

# 基于预应力锚索支护的综合管廊 深基坑施工监测研究

莫冬华<sup>1</sup>, 张耀文<sup>2</sup>, 蒋田勇<sup>2</sup>

(1.长沙市规划设计院有限责任公司, 湖南 长沙 410007; 2.长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410114)

**摘要:**长沙市某综合管廊深基坑距离长,且位于磁悬浮桥墩位置处,采用预应力锚索进行基坑支护,并采用滑动体力学模型进行设计,施工时对现场进行精确监测,确保深基坑开挖过程中磁悬浮桥墩的安全运营。现场监测结果表明,预应力锚索支护结构能有效控制深基坑变形、磁悬浮桥墩沉降及基坑周边地表沉降,确保基坑自身、磁悬浮桥墩、周边建筑物和地下管线等在综合管廊深基坑开挖过程中的安全;预应力锚索支护结构适用于长距离、高精度要求的综合管廊深基坑。

**关键词:**综合管廊;深基坑;预应力锚索;磁悬浮桥墩;施工监测

中图分类号:U443.13

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2019)05-0121-04

地下综合管廊的综合性意味其施工技术复杂,尤其是深基坑施工中面临的情况更复杂,对周边环境更易造成不利影响。因此,基坑开挖过程中需进行实时监测、预警。针对深基坑施工监控,安关峰等以广州某深基坑施工为例,讨论了不同工况下主动土压力和孔隙水压力之间的关系及冠梁的协同作用所引起的基坑变化;王卫东、徐中华等分析了基坑支护结构和周边土体的变形规律;丁智、杨有海、张雪婵等分析了墙体深层水平位移和土体深层水平位移、地表沉降程度随时间与开挖深度的变化。目前对深基坑监测的研究大多针对高层建筑深基坑,而较少针对长距离、高精度要求的综合管廊深基坑。

该文以长沙市某地下综合管廊基坑为工程背景,采用预应力锚索支护结构进行支护,并分析基坑施工中支护结构变形、地表沉降及其对磁悬浮桥墩沉降、周边环境的影响。

## 1 工程概况

该地下综合管廊基坑工程开始于2016年,全长3700m,多数分布于长沙市磁悬浮线路的桥墩两侧,开挖深度大于8m。场地工程地质条件较复杂,安全等级属于一级基坑,重要性系数为1.1。基坑临时支护设计使用期限为一年,对基坑坡顶设计临时堆载,设定为20kPa。土层物理学指标见表1。

表1 基坑主要土层的物理学指标

土层名称	重度/(kN·m <sup>-3</sup> )	天然孔隙率	内摩擦角/(°)	粘聚力/kPa	渗透系数/(m·d <sup>-1</sup> )	承载力标准/kPa
素填土	18.5	0.770	29.2	43.6	0.10	100
砾砂	18.2	0.852	19.7	16.2	0.05	160
砂质黏性土	18.2	0.967	21.6	19.8	0.50	180
砾质黏性土	18.2	0.949	23.2	19.1	0.50	190

## 2 基坑支护方案

### 2.1 设计构思

该地下综合管廊距离长,多数标段的开挖深度超过8m,加上磁悬浮线路位于基坑的中线处,为确保磁悬浮桥墩与周边居民住宅的安全,对该深基坑的土体开挖、支护方案及施工监测提出了更严苛的要求。常规施工工艺是开挖在前、支护在后,难以控

制土体变形。该基坑采用钢管抗滑树根桩和木桩超前支护、复合预应力锚索、注浆花管(加固)封水及喷射砼网结构等复合支护方案,采用中心岛式开挖基坑土方,先分层分段开挖磁悬浮桥墩周边土方,然后人工挖除桥墩处的土方。预应力锚索以锚梁为支撑点,通过预应力钢绞线的锚固力及裹握力克服土体的主动土压力,抑制基坑土体的位移与支护结构的变形,并对锚固土体施加附加压应力场,避免基坑施

工中土体产生拉应力,维护基坑施工和磁悬浮桥墩的安全。

## 2.2 支护方案

(1) 钢管树根桩支护结构采用  $\phi 164$  钢管,通过内灌细石压力注浆使其具有较高的抗弯性能。在基坑开挖前,其与地面连梁、锚梁等相结合以提高支护体系刚度,限制由于基坑开挖引起的土体变形,保证综合管廊基坑的自身稳定。

(2) 基坑开挖前通过预应力锚索对锚梁、钢管抗滑树根桩、木桩组成的体系施加预应力,控制基坑开挖引起的基坑变形和地表沉降,进而减少基坑开挖对磁悬浮桥墩的影响。

(3) 采用钢筋网喷射砼、钢管树根桩、木桩等形成止水帷幕,解决综合管廊基坑渗水问题,防止地下水下降导致磁悬浮桥墩沉降。

## 2.3 支护结构设计

采用滑动体力学计算模型进行设计计算。如图1所示,假定基坑坑壁沿某一滑坡面产生滑动位移,则土体滑动力  $F_t$ 、土体抗滑力  $(c + F_w)$ 、支护结构抗滑力  $P_t$  构成的力系是坑壁稳定的体系。其中:  $F_t = W \sin \theta$ ;  $W$  为滑坡体的重力;  $\theta$  为土体滑动角;  $c$  为土体粘聚力;  $F_w$  为土体内摩擦力,  $F_w = W \cos \theta \tan \varphi$ ;  $\varphi$  为内摩擦角。

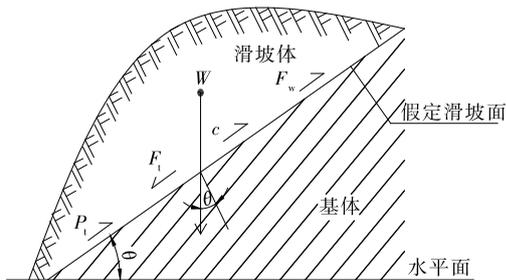


图1 滑动体力学模型

参数取值如下:土体滑动角  $\theta = 30^\circ$ ;内摩擦角  $\varphi = 10^\circ$ ;滑体容重  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ ;土体粘聚力  $c = 20 \text{ kPa}$ 。计算得该综合管廊深基坑支护结构整体抗滑安全系数大于 1.36,极限嵌固深度安全系数大于 1.2,满足支护结构设计要求(安全等级属于一级基坑,安全系数为 1.1)。

## 3 综合管廊深基坑施工监测

### 3.1 监测方案

(1) 主要监测项目。根据基坑监测相关规范要求,综合考虑该项目的实际情况,从以下方面对深基

坑施工进行监测:1) 基坑围护结构桩墙顶部的水平及垂直位移监测;2) 基坑周边 1~2 倍开挖深度范围内建筑物的垂直位移与倾斜监测(顶部及勒角),检测对象主要为工程沿线的磁悬浮线桥墩及周边居民住宅等;3) 基坑周边 1~2 倍开挖深度范围内地表及地下市政管线的位移监测。由于该工程紧邻磁悬浮线开挖,要求采用一级安全等级标准进行监测。

(2) 测点布置。基坑变形位移测点沿基坑两侧的开挖边线布置,测点之间最大距离为 20 m,主要监测段为 K7+361—K9+200;磁悬浮桥墩沉降位移测点布置于墩身底部,主要监测段为 281#~286# 桥墩;基坑周边地表沉降监测点沿基坑开挖边线由内向外布置,测点间距为 10 m,主要监测段为 K7+820 处。图2为基坑横断面,图3为测点布置。

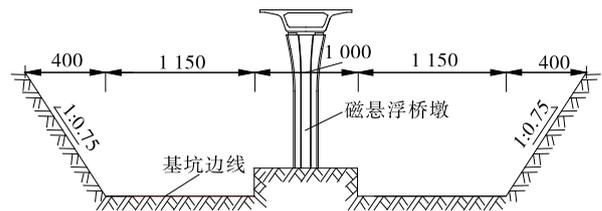
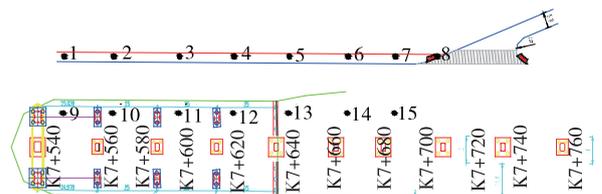
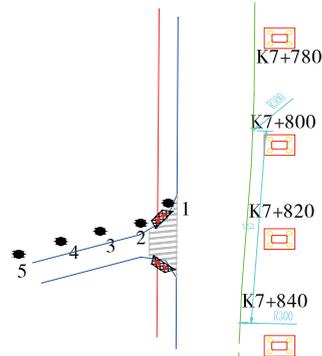


图2 基坑横断面(单位:cm)



(a) 基坑变形位移测点



(b) 地表沉降位移测点

图3 基坑测点布置示意图

### 3.2 监测控制指标

根据 GB 50497—2009《建筑基坑工程监测技术规范》、GB 50330—2013《建筑边坡工程技术规范》和以往经验,选用一等基坑监测标准进行监测。基坑及周边环境监测报警值见表2。

表2 基坑及周边环境监测报警值

监测对象	监测项目	结构类型	累计值		变化速率/ (mm·d <sup>-1</sup> )
			绝对值/mm	相对基坑深度 H 控制值	
基坑本体	坑顶水平位移	放坡、锚杆支护	30~35	0.6% H	5~10
	坑顶竖向位移	放坡、锚杆支护	20~40	0.6% H	3~5
	基坑周边地表竖向位移	—	25~35	—	2~3
	邻近建(构)筑物变形	—	10.0	—	1
周边环境	裂缝宽度	建筑	1.5	—	持续发展
		地表	10.0	—	持续发展

注:监测项目的变化速率连续3 d 超过报警值的70%时报警。

### 3.3 监测结果分析

由于监测数据较多,限于篇幅,主要对重点监测区域的综合管廊基坑坡顶变形位移、磁悬浮桥墩沉降位移及基坑周边地表沉降进行分析。

#### 3.3.1 综合管廊基坑坡顶水平位移

综合管廊基坑坡顶部分重点测点的水平位移监测结果见图4。

由图4可知:基坑刚开始开挖时各测点的水平

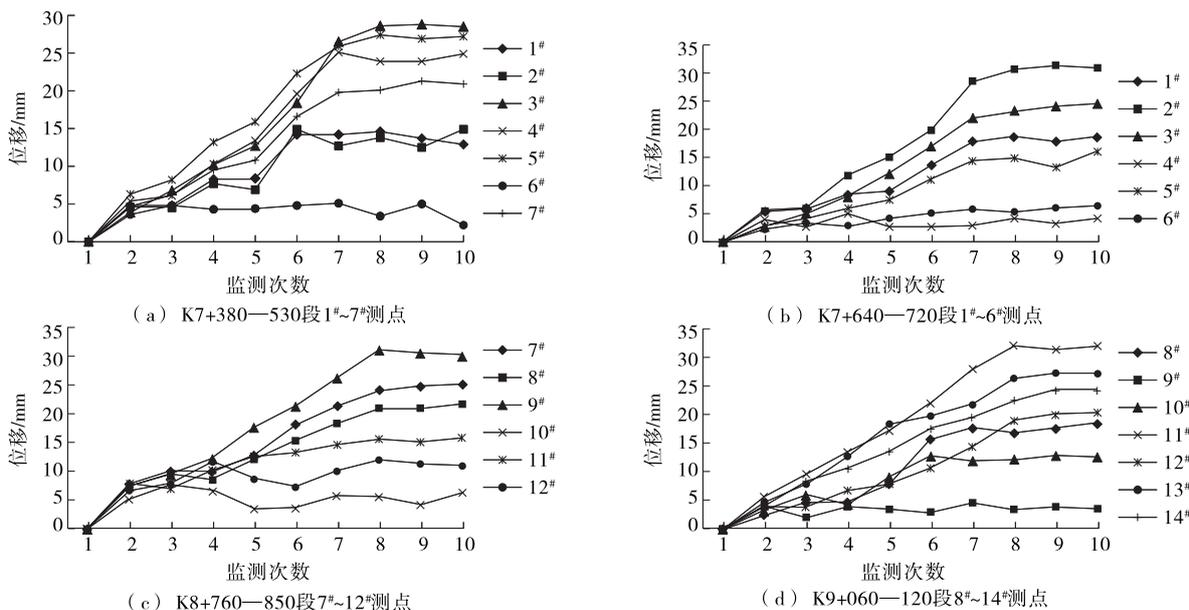


图4 综合管廊基坑坡顶水平位移监测结果

位移都不大,随着开挖深度的增大,基坑各测点的水平位移显著增大;开挖至设计标高后约2周内,各测点位移基本保持不变,说明基坑边已处于稳定状态。K7+380—530 段基坑边坡最大水平位移出现在该段3<sup>#</sup>测点,其值为28.8 mm;K7+640—720 段基坑边坡最大水平位移出现在该段2<sup>#</sup>测点,其值为31.4 mm;K8+760—850 段基坑边坡最大水平位移出现在该段9<sup>#</sup>测点,其值为31.3 mm;K9+060—120 段基坑边坡最大水平位移出现在该段11<sup>#</sup>测点,其值为32.1 mm。各测点的水平位移均处于规范要求范围内,施工过程中支护结构整体良好,边坡水平位移在安全合理范围内。

#### 3.3.2 综合管廊基坑坡顶竖向位移

综合管廊基坑坡顶部分重点测点的竖向位移监测结果见图5。

由图5可知:基坑土方开挖初期各测点沉降较小,基本稳定;随着开挖深度的增大,个别测点出现显著下沉,但在基坑开挖至设计标高后约2周内,测点虽有继续下沉趋势,但总体较稳定。K7+380—530 段基坑边坡最大竖向位移出现在该段7<sup>#</sup>测点,其值为-23.9 mm;K7+640—720 段基坑边坡最大竖向位移出现在该段12<sup>#</sup>测点,其值为-19.7 mm;K8+760—850 段基坑边坡最大竖向位移出现在该段10<sup>#</sup>测点,其值为-20.2 mm;K9+060—120 段

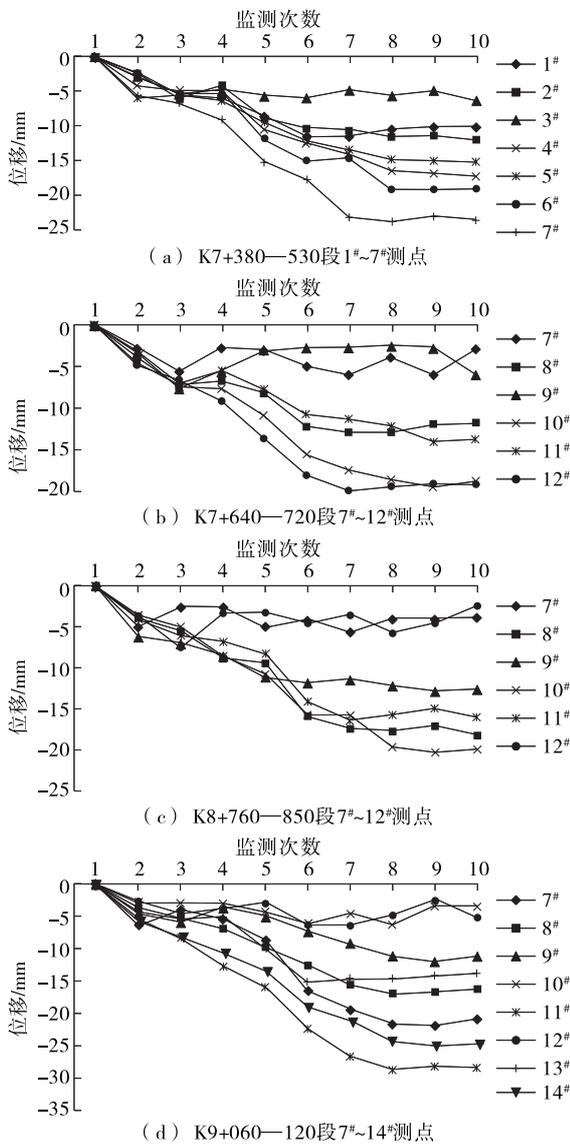


图5 综合管廊基坑坡顶竖向位移监测结果

基坑边坡最大竖向位移出现在该段 11# 测点,其值为 -28.6 mm。各测点均未出现较大程度位移,基坑边坡位移在安全合理范围内。

3.3.3 磁悬浮桥墩沉降位移

磁悬浮 281# ~ 286# 桥墩测点沉降位移监测结果见图 6。

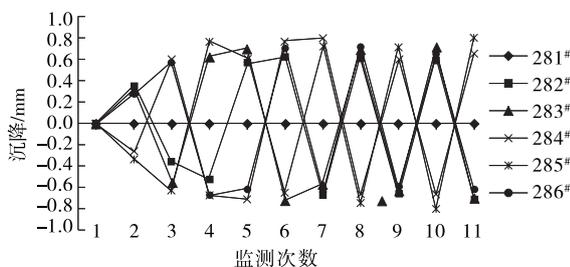


图6 磁悬浮 281# ~ 286# 桥墩测点沉降位移监测结果

根据 CJJ/T 262-2017《中低速磁浮交通设计规范》,磁悬浮桥墩的沉降量控制在 2 mm 以内。由图 6 可知:深基坑施工中,磁悬浮桥墩最大竖向位移出现在 K8+290 处的 285# 测点,其值为 -0.81 mm。位移最大值不超过 1 mm,磁悬浮桥墩在施工期间没有发生沉降。

3.3.4 综合管廊基坑周边地表沉降

K7+820 处为荣河村的一条村道,道路两边有较多居民住宅。为了解基坑开挖对周边地面沉降的影响,对该处基坑周边地表沉降进行重点监测,结果见图 7。

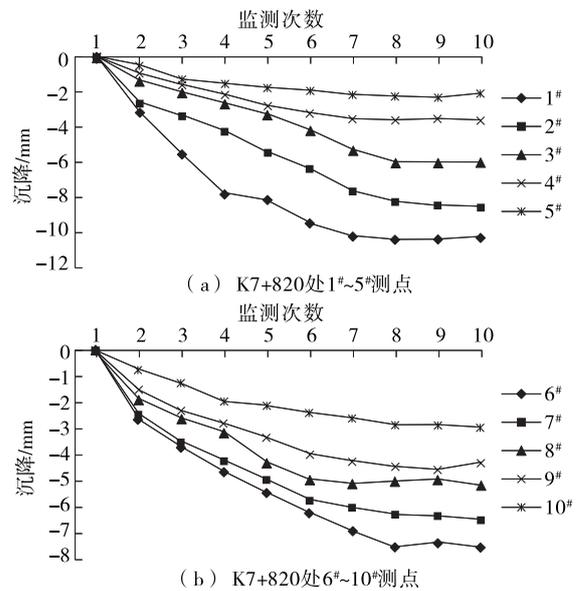


图7 K7+820 处基坑周边地表沉降监测结果

由图 7 可知:深基坑施工中,基坑周边地表最大竖向位移出现在 K7+820 处 1# 测点,其值为 -10.4 mm,与临近基坑边坡相应位置测点的位移基本一致。施工中支护结构整体良好,基坑周边地表沉降在安全合理范围内。

4 结论

- (1) 采用滑动体力学模型对基坑支护结构进行计算,可为合理制订支护结构方案及参数提供依据。
- (2) 采用地面开挖工法进行基坑开挖和支护施工,遵循开挖土体的“时空效应”原理,尽可能减少基坑开挖对磁悬浮桥墩及周边其他建筑的影响,并及时通过预应力锚索支护加强对土体位移的控制。
- (3) 采用预应力锚索等结构构成的综合管廊基坑支护体系能有效控制基坑渗水与边坡位移,为确

(下转第 127 页)

偏差由未加固时的 $-4.54\sim 2.84$  MPa减小为有加固时的 $-0.84\sim 1.60$  MPa,平面偏位区段“抗力/效应”与设计状态的相对变化见图3。

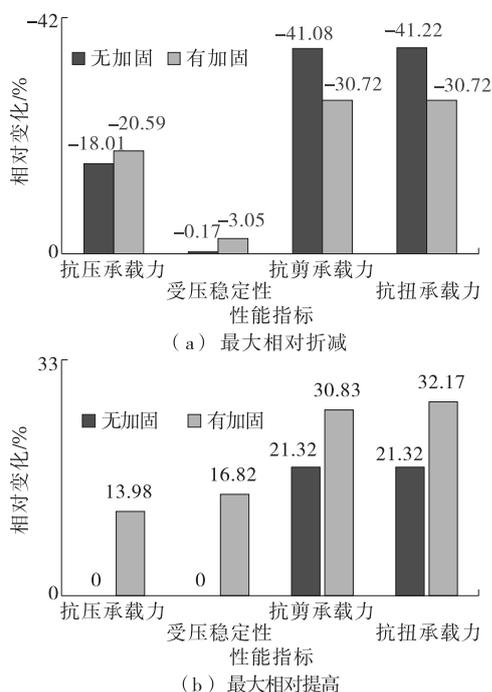


图3 有无加固措施时P8墩偏位区段“抗力/效应”与设计状态的相对变化对比

分析结果表明加固措施增大了偏位区段墩身截面,使墩身局部内力分布发生改变,对桥墩受力产生明显有利影响,与未加固时相比,桥墩抗压和稳定性安全储备略有改善,抗剪和抗扭安全储备及应力水

平改善明显。

## 5 结论

(1) P8墩局部平面偏位对主梁和其他桥墩影响很小,对该墩偏位区段影响较大。其中P8墩受压稳定性及抗扭承载力未产生明显不利影响,应力分布与设计状态相比也未出现明显不利变化,但造成部分截面抗压、抗剪承载力安全储备比设计状态下下降,偏位区段局部截面下降尤为明显。

(2) 采用增大局部平面偏位墩身壁厚的加固措施对P8墩受力产生了明显有利影响,与未加固时相比,P8桥墩抗压和稳定性安全储备略有改善,抗剪和抗扭安全储备及应力水平改善明显。

## 参考文献:

- [1] 何海.某连续弯梁桥的偏位成因及处理[J].城市道桥与防洪,2008(9).
- [2] 裴碧峰.某桥墩桩基偏位分析与纠偏实施效果[J].福建工程学院学报,2005,3(4).
- [3] 高文军,许长城.某连续梁桥桥墩偏位处治和加固[J].公路交通技术,2012(6).
- [4] 周水兴,王小松,田维峰,等.桥梁结构电算:有限元分析方法及其在MIDAS/Civil中的应用[M].北京:人民交通出版社,2013.

收稿日期:2018-12-26

\*\*\*\*\*  
(上接第124页)

保基坑周边磁悬浮桥墩、居民住宅及基坑自身结构的安全提供保障。

## 参考文献:

- [1] 张陈蓉,蔡建鹏,黄茂松.基坑开挖对邻近埋管的影响分析[J].岩土工程学报,2010,32(增刊2).
- [2] 贺炜,潘星羽,张军,等.河心洲地铁车站深基坑开挖监测及环境影响分析[J].岩土工程学报,2013,35(增刊1).
- [3] 江杰,蒲鸥,刘刚伯,等.玉象隧道爆破振动监测与分析[J].广西大学学报:自然科学版,2016,41(6).
- [4] 安关峰,高峻岳.广州地铁公园前地下空间深基坑综合支护监测分析[J].岩土工程学报,2007,29(6).
- [5] 王卫东,徐中华,王建华.上海地区深基坑周边地表变形性状实测统计分析[J].岩土工程学报,2011,33(11).
- [6] 徐中华,王建华,王卫东.软土地区采用灌注桩围护的深基坑变形性状研究[J].岩土力学,2009,30(5).
- [7] 丁智,王达,虞兴福,等.杭州地铁新塘路、景芳路交叉口工程深基坑监测分析[J].岩土工程学报,2013,35(增刊2).
- [8] 杨有海,土建军,武进广,等.杭州地铁秋涛路车站深基坑信息化施工监测分析[J].岩土工程学报,2008,30(10).
- [9] 张雪蝉,晓南,序源,等.杭州庆春路过江隧道江南工作井监测分析[J].岩土力学,2011,32(增刊1).
- [10] 陈宏东,都华,冯林平,等.深挖填土基坑监测及安全性分析[J].广西大学学报:自然科学版,2010,35(2).
- [11] 雷扬,易念平,陆海丽.填土深基坑施工监测及失稳分析[J].广西大学学报:自然科学版,2015,40(4).

收稿日期:2018-12-11