

# 南京长江第四大桥南锚碇地下连续墙支护结构设计

崔冰<sup>1</sup>, 贾立峰<sup>1</sup>, 李丹<sup>2</sup>

(1. 中交公路规划设计院有限公司, 北京 100088; 2. 南京重大路桥建设指挥部, 南京 210046)

**[摘要]** 南京长江第四大桥南锚碇基础为支护开挖深埋扩大基础, 采用井筒式地下连续墙支护体系, 平面形状为“∞”形, 长 82 m, 宽 59 m, 由两个外径 59 m 的非完整圆和一道隔墙组成, 壁厚为 1.5 m。隔墙为前后两个非完整圆的支撑结构, 抬高隔墙底标高, 使得基础底板为一整体结构; 填心混凝土施工完成后凿除部分墙体, 既解决了开挖状态下的支护问题, 又使基础顶板有效连为整体。采用“∞”形比圆形或矩形结构形式布置平面面积小, 截面惯性矩大, 且半径较小, 墙体环向应力小, 安全性及可实施性高, 有效降低了工程投入, 提高了结构的安全性。

**[关键词]** 锚碇; 地下连续墙; “∞”形; 南京长江第四大桥

**[中图分类号]** U445 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2013)08-0026-05

## 1 前言

南京长江第四大桥南锚碇为重力式锚碇, 基础形式为支护开挖深埋扩大基础, 采用井筒式地下连续墙支护体系。设计采用了一种全新的平面“∞”形地形连续墙形式<sup>[1]</sup>, 既节约了工程投入, 降低了造价, 又较好地降低了墙体应力水平, 提高了结构安全性。

## 2 工程地质条件

南锚碇基础处覆盖层从上到下依次为: a. 0 层为全新统粉质粘土, 可塑至软塑; b. 1 层为全新统淤泥质亚粘土, 夹粉砂薄层, 流塑状; c. 2 层全新统松散至中密状粉细砂为可液化土层; d. 1 层稍密至中密状粉砂、细砂, 自北向南逐渐变薄, 直至缺失, 为可液化土层; e. 2 层粉细砂, 呈中密至密实状; f. 3 层粉质粘土, 软塑至流塑, 局部夹较多粉砂薄层, 为软弱土层; g. 2 层为上更新统粉细砂, 呈密实状, 北侧

厚, 南侧基本缺失; h. 3 层为上更新统砾石层, 密实状; i. 4 层为上更新统粉质粘土, 可塑状, 仅个别孔揭露, 分布很不稳定。下伏基岩地层为白垩系葛村组砂岩、砂砾岩, 局部夹泥岩, 由北向南基岩面起伏 -38.120 ~ -29.230 m, 岩石强度高, 胶结性能好, 无明显断裂形成的破碎带, 裂隙不发育, 自上而下岩石强度逐渐增加。

南锚碇处地下水可分为松散岩类孔隙水和基岩裂隙水: 孔隙水主要为承压水, 11 月至次年 4 月为枯水期, 地下水位高程约 2.5 m, 含水层由粉砂组成, 北侧厚, 南侧基本缺失, 渗透系数  $k=4.29$  m/d, 影响半径  $r=127.34$  m; 基岩孔隙不发育, 裂隙仅少量发育, 且裂隙连通性较差, 故赋水性和透水性均较差。

地质条件的主要特征: 基岩埋深浅, 岩面起伏大; 岩石强度高, 无明显断裂破碎带, 裂隙不发育; 场区范围内地层分布不均匀; 强风化基岩中风化裂隙较多, 透水性局部较强。基岩面起伏形态示意图见图 1。

**[收稿日期]** 2013-05-22

**[作者简介]** 崔冰(1966—), 男, 河北枣强市人, 教授级高级工程师, 研究方向为桥梁设计; E-mail: nj3q@vip.sina.com

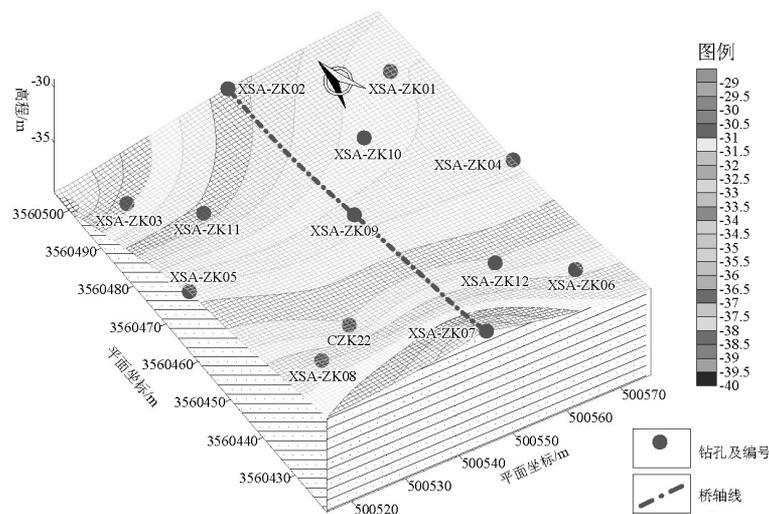


图1 基岩面起伏形态示意图(单位:m)

Fig.1 Top surface fluctuation of bedrock (unit:m)

### 3 结构设计

1)结构形式选择。根据南锚碇场区基岩埋深浅且起伏大的特点,选择地下连续墙作为开挖支护结构。地下连续墙结构刚度大、整体性和抗渗性好;施工对周边环境影响小,对邻近建筑物和地下管线影响较小;墙体可适应基岩起伏形态。地下连续墙作为锚碇深埋基础开挖支护结构,通常采用圆形和矩形结构,本项目根据场地地质条件、结合锚

固系统布置及结构整体受力,选择平面“∞”形结构支护体系。南锚碇为重力式锚碇,持力层为强风化砂岩,结构整体稳定性不控制基础设计。图2是三种结构形式在满足结构构造要求前提下最小的外轮廓尺寸。表1对三种结构形式进行了对比,“∞”形结构布置平面面积最小,截面惯性矩最大,且半径小,墙体环向应力小,可实施性高。同时,由于南锚碇场地有限,管廊、厂房等构筑物众多,“∞”形结构形式可节约场地布置,减小征地拆迁的范围。

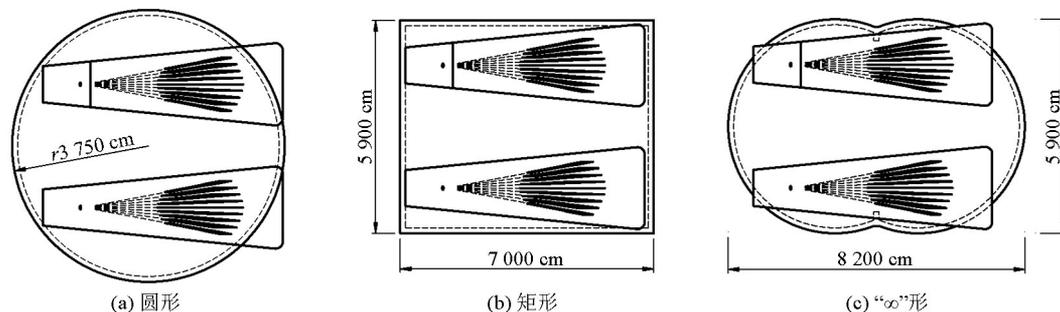


图2 地下连续墙结构形式选择

Fig.2 Types of diaphragm wall foundation

表1 地下连续墙结构形式对比

Table 1 Comparison of diaphragm wall foundation types

对比项	圆形	矩形	“∞”形
平面尺寸/m	D75	70×59	82×59
平面面积/m <sup>2</sup>	4 417.9	4 130	4 056.2
基底平面惯性矩/m <sup>4</sup>	1.55E6	1.69E6	1.80E6
墙体总长度/m	230.9	252	280.7
受力性能	半径大,墙体应力水平高,实施风险大	矩形围护受力性能差,需要大量内撑	半径小,墙体应力水平相应较低

2) 总体设计。南锚碇基础为支护开挖深埋扩大基础, 基坑采用地连墙支护结构体系, 平面形状为“∞”形, 长 82 m, 宽 59 m, 由两个外径 59 m 的非完整圆和一道隔墙组成, 壁厚为 1.5 m。地连墙顶高程 5 000 m, 底高程 -35.000 ~ -45.000 m, 嵌入中风化砂岩约 3 m, 总深度 40.0 ~ 50.0 m。为加强基础底板的整体性, 隔墙底部 4 m 范围设计一道横撑, 横撑高

2 m, 宽 2.5 m。由于强风化基岩中风化裂隙较多, 透水性局部较强, 为避免地连墙底脚发生渗流以及踢脚破坏, 保证基坑的抗隆起稳定性, 地连墙嵌入中风化砂岩约 3 m, 至高程 -35.000 ~ -45.000 m, 地下连续墙总深度 40.0 ~ 50.0 m。内衬层高 3 m, 自上而下厚度依次是 1.0 m、1.5 m、2.0 m。地下连续墙一般构造见图 3。

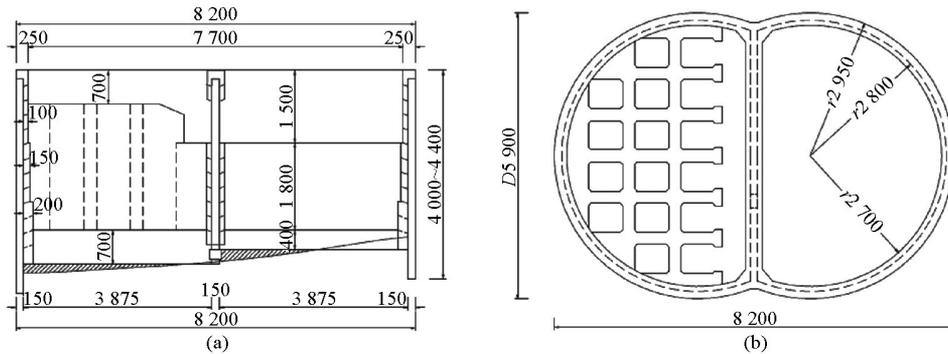


图3 地下连续墙一般构造(单位:mm)

Fig.3 General layout of diaphragm wall foundation (unit: mm)

地连墙施工槽段分 I 期、II 期两种槽段。地连墙 I 期槽段共 32 个, 其中外墙 I 期槽段 26 个, 包括 24 个标准槽段, 2 个特殊槽段; 隔墙 I 期槽段 6 个。I 期槽段采用三铰成槽, 外墙 I 期槽段轴线处长 6.324 m, 其中边孔轴线处长 2.8 m, 中间孔轴线处长

0.724 m, 槽段相邻孔段交角为 176.5°; 隔墙 I 期槽段长 2.8 m 及 6.944 m。地连墙 II 期槽段共 33 个, 其中外墙 II 期槽段 26 个, 隔墙 II 期槽段 7 个; II 期槽段长均为 2.8 m。地连墙外墙 II 期与 I 期之间交角为 175.0°, 轴线处搭接长度为 0.273 m (见图 4)。

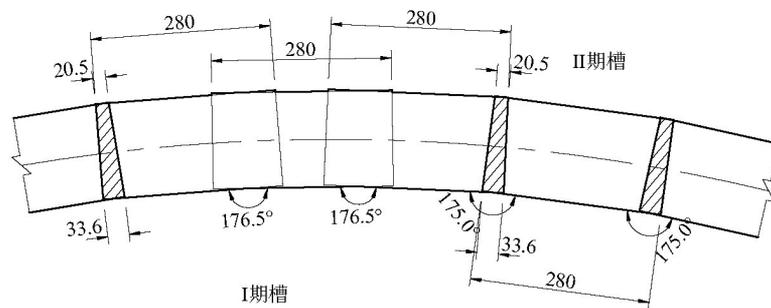


图4 地连墙槽段接头构造(单位:mm)

Fig.4 Connection joints of diaphragm wall foundation sections (unit: mm)

3) 隔墙设计。隔墙为前后两个非完整圆支撑结构, 对保持结构稳定, 改善墙体受力至关重要。可以采取地连墙与外墙同时施工, 也可随土体开挖逆作施工。采用地连墙支撑结构墙体变形小, 最大开挖状态下最大矢量位移 8.7 mm; 而逆作支撑结构墙体变形大, 最大开挖状态下最大矢量位移 23.7 mm。逆作法施工横撑发挥作用时, 墙体变

形已经部分形成, 抑制了非完整圆墙体的拱形效应, 使得两圆交角处“Y”形槽段受力较大, 底部最大压应力约 25 MPa, 有较大风险。图 5 为两种支撑形式隔墙中央沿高度方向支撑力分布。逆作施工横撑支撑力分布上大下小, 地连墙横撑支撑力分布上小下大, 总支撑力前者约为后者的 50%。

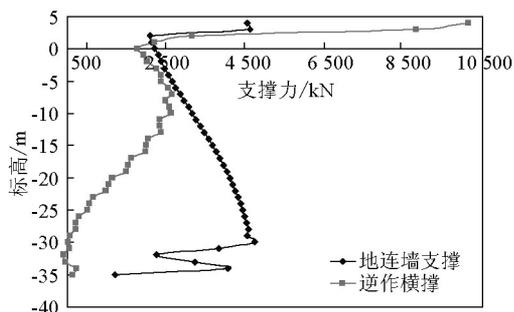


图5 两种支撑形式隔墙中央沿高度方向支撑力分布  
Fig.5 Braced stress distribution versus depth of central partition for two different braced types

为确保结构的受力安全,发挥非完整圆墙体拱形效应,设计采用地连墙支撑结构作为两个非完整圆横向支撑,但隔墙对锚碇基础的分割破坏了结构的整体性。由于隔墙仅为支撑结构,通过抬高隔墙底标高,留出底板范围内空间,使得基础底板连成整体;同时,弱化基础顶板范围内隔墙配筋,取消部分隔墙内衬,填心混凝土施工完成凿除部分墙体,既解决了开挖状态下的支护问题,又使基础顶板有效连为整体。图6为开挖状态下隔墙支撑半结构立体示意图,图7为基础顶板施工状态下隔墙支撑半结构立体示意图。

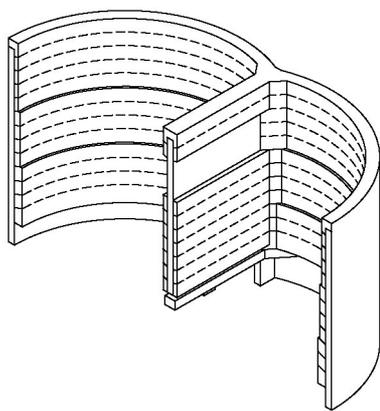


图6 开挖状态下隔墙支撑  
Fig.6 Partition under excavation

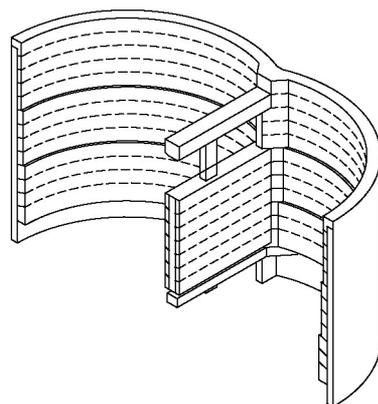


图7 基础顶板施工状态下隔墙支撑  
Fig.7 Partition under top plate construction

设计采用法国基础公司 PAROI2、Ansys®、ABAQUS 三种程序对各种工况下结构的受力进行了验算,施工过程中全过程跟踪监测数据,理论计算与实测数据吻合良好;自2009年8月南锚碇开始开挖,2009年12月顺利完成底板浇筑,墙体累计最大变形为12 mm,相对位移仅为0.03%,与国内外同类基坑变形相比非常小,围护结构各控制断面的应力和周边土体的沉降也小于预警值,整个开挖过程中围护体系始终处于正常运行状态,无异常突变;与国内已实施的锚碇地连墙结构相比,最大变形远远小于矩形基坑,与圆形基坑相近;周边环境无明显沉降,确保了周围管廊带和民居的安全。

#### 4 结语

1)“∞”形地连墙可大幅减小单圆半径,结构受力较小;可最大限度节约场地并减少投入,改善锚碇基础结构整体受力,为今后桥梁锚碇基础支护结构设计提供了一种新形式。

2)地连墙隔墙支撑形式使“∞”形墙体受力更加合理,墙体变形小,且施工简便可靠;填心施工完成后凿除部分墙体最大限度保证了基础顶板的整体性。

#### 参考文献

- [1] 崔冰,董萌,宋颖彤,等.一种新型基础支护结构:中国,ZL 2010 2 0276483.5[P]. 2010-07.

# The design of the south anchorage diaphragm wall for the Fourth Nanjing Yangtze River Bridge

Cui Bing<sup>1</sup>, Jia Lifeng<sup>1</sup>, Li Dan<sup>2</sup>

(1. CCCC Highway Consultants Co., Ltd., Beijing 100088, China;

2. Nanjing Major Road & Bridge Construction Commanding Department, Nanjing 210046, China)

**[Abstract]** This paper introduces the design of deep buried spread foundation with braced excavation system for the South Anchorage of the Fourth Nanjing Yangtze River Bridge. The braced excavation system applied can be described as shaft diaphragm wall foundation with the plane section of “∞” shape including two 1.5 m-thick 59 m-diameter semi-circle and one 1.5 m-thick separation wall, and total length of 82 m and width of 59 m. However the separation wall provides the support for two semi-circles, it will not separate the bottom plate of foundation as the bottom elevation of wall is constructed in a higher level; and the separation wall is to be removed slightly in order to construct the top plate as a whole. The form of “∞” shape is superior than that of circle and rectangular by smaller plane area, larger cross sectional moment of inertia, smaller radius, smaller circumferential stress of diaphragm wall and better safety and feasibility, which great reduces the total costs and improved the construction safety.

**[Key words]** anchorage; diaphragm wall; “∞” shape; the Fourth Nanjing Yangtze River Bridge