

地下连续墙钢筋笼吊装参数的验算与选择

董建忠, 沈 斌

(浙江省大成建设集团有限公司, 浙江 杭州 310012)

摘要:通过对哈尔滨地铁2号线工人文化宫站地下连续墙钢筋笼长度及厚度的研究,工程钢筋笼长度长,厚度小,整体刚度小。介绍了采用15点起吊的吊装技术,并通过对其吊点、钢丝绳、扁担等参数的验算与选择,提供了一种经济、合理、科学、安全的吊装方法,对类似地下连续墙钢筋笼吊装具有一定的指导意义。

关键词:地下连续墙;钢筋笼吊装;整体刚度

中图分类号:U655.54⁺4.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2017)02-0082-04

Checking Calculation and Selection on Hoisting Parameters of Diaphragm Wall Reinforcement Cage/DONG Jian-zhong, SHEN Bin (Zhejiang Dacheng Construction Group Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang 310012, China)

Abstract: In view of long length, small thickness and small integral rigidity of the diaphragm wall reinforcement cage of Harbin Metro Line 2, 15-point lifting hoisting method was adopted. By the checking calculation and selection on the parameters of the hanging points, wire rope and carrying poles, an economic, reasonable, scientific and safe hoisting method was provided, which has a certain reference for hoisting the similar diaphragm wall reinforcement cage.

Key words: diaphragm wall; reinforcement cage hoisting; integral rigidity

0 引言

城市轨道交通施工环境复杂,周边构建筑物众多、人口密集、车流量较大,地下连续墙施工时钢筋笼吊装安全风险极大,方案筹划不当易引发吊装安全事故。因此,如何安全、合理地选择吊点位置、起吊方式至关重要。

通过对哈尔滨地铁2号线工人文化宫站地下连续墙钢筋笼吊装方案的筹划、计算,在确保吊装安全控制的同时,达到提高施工工效和成本优化的目的,可为同类工程的施工提供借鉴和参考。

1 工程概况

哈尔滨地铁2号线工人文化宫站位于中山路工人文化宫附近,沿中山路布置,呈西北—东南走向,横跨革新街和巴陵街。该站地处哈尔滨市市中心繁华地区,市域交通南北干道上,用地紧张,交通量大。

车站采用明挖顺筑法施工,围护结构采用600 mm厚地下连续墙,总延长米为508 m,共计90幅墙,地连墙设计深度为标准段43.605 m,小里程盾构始发井段设计深度44.885 m,大里程端头设计深

度47.184 m。幅间采用十字钢板接头。

2 钢筋笼设计概况

主体围护结构地下连续墙钢筋笼主筋为 $\varnothing 28$ 、25 mm螺纹钢筋,本次涉及的地下连续墙分别为一字形、L形及Z形。所有地连墙中,质量最大的为WE1—WE9槽段,约为27.355 t,考虑注浆管、预埋件、钢筋笼吊装加固钢筋、十字止水钢板、吊具等,总质量以39.24 t计。

3 起吊钢筋笼难点分析

(1)地下连续墙深度为47 m,厚度为600 mm,钢筋笼长度为45.2 m。在这样的厚度条件下成槽深度达到47 m,在国内城市轨道交通工程建设方面尚属少见。

(2)钢筋笼笼长为45.2 m,其中构造筋为15.2 m,且构造筋主筋为三级钢 $\varnothing 25@300$ mm,分布筋为三级钢 $\varnothing 16@300$ mm,构造筋部分整体刚度小,起吊时容易变形。

(3)钢筋笼采用四榀桁架,桁架主筋为三级钢 $\varnothing 25$ mm,桁架筋为三级钢 $\varnothing 22$ mmW型,整体刚度

收稿日期:2016-07-24;修回日期:2016-12-05

作者简介:董建忠,男,汉族,1980年生,高级工程师,从事岩土工程施工管理工作,主要研究深基坑工程及地下空间开发,浙江省杭州市文三路20号建工大厦副楼4楼市政基础公司,65010190@qq.com。

小,稳定性差。

(4)钢筋笼笼长 > 40 m,整体刚度小,容易变形,按要求需分节起吊。

4 针对性措施

(1)钢筋笼采用 15 个吊点整体吊装。其中主吊 6 个吊点,副吊 9 个吊点(见图 1)。使钢筋笼受力更加均匀,减少了应力集中,变形小,符合起吊的安全性。

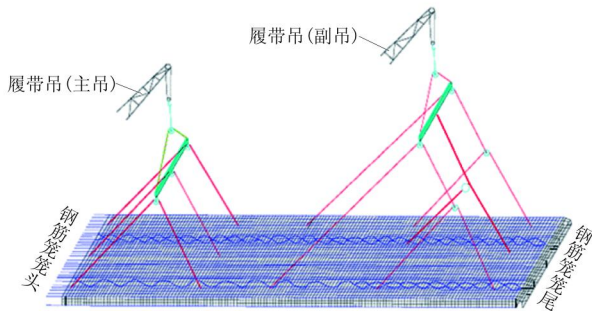


图 1 钢筋笼吊装示意图

(2)增加桁架数量:桁架由 4 榀增加至 5 榀。同时 W 形桁架筋由三级钢 $\text{Ø}22\text{ mm}$ 增加为三级钢 $\text{Ø}25\text{ mm}$ 。确保钢筋笼整体起吊的刚度及稳定性。

5 吊装参数的验算及选择

5.1 吊车配置计算参数与选择

吊车配置计算参数见表 1,吊车的性能参数见表 2、3。

表 1 吊车配置计算参数

项 目	计算参数	备 注
钢筋笼长 L	45.2 m	盾构井位置
钢筋笼总重 W_l	主笼 39.24 t	最重主笼
QUY260 型吊车允许起重力	80%	双机配合行走状态下
QUY150 型吊车允许起重力	80%	双机配合行走状态下
260 t 吊车承担最重钢筋笼质量	39.24 t	包含主扁担、钢丝绳及主吊吊钩
150 t 吊车承担最重钢筋笼质量	$39.24 \times 80\% = 31.39\text{ t}$	最不利情况下副吊承担钢筋笼总重的 80%

表 2 QUY260 型(260 t)吊车性能参数表 /t

幅度/m	臂 长/m			
	54	57	60	63
14	73.9	73	72.1	66.3
16	62.7	61.9	61.2	60.4
18	54.2	53.5	52.8	52.2

5.2 吊装高度的确定(参见图 2)

(1)钢筋笼长度 $h_3 = 45.2 - 0.8 = 44.4\text{ m}$ 。

表 3 QUY150 型(150 t)吊车性能参数表 /t

幅度/m	臂 长/m			
	31	37	43	49
9	77.0	74.0	69.4	
10	68.0	64.6	64.2	59.0
12	54.2	53.8	51.0	49.0

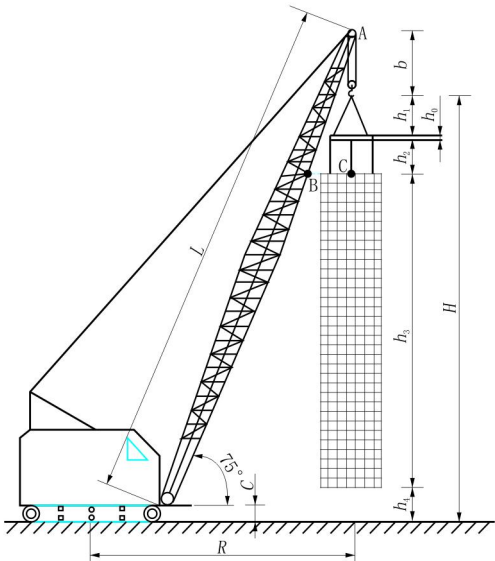


图 2 吊装高度示意图

(2)扁担下钢丝绳长度 h_2 ,按 4 m 计。

(3)扁担至吊钩的距离 h_1 约 2.5 m,吊机吊钩至吊机顶距离 b 取 3.5 m。

(4)扁担高度 $h_0 = 1\text{ m}$ (包含上下吊环),离地面高度 h_4 大约 0.5 m。

(5) $h_0 + h_1 + h_2 + b = 11.0\text{ m}$, $BC = 3\text{ m}$, $\arctan 11/3 = 75^\circ$ (查表)

(6)又因为 QUY260 型吊车主臂变幅角为 $30^\circ \sim 81^\circ$,因此该吊车最大角度为 75° 。

(7)主吊: $H + b = h_0 + h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + b = 55.9\text{ m}$,臂长 $= 55.9 / \sin 75^\circ = 57.87\text{ m}$,回转半径 $R = \cos 75^\circ \times 57.87 = 14.97\text{ m}$ 。

(8)查表 2 得主吊选择 60 m 臂长,回旋半径为 16 m,得出主臂荷载为 $61.2\text{ t} > 39.24 / 0.8 = 49.05\text{ t}$ (0.8 为安全系数),因此满足要求。

(9)副吊选择 37 m 臂长,回旋半径为 10 m,得出荷载为 $64.6\text{ t} > 31.39 / 0.8 = 39.23\text{ t}$ (0.8 为安全系数),因此满足要求。

5.3 吊点位置的确定

如果吊点位置计算不准确,钢筋笼会产生较大挠曲变形,使焊缝开裂,整体结构散架,无法起吊。现以标准钢筋笼为例作以下阐述。

根据弯矩平衡定律,正负弯矩相等时所受弯矩变形最小的原理,计算如下(如图 3)。

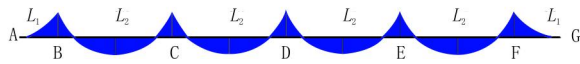


图 3 钢筋笼弯矩计算图

$$+M = -M$$

$$+M = qL_1^2/2$$

$$-M = qL_2^2/8 - qL_1^2/2$$

式中: q ——均布载荷; M ——弯矩。

$$\text{故: } L = 2\sqrt{2}L_1$$

$$\text{又: } 2L_1 + 4L_2 = 44.4$$

$$\text{所以: } L_1 = 3.33 \text{ m}; L_2 = 9.4 \text{ m}$$

为方便吊装及钢丝绳的挂钩,将 B 吊点设置在冠梁底部位置最合适,故 B 点向前移动,与 A 点重合,其余各点间距均分,因此选取 B、C、D、E、F 的 5 个点起吊时弯矩最小,实际吊装过程中 B、C 中心是主吊位置,D、E、F 点为副吊位置。

$$L_{BC} = L_{CD} = L_{DE} = L_{EF} = 10.26 \text{ m}$$

$$L_{FG} = 3.33 \text{ m}$$

5.4 钢丝绳、卸扣的选择及验算

5.4.1 钢丝绳

每一分支受力情况,顶角为 $\alpha = 60^\circ$,本工程最大钢筋网片质量 39.24 t,即重力为 384552 N,用绳扣捆系吊装,所有钢丝绳采用同一型号,根据图 4 所示,钢丝绳 1(笼顶位置钢丝绳)受力大,吊索分支数为 2 根,其对角线分支顶端夹角为 60° ,计算时拟取其作为钢丝绳选型标准。

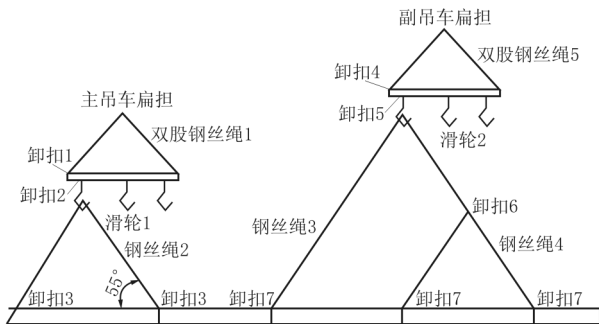


图 4 钢丝绳示意图

$$S = Q/n = 384552/(2 \times 2 \times \sin 30^\circ) = 192276 \text{ N}$$

式中: S ——钢丝绳的允许拉力,N; Q ——吊物重,N; n ——吊索分支数。

钢丝绳破断拉力,取安全系数 $k = 7$, $P_p = S_k = 192276 \times 7 = 1345932 \text{ N}$ 。

钢丝绳直径,因钢丝绳抗拉强度未有明确要求,按抗拉强度 1850 MPa 计:

$$d = \sqrt{\frac{P_p}{0.3\sigma}} = \sqrt{\frac{1345932}{0.3 \times 1850}} = 49.24 \text{ mm}$$

式中: d ——钢丝绳直径,mm; P_p ——钢丝绳的破断拉力,N;0.3——系数; σ ——抗拉强度,MPa。

由验算可得钢丝绳 1 选用 6×37 类,直径为 52 mm,抗拉强度为 1850 MPa 的钢丝绳。(由起重吊装常用计算手册查得,以下类同)

当主吊起吊后,3 根钢丝绳 2(主吊滑轮处钢丝绳)承受整体钢筋笼的重力。钢丝绳 2 的受力情况参见图 5 所示。

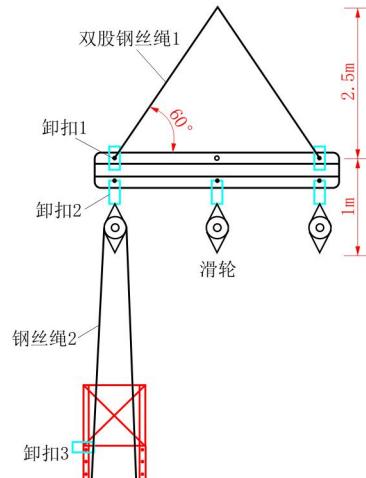


图 5 钢丝绳 2 受力示意图

拟取其作为钢丝绳选型标准。

$$S = Q/n = 384552/3 = 128184 \text{ N}$$

钢丝绳破断拉力,取安全系数 $k = 7$, $P_p = S_k = 128184 \times 7 = 897288 \text{ N}$

$$d = \sqrt{\frac{P_p}{0.3\sigma}} = \sqrt{\frac{897288}{0.3 \times 1850}} = 40.2 \text{ mm}$$

由验算可得钢丝绳 2 选用 6×37 类,直径为 43 mm,抗拉强度为 1850 MPa 的钢丝绳。

副吊在起吊时承受最大的力可占整个钢筋笼总重的 80%,因此副吊承受最大吊重为 307.6 kN。

同理计算出:

钢丝绳 3、4、5 分别选用 6×37 类,直径为 26、36.5、47.5 mm,抗拉强度为 1850 MPa 的钢丝绳。

5.4.2 卸扣

本工程最大钢筋网片质量 39.24 t。卸扣的选择与主副吊钢丝绳最大受力有关。主吊卸扣最大受力在钢筋笼完全竖立时,副吊卸扣最大受力在钢筋

笼平放吊起时。

主吊卸扣选择:

$$P_1 = (384.552/1) \times (2/\sqrt{3}) = 444 \text{ kN}$$

所以卸扣1、卸扣2、滑轮选择45 t的规格。

卸扣3选择:

$$P_1 = (384.552/2) \times (2/\sqrt{3}) = 222 \text{ kN}$$

考虑到未知因素,所以卸扣3选择30 t规格。

副吊的吊具同理可计算出:卸扣4、5选择40 t规格,滑轮2选择40 t规格,卸扣6、7选择20 t规格。

5.5 扁担验算

扁担采用厚度为50 mm的钢板加工,孔径均为90 mm,扁担长4 m,宽600 mm,如图6所示。

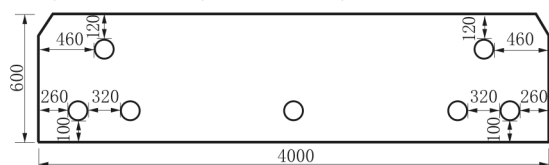


图6 钢扁担尺寸示意图

5.5.1 钢扁担尺寸以及材料参数

钢扁担采用45号钢板加工制作而成,钢抗拉强度为600 MPa,屈服强度为355 MPa,抗剪强度为410 MPa。挤压强度为拉伸强度的2~2.5倍。

5.5.2 钢扁担抗力计算

(1)扁担最大承载计算

由图7可知扁担横向最大横截面积为:



图7 扁担最小截面示意图

$$A = (50 \times 4000 - 5 \times 50 \times 90) \times 10^{-6} = 0.1775 \text{ m}^2$$

则竖向承受最大拉伸荷载为:

$$F = \delta A = 600 \times 10^6 \times 0.1775 = 106.5 \times 10^3 \text{ kN}$$

即此种型号扁担竖向可承受10650 t。

(2)钢扁担孔周承载计算

计算面积为:

$$\text{上部: } A_1 = 120 \times 100 \times 10^{-6} = 0.012 \text{ m}^2$$

$$\text{下部: } A_2 = 100 \times 100 \times 10^{-6} = 0.01 \text{ m}^2$$

则单孔承受最大剪力为:

$$\text{上部: } Q_1 = \delta A_1 = 410 \times 0.012 \times 10^6 = 4.92 \times 10^6 \text{ N}$$

$$\text{下部: } Q_2 = \delta A_2 = 410 \times 0.01 \times 10^6 = 4.1 \times 10^6 \text{ N}$$

即,上部为492 t,下部为410 t。

综上,从最大拉伸考虑,钢扁担可承受最大起吊质量为10650 t;从单孔周边最大承载来考虑,钢扁担可起吊最大质量为492 t×2=984 t和410 t×5=2050 t。

故比较以上可知,此种型号钢扁担可起吊最大

质量为2050 t,取安全系数为6,则此种型号扁担起吊质量为2050 t/6=341 t,而最大钢筋笼质量为39.24 t,满足要求。

5.6 吊环钢筋设计及验算

在钢筋笼垂直下放入槽时,钢筋笼上部4个吊环钢筋承受全部质量,吊筋直径拟采用32 mm。

吊物的质量公式为:

$$G = ANF_0/g$$

式中: G ——吊物质量,kg; A ——吊筋截面积, mm^2 ; N ——吊筋数量,为8; F_0 ——圆钢抗拉强度,235 MPa; g ——重力加速度, 9.8 m/s^2 。

$$A = 39.24 \times 1000 \times 9.8 \div 235 \div 8 = 204 \text{ mm}^2$$

所需吊筋直径为 $d = 2 \sqrt{A/\pi} = 16.14 \text{ mm}$,取安全系数1.5,吊筋直径为24.21 mm≤32 mm。

由以上计算结果可知:吊环钢筋采用Ø32 mm能够满足要求。

依次类推,每幅钢筋笼各水平吊点均设置在主筋桁架上,采用Ø32 mm钢筋均能够满足要求。

6 结语

通过哈尔滨地铁2号线工人文化宫站地下连续墙钢筋笼吊装实例,选择符合工程实际的钢筋笼吊装方法,科学、合理、经济地应用吊装技术,保证了整个起吊过程的合理性和用具的安全性。并且积累了一定的施工经验,取得了较好的经济效益。

参考文献:

- [1] 黄晨光,陈江伟,等.武汉绿地中心工程地下连续墙钢筋笼吊装技术[J].施工技术,2015,(4).
- [2] 杨文渊.起重吊装常用数据手册[M].北京:人民交通出版社,2007.
- [3] 杨宝珠,邵强,等.超深、超大地连续墙钢筋笼吊装过程研究[J].工业建筑,2013,43(7).
- [4] 叶松.地下连续墙钢筋笼吊装技术措施分析[J].城市建筑,2016,(8).
- [5] 张锐.超大地连续墙钢筋笼吊装方案比选与优化[J].铁道建筑技术,2014,(9).
- [6] 周冠南.地下连续墙钢筋笼吊点设置与加固[J].城市轨道交通研究,2012,15(12).
- [7] 张革军.超深超重地下连续墙钢筋笼整体吊装技术[J].市政技术,2014,(S1).
- [8] 李少利.超深地下连续墙钢筋笼制作与吊装技术[J].隧道建设,2011,31(6).
- [9] 方卫.GFRP筋在超长地下连续墙钢筋笼中的应用及笼体吊装施工的研究[J].建筑施工,2009,31(9).
- [10] 刘聪,顾建平,等.地下连续墙大型钢筋笼吊装验算[J].建设科技,2015,(11).