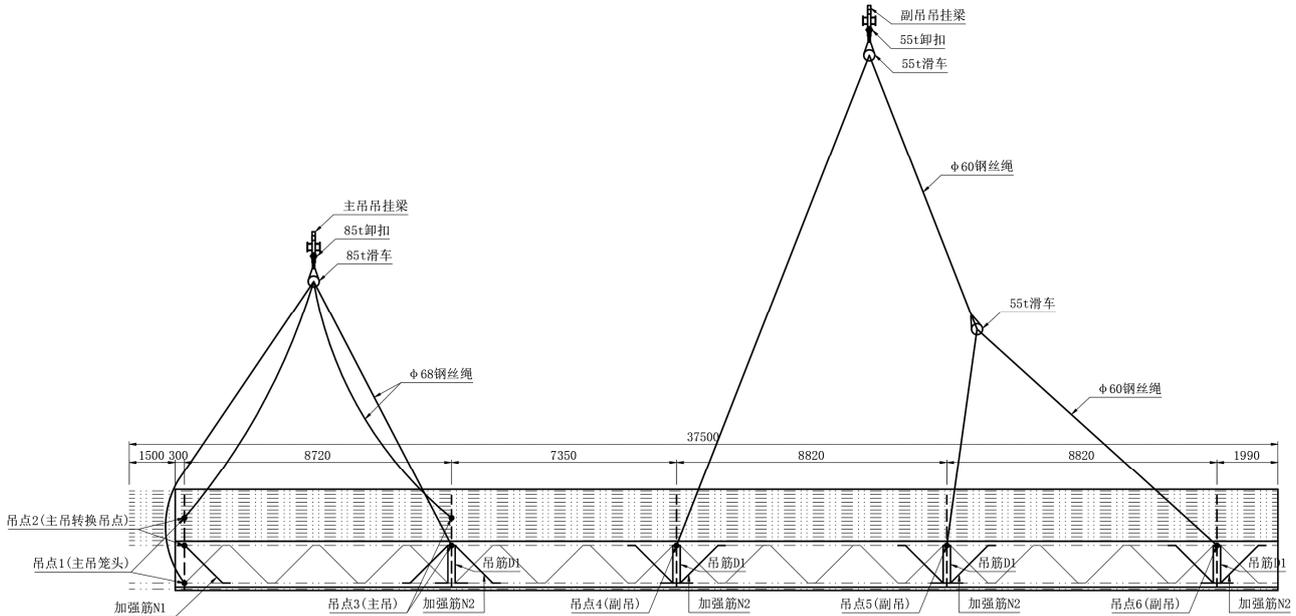


图1 长度方向钢筋笼吊点布置图 (单位: mm)

由于本次吊装钢筋笼为L型断面,在平面上的重心确定十分困难,因此除了按常规设置了五组吊点以外,还额外增加了一个吊点,用于在钢筋笼竖直状态下稳定钢筋笼重心,保持钢筋笼姿态。

3.2 钢筋笼起吊高度确定

按照钢筋笼分节吊装方案,当钢筋笼完全垂直起吊时需要最大吊高。同时在吊装是避免钢筋笼触碰吊机吊臂,考虑钢筋笼底部局里地面安全高度 $h_0 = 2.0\text{m}$,钢筋笼自身长度 $h_1 = 37.5\text{m}$,钢筋笼上方钢丝绳垂直方向的高度 $h_2 = 7.3\text{m}$,滑车高度 $h_3 = 0.5\text{m}$,扁担梁高度 $h_4 = 1.0\text{m}$,吊索钢丝绳垂直方向上长度 $h_5 = 3.7\text{m}$,

本项目钢筋笼起吊高度按下式计算:

$$H = h_0 + h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 = 52\text{m}$$

吊臂长度按下式计算:

$$L = (H + B - A) / \sin\theta = 56\text{m}$$

其中B为起重滑轮组到吊钩的距离,取7m; A为起重臂下轴至地面距离,取3m; θ 为吊臂与水平面的夹角,按照吊重布置取 79° 。

3.3 钢筋笼起吊设备选型

根据上节计算,起重设备需要的吊臂长度应大于56m,起吊高度大于52m,最大起吊重量225t。经过比选分析,主吊吊机选择1000t履带吊机,臂长61m,回转半径12m,起吊能力389t,能满足起吊要求,同时能满足负载行走。

副吊吊机作为翻身辅助设备,在钢筋笼吊装翻身过

程中经历一个变化过程。计算钢筋笼在翻身至不同角度时主吊、副吊吊机受力情况,结果见图2。

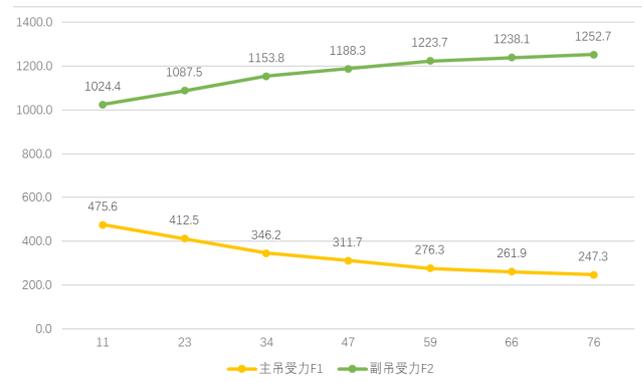


图2 吊机在翻身过程中吊重分配 (单位: kN)

根据计算结果,副吊吊机最大吊重约125t,副吊吊机选择350t履带吊机,臂长42m,回转半径12m,起吊能力176t,能满足起吊要求。副吊吊机在辅助主吊吊机将钢筋笼由水平翻转至竖直状态后脱钩。

4 钢筋笼起吊分析

4.1 主体钢筋受力分析

选取顶节钢筋笼作为受力分析对象,利用madis建立钢筋笼分析模型,模拟钢筋笼翻转中从 0° 转至 90° 过程中,钢筋笼的受力和变形。

4.2 吊点受力分析

为了满足钢筋笼吊装要求,保证钢筋笼在起吊过程

中整体刚度与稳定性,钢筋笼各吊点需进行加固处理,按设计图纸要求设置横向与纵向桁架钢筋,横向桁架采用Φ32@2m布置,纵向桁架采用Φ32钢筋,沿钢筋笼横断面长度方向至少布置四道,并在每个吊点处增设加强桁架筋在吊点前后1m范围内形成“X”形加固。

加固钢筋与主筋和纵向桁架钢筋之间均焊接,防止脱落。吊装时卸扣与吊筋连接,通过吊筋将荷载传递至主筋与纵向桁架钢筋。

在笼头第一排吊点位置设置规格为700×25×200mm厚钢板与钢筋笼主体进行焊接;上下两层主筋之间采用“几”字型Φ40圆钢。对“几”字型吊筋,最不利工况出现在双机抬吊翻身过程中,副吊所受荷载考虑全部由吊筋受拉。

5 钢筋笼下放分析

5.1 下放打捎方案确定

由于将钢筋笼分成两节制造下放,顶、底节钢筋笼对接时,通过在底节钢筋笼顶部位置设置扁担梁进行打捎,吊机提升上节钢筋笼悬置于下节钢筋笼上方,通过安装连接套筒方可将上、下节钢筋笼对接成整体。接长打捎如如图4所示。



图4 底节钢筋笼打捎示意图

底节钢筋笼竖向主筋横向间距为250mm,竖向间距环筋间距为120mm。接长打捎用五根Q355材质钢扁担,横向环筋架设在扁担梁上,并在打捎处相邻四根主筋上焊接加强钢板,对打捎点进行局部加强,扁担梁两端设置临时抄垫搭设在导墙上方。

钢筋笼全部接长下放到位后,由于钢筋笼下方无支撑,因此需要将钢筋笼整体打捎吊挂于导墙上。整体打捎支架设置6台100t三向千斤顶,用于调整钢筋笼姿态和平面位置。

顶节钢筋笼打捎采用五根Q355材质钢扁担,横向环筋架设在扁担梁上,并在打捎处相邻六根主筋上焊接加

强钢板,对打捎点进行局部加强,扁担梁两端设置临时抄垫搭设在导墙上方。

5.2 下放打捎结构受力分析

根据以上结构,利用midas建立模型,对钢筋笼下放打捎阶段受力情况进行数值分析。主要分析接长工况与整体吊挂工况。其中接长工况为钢筋笼底节吊挂,整体吊挂工况为钢筋笼接长完成下放到位后,整体吊挂与导墙上。计算结果见表1。

表1 下放打捎结构受力分析结果

工况	扁担应力 (MPa)	扁担变形 (mm)	钢筋笼应力 (MPa)	钢筋笼变形 (mm)
接长工况	162.3	2.26	224.5	1.1
整体吊挂工况	114.6	0.7	227	2.35

6 结语

6.1 基于大尺寸地连墙钢筋笼吊装方案,进行全过程模拟和分析,论证了长37.5m、宽8.25m、重136t的钢筋笼整体起吊翻转的可行性,校验了吊装过程中的安全度,选择合适的吊装设备,并对吊装过程中钢筋笼的薄弱位置进行加强。

6.2 对两节钢筋笼接长、打捎方案进行了过程模拟和分析,对钢筋笼的精确定位提出了建议,并对打捎过程中钢筋笼的薄弱环节进行加固。

6.3 对于大尺寸地连墙钢筋笼,由于其刚度较差,除了能满足使用阶段受力性能要求外,还应满足施工阶段的受力性能要求。

6.4 在打捎架下方设置三向千斤顶,可以精确调整钢筋笼平面位置及垂直度,对于地连墙钢筋笼非搭接接头效果较好,可为类似项目提供借鉴。

参考文献

- [1]沈杰超.超深地连墙钢筋笼吊装设计分析与实践[J].山西建筑,2021,(15):96-98.
- [2]叶茂森.超深地下连续墙钢筋笼吊装技术研究[J].中国水能及电气化,2020(8):6.
- [3]张友光.地连墙钢筋笼整体吊装施工技术应用探析[J].现代工程科技,2022,1(12):23-26.
- [4]温裕春,王善瑶,王海峰.大型地下连续墙钢筋笼动态吊装过程分析[J].城市道桥与防洪,2018(12):4.
- [5]罗赛楠.超深地连墙钢筋笼吊装过程分析及优化[J].土木工程,2021 10(4):304-311.
- [6]宋卫强,李围,刘文丽,段景川.复杂环境深厚基岩地连墙施工成套技术[M].北京:中国铁道出版社,2019.