

文章编号:1671-6833(2011)04-0001-03

# 双排桩复合重力拱支护体系的工作机理分析

郭院成<sup>1</sup>, 郭桂叶<sup>2</sup>, 张景伟<sup>1,3</sup>

(1. 郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 河南建筑职业技术学院, 河南 郑州 450064;  
3. 郑州市市直机关事务管理局, 河南 郑州 450007)

**摘要:** 双排桩与水泥土重力拱复合形成新的支护体系, 可充分发挥其重力效应, 将靠近坑底部分较大的土压力直接通过重力拱支护向下传至深部土体, 中上部土压力通过拱形支护传至抗侧移刚度较大的双排桩支护结构从而充分发挥复合支护体系各部分的承载功能和效益, 同时满足高地下水时基坑截水设计要求. 针对其构造特点选取合理的理论分析模型, 通过分析复合支护体系上的土压力传力路线, 研究双排桩复合重力拱支护体系的工作机理, 为该类复合支护结构的工程应用和设计计算理论的建立奠定一定的理论基础.

**关键词:** 地基基础工程; 复合支护体系; 双排桩支护; 重力拱支护; 工作机理

**中图分类号:** TU473.1      **文献标识码:** A

## 0 引言

双排桩以其较大的抗侧移刚度常用于对基坑周边侧移限制严格, 城市人口密集地区的环境条件, 拱形支护以其较大的弯剪刚度和合理的受力性能, 特别是采用水泥土材料时具有良好的止水功能, 常用于地下水位较高地区, 将二者进行有机组合, 形成双排桩复合连拱支护体系, 可实现高水位城区的基坑支护工程. 对于深度超过 12 m 的城区基坑工程, 直接采用双排桩复合连拱支护结构可能造成连拱支护部分环向压力过大, 或土压力作用下产生过大的顶端侧移. 将连拱支护部分的壁厚加大形成双排桩复合重力拱支护体系(如图 1 所示), 可实现更大的开挖深度.

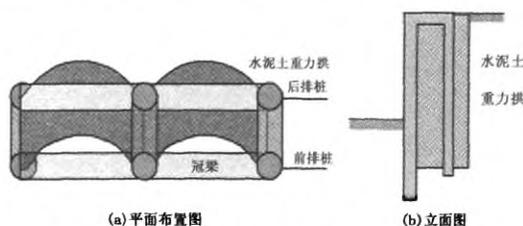


图 1 双排桩复合重力拱支护体系构造示意图

Fig. 1 Double-row piles composite gravity arch supporting system structure schematic diagram

## 1 重力效应分析

重力式挡土墙依靠其自身的重力荷载提供抗倾覆力矩, 以平衡墙后土压力的作用, 形成稳定的支护体系. 双排桩复合重力拱支护体系随着开挖深度的增加, 墙后土压力的传力路线逐渐发生变化. 如图 2 所示,  $B$  为重力拱结构的等效宽度,  $h_0$  为重力式挡墙的极限深度. 则当开挖深度  $h'$  小于  $h_0$  时(图 2(a)), 复合支护结构在墙后土压力作用下, 依靠其自身重力荷载即可提供平衡力矩. 即存在

$$M_{G0} \geq M_{Pah0} \quad (1)$$

开挖深度  $h' > h_0$  时(图 2(b)), 重力荷载所提供的抗倾覆力矩:  $M_{G'} = M_{Pah'_0}$ , 支护结构单依靠自身重力荷载不能提供平衡力矩, 存在

$$M_{G'} < M_{Pah'} (= M_{Pah'_1} + M_{Pah'_0}) \quad (2)$$

上部荷载  $P_{ah'}$  直接作用于拱体, 通过拱体传至双排桩支护结构上, 再通过双排桩传至土体深部.

开挖至设计深度时(图 2(c)), 重力荷载所提供的抗倾覆力矩:  $M_G = M_{Pah_0}$ , 存在

$$M_G < M_{Pah} (= M_{Pah_1} + M_{Pah_0}) \quad (3)$$

收稿日期: 2010-11-08; 修订日期: 2011-03-18

基金项目: 河南省自然科学基金资助项目(0611010300).

作者简介: 郭院成(1965-), 男, 河南辉县人, 郑州大学教授, 博士, 博士生导师, 研究方向为复合地基与基坑支护工程, E-mail: guoyc@zzu.edu.cn.

显然,重力拱结构的存在提供了一定的抗倾覆力矩,平衡了深部土体的土压力,可使作用于支护结构其他部分上的土压力有所减小。

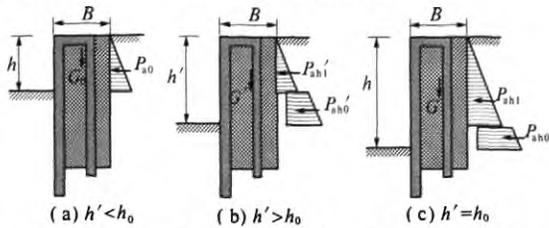


图2 双排桩复合重力拱支护体系的重力效应分析图

Fig.2 Double-row piles composite gravity arch supporting system gravity effect analysis chart

## 2 水平拱效应分析

拱支护结构依靠其空间刚度和环向传力,使拱结构承载过程中形成以环向受压为主的合理承载体系.如图3所示,作用于水泥土拱体支护结构上部的土压力,部分通过拱体向双排桩支护结构传递,通过双排桩向下传至深部土体,同时使水泥土拱体内产生环向压力、双排桩结构产生弯矩和剪力;另一部分依靠拱体自身提供的弯剪刚度,直接向下传至深部土层,使水泥土拱体产生水平向剪力和竖向弯矩。

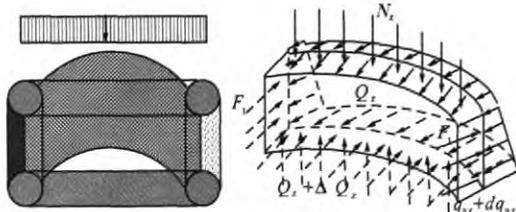


图3 双排桩复合重力拱支护体系的水平拱效应分析图

Fig.3 Double-row piles composite gravity arch supporting system horizontal arch effect analysis chart

因此,双排桩复合重力拱支护体系的水平拱效应是将桩墙式结构在水平土压力作用下的垂直受力状态通过拱结构的水平环向传力机制,将垂直于拱截面的水土压力产生的弯拉应力转化为沿拱轴方向的环向压力,从而充分发挥拱体混凝土抗压强度高、双排桩抗侧移刚度大的技术优势,提供选型上的保证.计算简图如图4所示,作用于拱结构上的土压力分为两部分: $p_{ah}$ 通过拱体传至双排桩上,可按图4(a)近似计算; $p_{ah'}$ 通过拱体直接向下传递,可按图4(b)近似计算。

## 3 弯剪效应分析

双排桩复合重力拱支护结构可以分为双排桩

和重力拱两部分,二者均可独立提供抗弯剪刚度,承担水平土压力.双排桩由前排桩和后排桩通过刚度较大的冠梁相连,形成抗侧移刚度较大的支护结构,水平荷载作用下的侧移呈弯剪型曲线;拱结构以其较大的空间刚度,在水平土压力作用下其侧移也以弯剪型变形曲线为主.因此将二者复合形成新的支护体系,其抗侧移刚度更大,水平土压力作用下所产生的侧移将显著减小,但其变形曲线形状和特征没有显著变化.在土压力作用下双排桩复合重力拱支护结构的受力变形计算问题关键是土压力在双排桩和拱结构之间的分配问题,近似假定作用于双排桩和拱结构上的土压力在分配前和分配后特征不变,如图5所示,则有:

$$P_{ah} = P_{ah'} + P_{ah''} \quad (4)$$

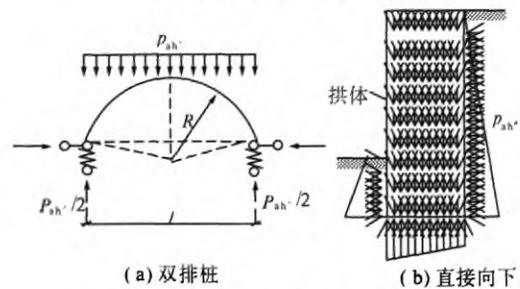


图4 双排桩复合重力拱支护体系分析图

Fig.4 Double-row piles composite gravity arch supporting system g analysis chart

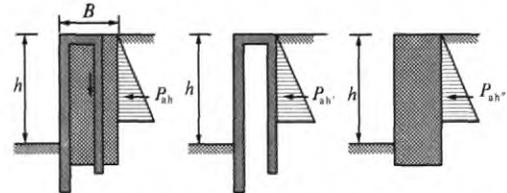


图5 双排桩复合重力拱支护体系的弯剪效应分析图

Fig.5 Double-row piles composite gravity arch supporting system bending shear effect analysis chart

双排桩支护结构在  $P_{ah}$  作用下,在竖向排桩上主要产生弯矩和剪力;拱结构在  $P_{ah'}$  作用下,在拱结构上主要产生水平剪力.二者协同作用,以其抗弯剪刚度共同承担水平土压力的作用。

## 4 土压力的传递与分配

作用在复合支护结构上的外部主动区土压力可以分为上下两部分: $P_{ah}$ 和  $P_{ah_0}$ (如图6所示),其中  $P_{ah_0}$ 直接由复合支护结构的重力效应承担,  $P_{ah}$ 由双排桩和拱结构的弯剪效应承担,具体分为  $P_{ah}$ 及  $P_{ah''}$ ,其中  $P_{ah}$ 表示作用于拱体,通过拱体而传递到双排桩支护结构上的土压力,使拱体产生环向压力,双排桩产生弯矩和剪力; $P_{ah''}$ 表示作用

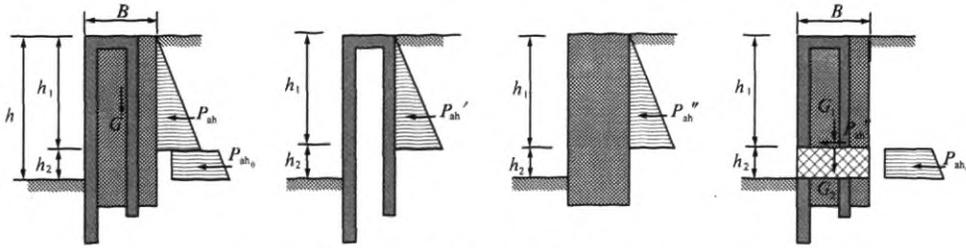


图6 双排桩复合重力拱支护体系土压力分配与传递示意图

Fig.6 Double-row piles composite gravity arch supporting system soil pressure distribution and transmission analysis chart

于拱体,依靠拱结构自身弯剪刚度直接向下传递的土压力,只在拱结构自身产生弯矩和水平剪力。

## 5 结论

双排桩复合重力拱支护体系的工作机理是重力效应、水平拱效应和弯剪效应的综合作用,开挖过程中所产生的土压力分两层传递和承担。依靠复合支护体系自身重力荷载优先平衡靠近坑底部分的墙后土压力,中上部土压力则通过双排桩支护结构和中上部拱结构的弯剪效应向下传递至深部土层,从而达到加大开挖深度、减小基坑侧移的设计目的。

## 参考文献:

[1] 季三荣,张建成,郭院成.双排桩复合连拱支护结构

的三维有限元分析[J].河南科学,2009,27(3):27-32.

[2] 冯俊昌,秦文昌,郭院成,等.连拱复合内支撑支护结构的工程实践[J].河南科学,2008,26(12):1618-1621.

[3] 郭院成,郭呈祥,叶永峰.基于水平土拱效应的排桩支护结构合理桩间距的研究[J].四川建筑科学研究,2008,34(4):136-139.

[4] 郭院成,李峰,杨文.水泥土连拱支护结构的工作性状分析[J].人民黄河,2008,30(7):76-77.

[5] 郭院成,杨文,周同和.水泥土连拱支护的三维有限元分析[J].郑州大学学报:工学版,2008,29(1):66-69.

## Research on Working Mechanism of the Compound Pit-retaining System of Double-row Piles and Gravity Arch

GUO Yuan-cheng<sup>1</sup>, GUO Gui-ye<sup>2</sup>, ZHANG Jing-wei<sup>1,3</sup>

(1. School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Henan Technical College of Construction, Zhengzhou 450064, China; 3. Zhengzhou Municipal Management Bureau, Zhengzhou 450007, China)

**Abstract:** The new pit-retaining system composed of double-row piles and cement-soil gravity arch will make full use of gravity effect, which transmits the relatively high earth pressure close to the bottom of pit down to deep soil through gravity arch, and the upper earth pressure to double-row piles, which have better lateral resisting stiffness, and further to deep soil. The compound pit-retaining system has the advantages of each single sub-system, and meets the requirements of water-cutting in case of high ground water level. This paper intends to analyze the form of load effect transmission in the compound system by choosing a proper theoretical analysis model in accordance with its construction features, studies the working mechanism of this system and provide certain reference basis for engineering design, calculation and application of such compound pit-retaining system.

**Key words:** base foundation; compound pit-retaining system; double-row piles retaining structure; gravity arch retaining structure; working mechanism