

# 葫芦形锚碇基坑开挖中地下连续墙 施工监控关键节点研究<sup>\*</sup>

吴欣

(湖南省交通科学研究院, 湖南 长沙 410015)

**摘要:** 葫芦形地下连续墙作为一种新型基坑支护结构, 没有相关理论及实际经验可供借鉴。文中利用有限元软件对葫芦形基坑开挖过程进行仿真模拟, 由计算分析结果指导现场监测点布置, 通过现场实测数据与理论计算结果对比, 分析锚碇基坑开挖中地下连续墙位移、应力和内衬应力监控关键节点。

**关键词:** 桥梁; 葫芦形基坑; 地下连续墙; 位移监控; 应力监控

中图分类号: U443.16

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)03-0123-05

湖南岳阳洞庭湖大桥锚碇地下基础采用支护开挖深埋扩大基础, 基坑采用葫芦形地下连续墙支护结构体系。葫芦形基坑地连墙是一种新型基坑支护形式, 在国内运用尚属首次, 相关理论和施工经验几乎是空白, 且该结构受力复杂、施工风险高、监控难度大。该文对葫芦形基坑地下连续墙的变形规律和应力分布进行研究, 以制订合理的监控实施方案, 保证施工安全。

## 1 工程概况

岳阳洞庭湖大桥锚碇基坑采用地下连续墙支护结构体系, 墙厚 1.2 m, 平面布置为葫芦形, 由 2 个半径不等的圆弧组成, 小圆半径 28 m, 大圆半径 32 m, 顺桥向全长 98 m, 墙高 26~35 m, 中间由隔墙将其分成前、后仓两部分。墙体施工完成后, 采用逆作法分层开挖土体、分层施工内衬, 采用岛式开挖法分区开挖并浇筑内衬。外侧地连墙内衬厚度, 从上向下依次为: 基础顶面以下 0~9 m 深度内为 1.5 m、9~18 m 深度内为 2.0 m、超过 18 m 深度处为 2.5 m, 中间隔墙处地连墙两侧竖向各设 1.2 m 厚内衬 (见图 1)。

## 2 有限元数值模拟

### 2.1 有限元分析模型

根据设计图纸及现场实际情况, 利用有限元软件对基坑进行仿真模拟。考虑到结构对称, 取 1/2

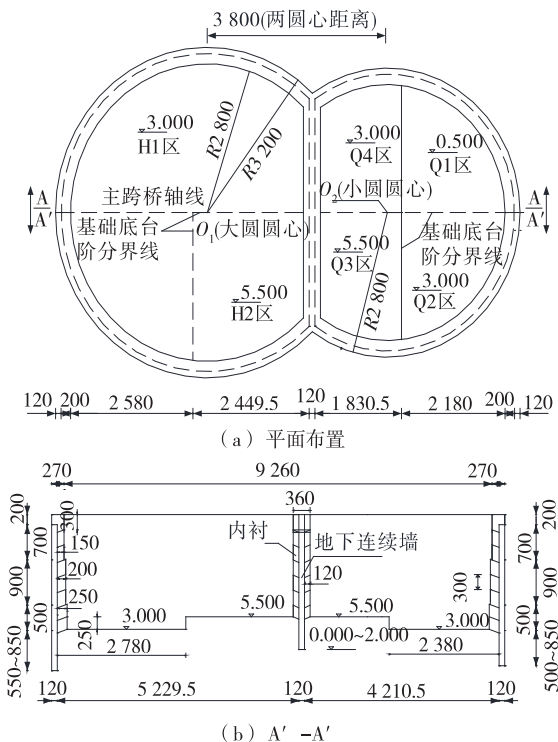


图 1 地连墙及内衬布置示意图(单位: 标高为 m, 其他为 cm)

结构进行分析。砼部分采用弹性实体单元模拟, 土体部分采用摩尔-库伦本构单元模拟, 材料特性值按设计文件及相关规范选取。为避免边界条件引起的应力集中造成模拟结果失真, 根据圣维南原理, 整体结构模拟区域取 266 m×116 m, 开挖面外侧宽度取 3 倍基坑开挖深度 (见图 2)。根据现场实际开挖顺序进行施工阶段划分, 结果见表 1。

<sup>\*</sup> 基金项目: 湖南省交通科技项目(201518)

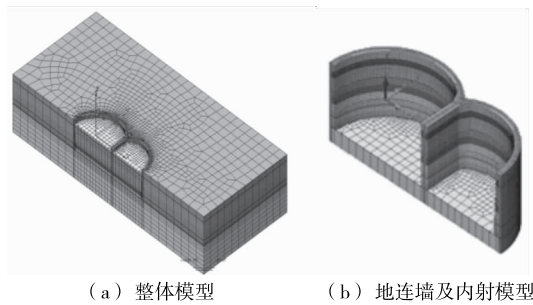


图2 基坑有限元模型

表1 基坑开挖施工阶段计算工况

工况号	工况说明
1	帽梁浇筑完成,初始应力分析
2	开挖第1层土体
3	开挖第2层土体,浇筑第1层内衬
4	开挖第3层土体,浇筑第2层内衬
5	开挖第4层土体,浇筑第3层内衬
6	开挖第5层土体,浇筑第4层内衬
7	开挖第6层土体,浇筑第5层内衬
8	开挖第7层土体,浇筑第6层内衬
9	开挖第8层土体,浇筑第7层内衬
10	开挖第9层土体,浇筑第8层内衬
11	浇筑第9层内衬

## 2.2 计算结果及分析

### 2.2.1 墙体水平位移及应力

表2为地连墙开挖中墙体最大水平位移和应力变化情况。由表2可知:1)最大水平位移位置随着开挖深度增加而下降,从工况8开始,最大水平位移位置不再变化;位移值大小则随着开挖进程而持续增大,工况11达到最大值4.24 mm,出现在大圆侧圆弧垂直于中轴线处(见图3)。各计算工况下墙体水平位移值很小,变化较稳定,没有出现某工况下位移突变情况,说明葫芦形地连墙整体刚度较大,开挖中变形控制能满足规范要求。2)墙体应力变化与水平位移变化规律大致相同,主拉、主压应力均随着开挖深度增加而增大,应力分布较均匀。主拉、主压应力均在工况11达到最大值,分别为0.22、-4.16 MPa,分别出现在小圆侧圆弧顶部墙体顶面和墙体嵌入中风化岩处(见图4、图5)。最大主拉、主压应力值均小于C35砼强度设计值,说明地下连续墙开挖过程安全。

### 2.2.2 内衬应力

内衬作为地下连续墙的支撑体系,在岩石的嵌

表2 墙体各工况下最大水平位移和应力计算结果

工况号	最大水平位移/mm	最大主拉应力/MPa	最大主压应力/MPa
1	0.00	0.000 0	0.000 0
2	0.16	0.106 4	-2.640 8
3	0.40	0.111 4	-2.580 0
4	0.84	0.095 6	-2.540 8
5	1.52	0.099 4	-2.492 3
6	2.01	0.104 7	-2.445 2
7	2.73	0.106 4	-2.616 8
8	3.62	0.155 1	-3.239 9
9	3.71	0.188 0	-3.695 1
10	4.02	0.217 4	-4.108 7
11	4.24	0.218 5	-4.156 8

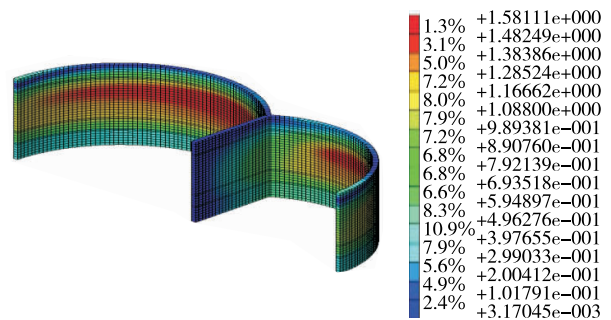


图3 工况11下墙体最大水平位移云图(单位:mm)

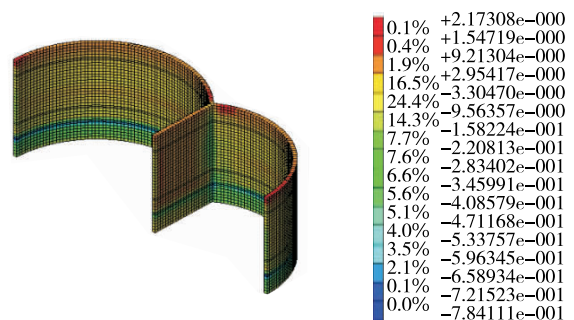


图4 工况11下墙体最大主拉应力云图(单位:MPa)

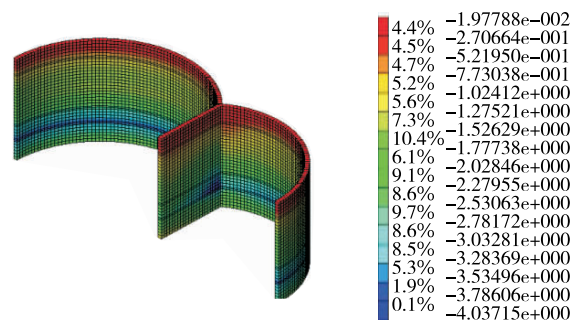


图5 工况11下墙体最大主压应力云图(单位:MPa)

固作用下,受力以环向为主。表 3 为各工况下地连墙内衬结构的应力值。由表 3 可知:内衬的主应力随着开挖深度增加而增大,主拉、主压应力均在工况 11 达到最大值,分别为 0.92、-1.28 MPa,分别出现在距离地面 24 m 处和 Y 形槽附近 12~13 m 处(见图 6、图 7)。内衬结构最大主拉、主压应力均小于 C30 砼强度设计值,说明开挖中内衬结构安全,强度储备充足。

表 3 内衬结构各工况下主应力计算结果

工况号	最大主拉应力/MPa	最大主压应力/MPa	工况号	最大主拉应力/MPa	最大主压应力/MPa
1	0.007 4	-0.354 4	7	0.354 4	-0.829 7
2	0.006 8	-0.416 8	8	0.671 8	-0.912 4
3	0.005 6	-0.502 9	9	0.849 5	-1.065 5
4	0.008 5	-0.591 3	10	0.893 3	-1.146 3
5	0.124 3	-0.685 4	11	0.924 9	-1.279 5
6	0.284 1	-0.732 6			

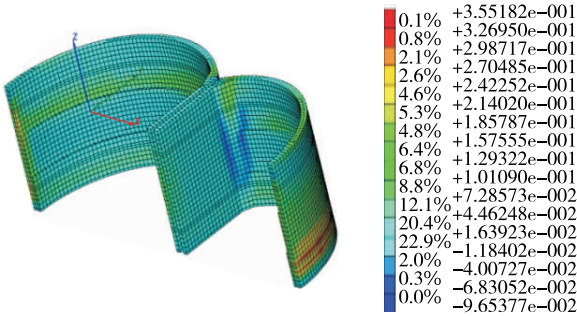


图 6 工况 11 下内衬最大主拉应力云图(单位:MPa)

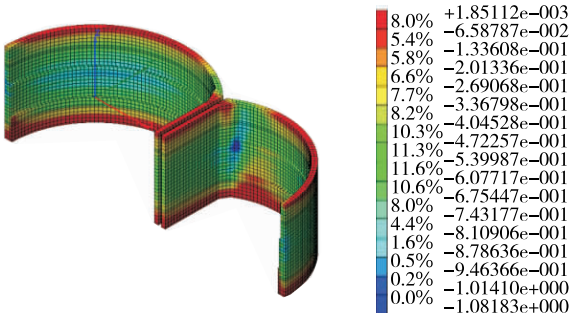


图 7 工况 11 下内衬最大主压应力云图(单位:MPa)

3 监控测点布置

根据有限元计算结果及施工方案布置测点监测墙体水平位移、墙体应力及内衬应力。墙体水平位移测点布置见图 8。基坑开挖时,墙体深层位移用

测斜管监测,在墙体钢筋笼内埋设测斜管,采用测斜仪测试测斜管各深度处的倾角,然后根据倾角变化量计算连续墙墙体水平位移;墙顶位移监测分为水平位移和竖直位移,在测斜管顶部布置棱镜头,用全站仪监测。

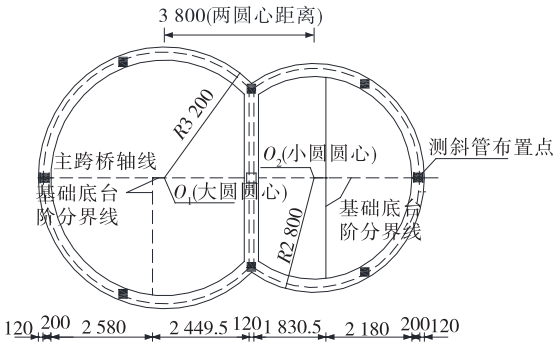


图 8 地连墙墙体位移测点布置(单位:cm)

墙体应力测点布置见图 9。地连墙应力监测分为环向应力、竖向应力监测,两者测点布置位置相同。沿地连墙周向及隔墙中点设置 11 个测点,各测点沿连续墙高度方向每隔 4.5 m 选取一个截面进行应力监测。

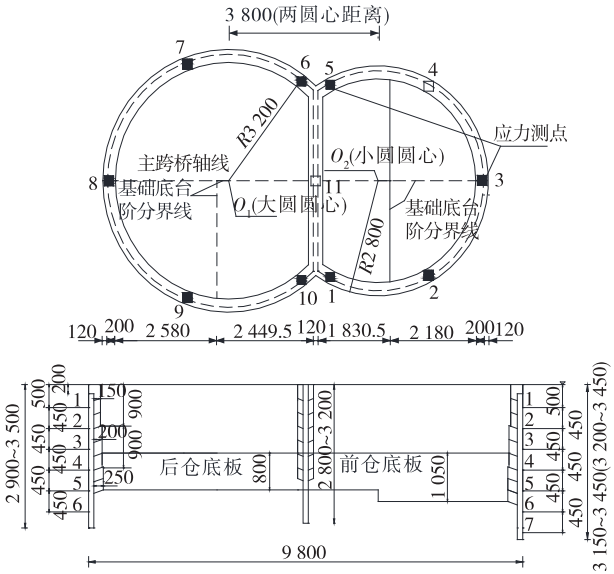


图 9 地连墙墙体应力测点布置(单位:cm)

内衬应力测点布置见图 10。沿地连墙周向及隔墙中点设置 11 个测点,各测点沿连续墙高度方向每隔 4.5 m 选取一个截面进行内衬环向应力监测。在两圆弧 1/2 弧长和 Y 形墙处布置内衬应力测点,另取两圆 45°位置为应力补充测点,各测点沿连续墙高度方向每隔 9 m 选取一个截面进行内衬结构应力监测。

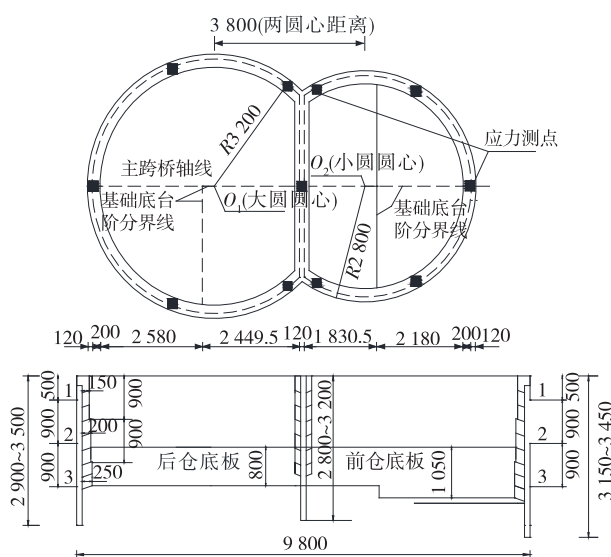


图10 内衬环向应力测点布置(单位: cm)

## 4 监控结果分析

### 4.1 地下连续墙水平位移分析

图11为各工况下地下连续墙最大水平位移实测值和理论值对比。由图11可知:各工况下最大水平位移实测值和理论值的变化趋势相同,吻合较好。开挖过程中,地下连续墙的最大变形随着开挖深度增加逐渐下移,实测最大变形为4.98 mm,发生在大圆侧圆弧与桥轴线 $90^\circ$ 夹角处。

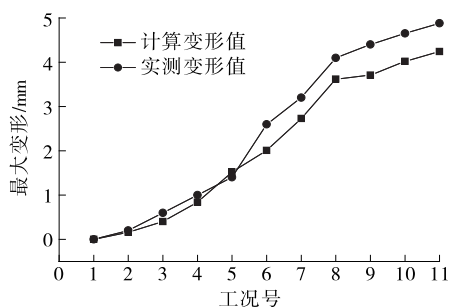


图11 地下连续墙墙体水平位移对比

### 4.2 地下连续墙墙体应力分析

图12、图13为各工况下地下连续墙应力实测值和理论值对比。由图12、图13可知:开挖过程中,各工况下应力实测值和计算值变化规律大致相同,均随开挖深度的增加逐步增大。实测最大拉应力为0.24 MPa,最大压应力为-4.33 MPa,均小于C35砼强度设计值。

### 4.3 内衬应力分析

图14、图15为各工况下内衬结构轴向应力实测值和理论值对比。由图14、图15可知:内衬在墙

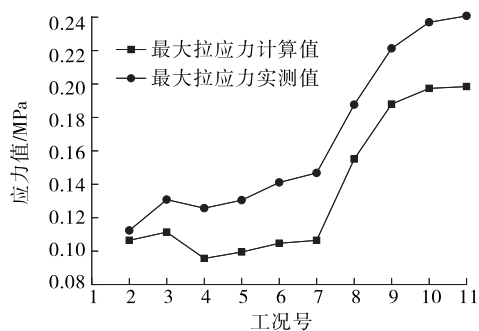


图12 地下连续墙墙体最大拉应力对比

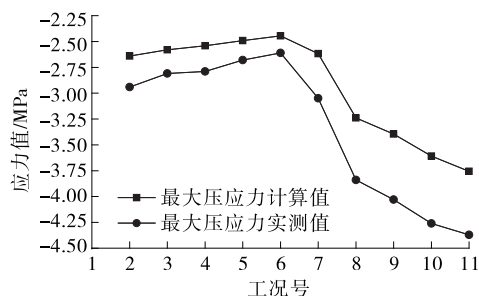


图13 地下连续墙墙体最大压应力对比

体开挖中的实测应力变化规律与理论计算结果大致相同,最大拉、压应力出现位置也一致。随着开挖深度的增加,内衬应力逐渐增大,最大拉应力出现在圆弧顶部距离地面24 m(嵌岩)处,最大压应力出现在

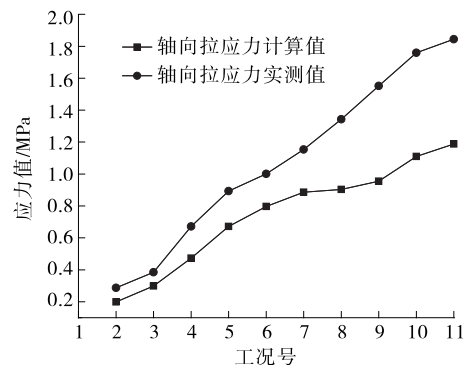


图14 内衬结构轴向拉应力对比

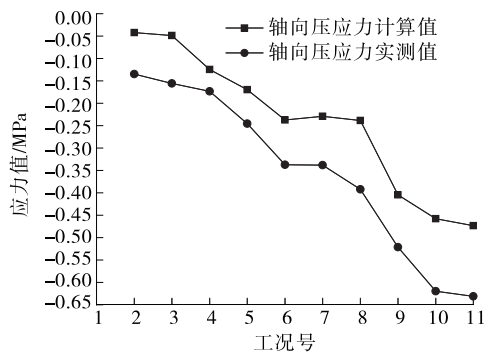


图15 内衬结构轴向压应力对比

Y形槽附近12~13 m处。实测值大于计算值,主要是由内衬砼在浇筑过程中的收缩效应所引起。

综上,监控中未发现墙体和内衬位移、应力超标现象,计算结果与实测结果较吻合,能反映开挖过程中墙体受力变化趋势;测点布置科学合理,覆盖了结构受力的关键节点,能满足工程实际需要。

## 5 结论

(1) 葫芦形地下连续墙具有墙体刚度大、结构位移小的特点,监控中应选用精度高的测量方法及设备,减少测量误差对监测结果的影响。

(2) 锚碇基坑开挖中葫芦形地下连续墙位移监控关键节点共计9处,分别为两圆弧段与桥轴线交点位置、两圆弧段与桥轴线夹角45°位置、中隔墙两端及中点位置。

(3) 锚碇基坑开挖中葫芦形地下连续墙应力监控关键节点共计11处,分别为两圆弧段与桥轴线交点位置、两圆弧段与桥轴线夹角45°位置、中隔墙两端与圆弧段交接处及中隔墙中点位置。

(4) 锚碇基坑开挖中葫芦形地下连续墙内衬应力监控关键节点与墙体应力节点一致,其中圆弧段与中隔墙交接处受力复杂,应重点关注。

## 参考文献:

- [1] 郑刚,焦莹.深基坑工程设计理论及工程应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [2] 高学春.地下连续墙施工技术应用探讨[J].中国住宅设施,2010(1).
- [3] 凌李华,吴欣,董城.葫芦形锚碇基坑地下连续墙开挖阶段变形规律研究[J].公路工程,2016,41(6).
- [4] 栗小祜,吴欣,余进华,等.内衬收缩对葫芦形锚碇基坑地下连续墙墙体位移和应力影响规律研究[J].公路工程,2016,41(2).
- [5] 庄旭.葫芦形基坑地下连续墙施工监测与数值分析[D].长沙:长沙理工大学,2015.
- [6] 陈希,徐伟,段朝静.双圆环形超深基坑支护结构的数值模拟与监测分析[J].同济大学学报:自然科学版,2012,40(2).
- [7] 曹伟,吴合良.洞庭湖大桥葫芦形基坑支护结构施工监控分析[J].公路与汽运,2016(5).
- [8] 李立.地下连续墙施工关键技术研究[J].建材与装饰,2018(4).
- [9] 丁玉平.锚碇基坑嵌岩地下连续墙施工监测研究[J].城市道桥与防洪,2013(7).

收稿日期:2018-09-18

\*\*\*\*\*

# 《公路与汽运》杂志 2019 年征订启事

《公路与汽运》杂志由长沙理工大学主办,是一份介绍汽车、道路、桥梁等公路交通领域科技信息的面向国内外公开发行的技术类科技期刊。国际标准刊号:ISSN1671-2668,国内统一刊号:CN43-1362/U。发行代号:国内42-95,国外DK43002。该刊为首届(2006年)中国高校特色科技期刊、湖南省一级期刊、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊、中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊,被中国期刊全文数据库及中文科技期刊数据库全文收录、万方数据-数字化期刊群全文上网,并荣获首届《CAJ-CD规范》执行优秀期刊奖。

该刊立足公路交通系统,报道国内外汽车与公路交通领域的最新研究成果,荟萃汽车运用与维修技术,传播公路交通安全知识,介绍公路运输行业的新技术与管理经验,刊登公路交通工程的新工艺、新技术、新材料。2019年拟设主要栏目:汽车工程;交通规划与管理;运输与物流;道路工程;桥隧工程;工程经济与管理等。

本刊为双月刊,逢单月25日出版。每期定价15元,全年90元。欢迎订阅。读者可在当地邮局订阅,也可直接向本刊编辑部索取订单订阅。订约款请汇至本刊或银行账号。

通信地址:长沙理工大学云塘校区8号信箱

联系电话:0731-85258189(含传真)

开户行:长沙市农行高云支行

邮政编码:410004

联系人:王文

户名:长沙理工大学

账号:18-051401040000158