

# 连拱形基坑支护体系

## ——对一种新型支护体系的探讨

詹集明

(福建八闽房地产开发有限公司, 福建福州 350004)

**【摘要】** 连拱形基坑支护体系, 由现浇钢筋混凝土连拱形薄壁地下墙和装配式钢管混凝土连拱形内支撑组成。它是以提高基坑工程的综合效益为目标而提出的一种新型基坑支护体系。

**【关键词】** 基坑支护; 连拱形; 综合效益; 钢管砼; 装配式; 内支撑

**【中国分类号】** TU471.1<sup>+</sup>4

**【Abstract】** The continual arch form supporting system is made up of arch-shape field operating reinforcement concrete thin diaphragm wall and assembly steel pipe concrete continual arch shape interior supporting. It is a new bracing foundation pit system that can increase synthetical benefit of foundation engineering.

**【Key words】** bracing foundation pit; continual arch form; synthetical benefit; steel pipe concrete; assembly shape; interior support

### 1 概述

“连拱形基坑支护体系”, 由现浇带肢连拱形薄壁钢筋砼地下连续墙及装配式连拱形钢管砼内撑组成(见图1)。本支护体系采用连拱形支护结构形式, 射水成槽地下连续墙, 装配式内撑, 并考虑了利用连拱形地下连续墙作为地下室永久性的承重、挡土、防渗结构, 因而可取得保证安全、缩短工期、降低造价的良好效果。符合“建筑业10项新技术”中深基坑支护技术的发展方向, 即“内支撑应逐步实现工具化、模数化、系列化, 以便重复使用; 挡土结构尽量与永久性结构相一致。”

### 2 主要思路

#### 2.1 基坑支护设计与施工应考虑综合效益

在确保安全的前提下, 应尽量做到支护结构施工与基坑土方开挖、地下室结构施工都方便, 缩短工期、降低造价, 并使这些目标得到合理的平衡, 以期取得最佳的综合经济效益。现在常用的基坑支护往往只作为一种保证施工安全的临时措施来考虑, 存在着施

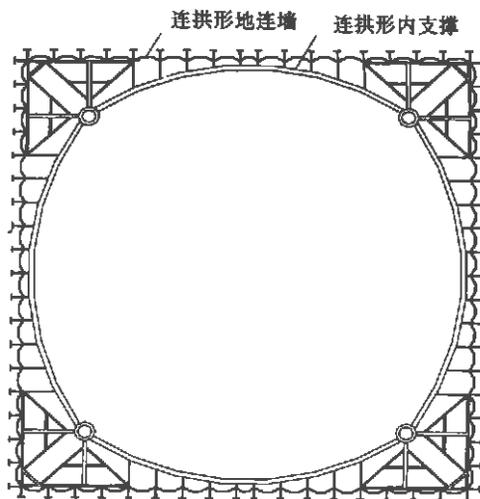


图1 连拱形支护体系平面布置图

工不方便、占用工期长、一次性使用投资大、综合效益差的缺点。因此, 寻求提高基坑支护的综合效益是十分必要的。“连拱形基坑支护体系”就是根据上述目标的综合要求, 经过反复探索研究、优化筛选提出的一种新型基坑支护体系。

## 2.2 提高基坑支护综合效益的途径

### 2.2.1 根据结构的功能选择合理的结构形式

基坑支护结构承受巨大的土侧压力,具有荷载大、跨度大的特点,与桥梁有相似之处。目前常用的桩墙——内撑式支护结构,传力环节多,围护结构(桩墙、环梁)为受弯构件,构件截面大,配筋多,因而造价高,位移变形往往也较大。为了克服这些缺点,连拱形基坑支护体系,选用桥梁上常用的力学性能良好的拱形结构。拱是一种受轴压为主的结构,它的各个截面的负荷又大致相等,它是一种很有效的能承受大荷载的大跨度结构。选用连拱形作为基坑围护与内支撑的结构形式显然是合理的,还有利于选用抗压强度高,价格相对较低的砼作为结构材料,并设法使拱形内支撑结构靠近基坑周边布置,围护结构承受的力直接传至拱形内撑,这种结构形式,不但受力合理,传力直接,而且形成开敞的空间,施工十分方便。

### 2.2.2 根据构件的受力特征,选择合理的截面形状

连拱形地下墙(见图2和图3)的拱脚桩,承受由拱壁传来的垂直于桩身的巨大压力,它实质是受弯构件,故选用大跨度、大荷载钢筋砼受弯构件常用的T形断面,这种断面形式既可以提高截面的有效高度( $h_0$ ),提高结构的刚度,同时又可减小配筋,砼用量相对也较小。此外,还将地连墙设计成带肢地连墙,桩肢选择良好的土层作为持力层,深入良好土层足够深度,以减少桩的平面位移(踢脚),避免产生因桩的位移过大引起支护系统

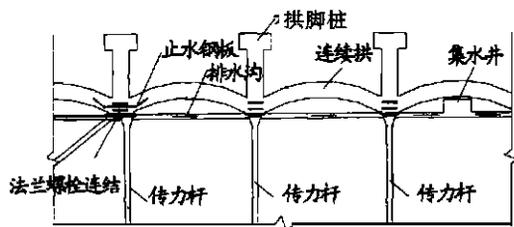


图2 带肢连拱形地连墙平面

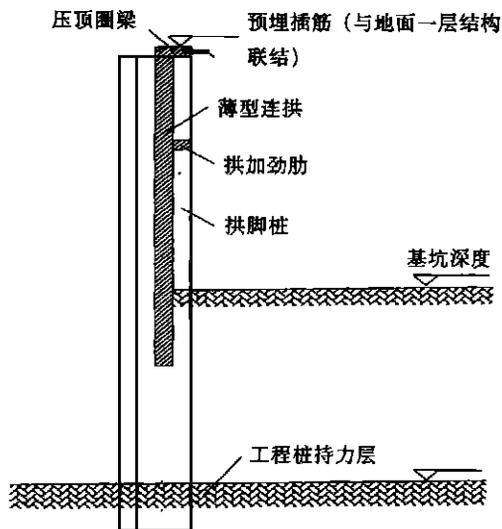


图3 带肢地连墙剖面图

变形过大,又能减少连拱形地连墙的沉降,有利于利用它作为地下室永久性结构。拱壁作为挡土、防渗结构,则不必深入良好土层,只要满足抗涌土、防水要求即可,因而可降低拱壁的深度,降低造价。

### 2.2.3 根据构件的受力特性,选用能充分发挥材料特性的材料

本体系连拱形地连墙为轴心受压为主的拱形结构,要满足防水要求,选用抗压强度高的抗渗砼。它比受弯构件的平直地下墙可以作的更薄。内支撑亦为拱形结构,要满足工具化、重复使用的要求,便于周转、运输、装配且经久耐用。因此,选用抗压强度比砼高的钢管砼(其组合抗压强度为砼的1.7倍)作为内支撑的材料,是十分理想的。拱形内撑支座,承受巨大压力,亦选用钢管砼。

### 2.2.4 围护结构要加以利用,以降低工程造价

围护结构投资大,一次性使用后丢弃是很可惜的,要加以利用,作为永久性的地下室外墙。用射水成槽建造的地连墙,墙面平整,密实性好,无渗水现象,连拱形地连墙主要受压,不易产生裂缝、漏水,充分显示其优良的

挡土、防渗和承重性能。利用其作为地下室的外墙，可节约相当部分地下室外墙的费用。同时可省去基坑止水费用。连拱形地连墙利用，采用分离墙设计(见图4)。地连墙作为地下室的挡土、防水结构，垂直荷载仍由主体结构的工程桩承担，在内侧另砌砖隔墙，在隔墙外设排水沟，集水井，排除偶发积水。

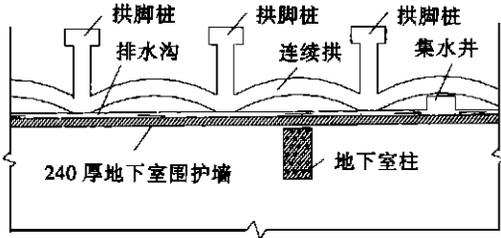


图4 分离墙平面图

为了缩短工期，降低造价，内支撑的构件要工具化，预制构件要模数化、系列化。要用装配式施工。

### 3 连拱形基坑支护体系的设计原理

连拱形支护体系，其传力途径(见图5、图6)是：基坑侧壁(中部)的土侧压力 $q_0$ 传给连拱形地下墙的拱圈，并转化为拱圈的轴压力 $N$ ，传给拱脚。在拱脚(桩)处，该轴压力可分解为垂直坑壁向压力 $V$ 和平行坑壁向水平推力 $H$ ，相邻拱圈的水平推力相互抵消，竖向压力(土压力)由拱脚桩承担，拱脚桩

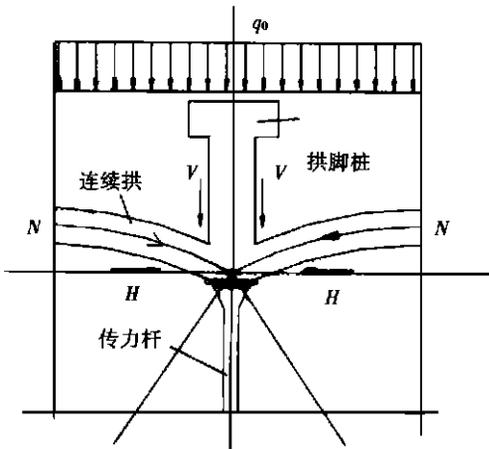


图5 地下墙传力示意图

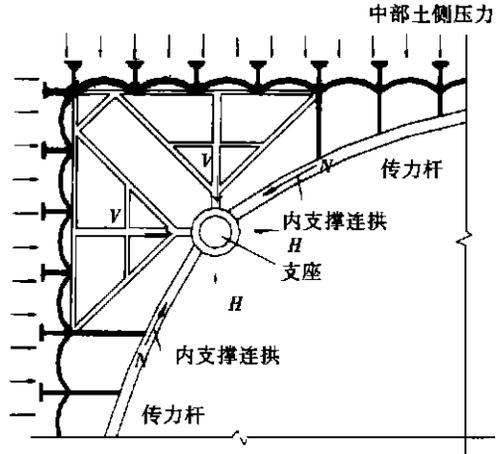


图6 连拱形支撑传力途径

承受的土压力的一部分，通过传力杆传给拱形内撑。另一部分由基坑底部以下的土体承担。拱脚桩作为集中承担土侧压力的受弯构件，产生的弯矩极大。应加大其截面的有效高度，以减小配筋量。

承受传力杆传来的土侧压力的拱形内撑，在拱圈转化为轴压力，传给拱脚支座。在拱形内支撑平面内，该轴压力可分解为沿拱座中心连线的水平推力 $H$ 和垂直拱座中心连线向压力 $V$ ，拱脚水平推力大部分被邻拱的竖向压力抵消，剩余的水平推力与三角桁架传来的基坑端部土侧压力相互抵消，从而保持了力系的平衡和结构的稳定。简而言之，就是基坑一侧的中部的土侧压力与邻侧的端部的土侧压力达到了相互平衡(见图7)。在设计时，可以调整内支撑拱圈与三角

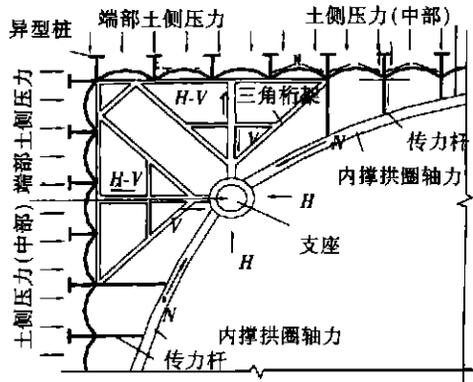


图7 拱座力系平衡示意图

桁架承受土侧压力的范围,以达到连拱支座力系的平衡,如调整有困难,计算的剩余推力略大于三角桁架传来的土侧压力,有少量不平衡,则不平衡力由端部土体承担,由于土层的横向刚度往往都大于竖向刚度,不会产生过大的变形。

#### 4 连拱形基坑支护的主要设计与施工

##### 4.1 连拱形钢筋砼地连墙

钢筋砼拱形墙,每个单元5m左右,主要承受轴压力。根据土侧压力计算确定墙的厚度。为了达到可靠的防水要求,其厚度应不少于250~300mm。只作构造配筋即可。拱脚支承桩是受弯构件,根据其承受的从拱形墙体传来的压力大小确定其截面和配筋。

##### 4.2 装配式连拱形钢管砼内撑

按照“实现工具化、模数化、系列化,以便重复使用”的要求,全部采用钢管砼预制构件,便于现场装配、拆除的思路进行设计。

为了减少结构变形产生的附加应力和弯矩,内支撑拱圈选用无拉杆抛物线拱,拱的矢跨比 $1/6 \sim 1/5.5$ ,拱圈分段预制,法兰拼接成形。砼标号及钢管壁厚根据对拱圈的强度要求选用。拱圈强度要留有余地,以适应大小不同基坑的使用要求。此外,为了拼接不同的拱圈长度,除基本段(4~5m)外,应预制不同长度的填补段(为2m、1m、0.5m、0.2m、0.1m等),实现模数化。还可预制不同的强度系列,以适应大小深浅不同的地下室的需要,形成系列化。

将拱脚桩承受的土侧压力传给内撑拱圈的传力杆采用钢管砼,用法兰与拱脚桩和拱圈联结。

三角桁架承受端部土侧压力。由H型钢和钢管砼组成。

钢管砼内撑拱座为内撑体系的交汇处,与各构件联接采用铰接。拱座支承柱采用钢管砼柱插入灌注桩内。

##### 4.3 主要的施工方法

(1)关于拱脚桩、拱形墙的施工

带肢连拱形地下连续墙,其平面形状比较复杂,用传统的地连墙建造技术难度大,而用射水成槽、泥浆护壁技术建造,则比较容易做到。射水成槽建造堤坝防渗墙已是成熟技术,用来施工基坑围护墙也有先例。成型器的加工比较方便,造价也不太高,可加工不同形状的射流成型器,以适应其复杂形状的特殊要求。具备了适用的成型器,其他施工工序和机具与一般的射水成槽施工是一样的,不再赘述。此外,还可用异形组合钻头施工异形孔槽(见图8)成墙工艺可有以下二种选择:一是用现浇钢筋砼建造,跳格施工,先施工拱脚桩,后施工拱形墙,接头用预制钢筋砼连接件(见图9),即拱脚桩成槽后,先将预制钢筋砼连接构件插入端部接头位置,然后浇灌砼。拱脚桩完成后,再施工拱形墙。二是可用现浇与预制相结合方法建造:跳格施工,先施工(吊入)预制拱形墙体,后现浇拱脚桩(见图10)。



图8 组合钻施工异形孔槽示意图

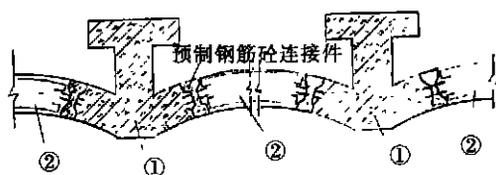


图9 现浇带肢连拱形地下墙施工示意图

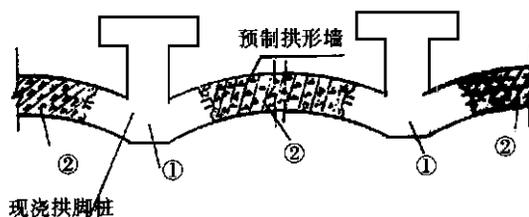


图10 预制与现浇相结合连拱形地下墙施工示意图

拱形结构应力与形状关系极大,应准确放样。同时土方开挖要对称开挖,确保支护结构均匀受力。

连拱形基坑支护体系为新颖的基坑支护结构体系,拱形结构对变形敏感。要加强监测,实行信息化施工。以便根据监测结果,视情况采取必要的措施。

## 5 本支护体系的特点和适用条件

连拱形支护体系是在吸取以往不同基坑支护的优点,克服存在的缺点,经分析、研究、综合后而提出的。因而,它具备一系列的特点:

1) 传力直接 地下墙拱脚桩承受的土压力通过传力杆直接传给内支撑拱圈,取消了传统的环梁(围檩)。

2) 拱形结构,受力合理,能充分发挥材料的特性。在连拱形地连墙的拱脚处,水平推力相互抵消,在内支撑拱脚支座处,相邻拱的水平推力大部分被竖向压力相互抵消,这都有利于结构体系的内外力系保持平衡和结构保持稳定。

### 3) 工期大大缩短

连拱形内撑由于采用工具化构件,装配式施工,安装拆除均很方便,不需要现浇结构的养护和凿除时间,工期大大缩短。且基坑空间开敞,便于土方开挖与地下室结构施工,可加快地下室施工进度。

4) 支护体系由于力系自身平衡,且结构刚度大、变形小,基坑对周边环境的影响也小。

### 5) 工程造价大大降低。

本体系应用范围广,一般土层的基坑均能适用。尤其适用软土地层基坑。装配式连拱形内支撑,除与连拱形地下墙配合使用外,稍加改变,还可与其他桩墙,地下墙配套使用。由于采用拼装方式,可长可短,运用灵活。因此,对各种不同形状大小的基坑均有较好的适应性。特别对于基坑面积大,开挖深度大的基坑,其经济效益更为明显,对于深

度不大的基坑,连拱形地连墙也可不加内支撑,成悬臂状态使用。

## 6 连拱形基坑支护体系的效益

本体系由于以提高综合效益为目标,采用合理的设计方案,预期的效益是很高的。

### 1) 带肢连拱形地连墙的效益

据对某基坑(长 56 m,宽 44 m,开挖深度 8.5 m。二层地下室。场地地层为:1.8 m 厚杂填土,16 m 厚淤泥,4.3 m 粘土)的估算,采用带肢拱形薄壁地下墙,与传统的排桩( $\phi 800$  钻孔桩)十井字型内撑相比可节约造价 110 万元;与传统的平直地连墙(墙厚 800 mm)相比,可节约造价 170 万元(见表 1)

表 1 连拱形地连墙经济效益对比表

序号	项 目	与围护桩相比	与地连墙相比
		节约造价/万元	节约造价/万元
1	墙体	10	150
2	钢筋	15	5
3	环梁	15	15
4	旋喷止水桩	20	
5	墙体利用	40	
6	永久防水	10	
7	合计	110	170

### 2) 连拱形内支撑的经济效益

采用装配式施工,支撑体系可适用不同的形状、大小和围护结构的基坑,各构件为可重复使用(至少周转 30 次以上)的工具——工具化。因而每个基坑工程摊销的费用很小。据某工程 50 m $\times$ 44 m,二层地下室基坑估算对比,本体系的造价和工期占用,分别只有钢筋砼支撑的 1/6 和 1/5,节约造价 28 万元,缩短工期 20d。由于空间开敞,土方可机械开挖,汽车入坑运土,结构施工方便,产生的效益也是很可观的。

## 7 结 语

连拱形基坑支护体系,传力直接,受力合理,充分利用材料的特性,支护结构及地下室施工都很方便。该体系刚度大,变形小,可以

(下转 179 页)

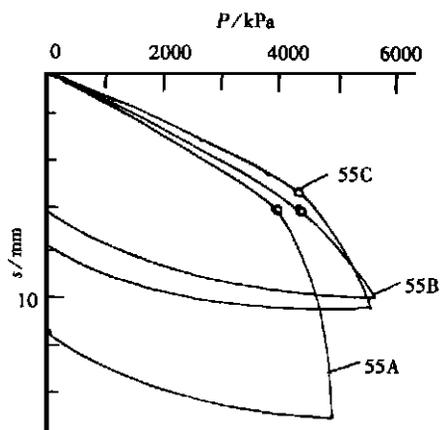


图5 地梁下灰土垫平板静载荷试验  
 $P-s$ 关系曲线

②砖砌墙, 比例界限  $P_0$  值最小为 4 400 kPa, 变形模量  $E_0=329.0$  MPa, 当最大荷载加至 5 600~6 400 kPa 时,  $P-s$  曲线明显呈直线段, 总沉降量  $s=0.81\sim 1.24$  mm 左右。

综合上述资料分析, 得知地基强度极高, 相比之下砖砌墙优于灰土垫层。由此证明地基承载力, 尚存在一定安全储备, 加层设计是安全可行的。

## 6 结语

1) 本工程建筑物加层, 采用预压桩进行地基加固补强, 实测单桩承载力标准值大于设计值, 满足规范<sup>[3]</sup>要求。经试桩验证加层设计可靠, 安全可行。

2) 加层竣工后, 经过三年多使用、回访观察, 建筑物墙体完好, 沉降观测无异常, 使用正常, 实践证明加层是成功的。

(上接第 151 页)

说, 这是一种工程质量和安全有保证、造价低、工期短、综合效益好的支护体系, 它符合基坑支护技术的发展方向, 因而是一种很有发展前景的基坑支护体系。

## 参 考 文 献

- 1 张祖闻, 陈新余. 闭合挡土拱圈支护深基坑. 见: 黄熙龄主编. 高层建筑地下结构及基坑支护. 北京: 宇航出版社, 1994

3) 预压托换突出优点: 设备小巧、移动灵活、简而易行、施工无噪音, 无公害, 非常适用于建筑物密集建筑群地段施工; 压桩机理明确, 直观可靠, 效果显著, 控制沉降最佳, 维持稳定快, 是地基加固补强较有效方法。

4) 钢筋网片夹板墙法优点: 其功能可解决房屋加层或超载引起墙体承载力不足, 可较大的提高墙体的承载力, 抗侧刚度以及墙体延性, 是结构墙体加固补强可靠方法, 具有实用价值。

5) 预压桩托换, 桩顶施加  $1.5 R_k$  压力, 必须恒压保持压力稳定再托换, 实践证明其效果最佳, 阻止桩顶回弹越小, 形成反力越大, 其承载力也最高。

6) 本工程基础下采用平板载荷试验是可行的, 试验表明, 旧建筑遗留下的灰土垫层和砖砌墙, 是地基储存地潜力。

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国原城乡建设环境保护部. 建筑地基基础设计规范, 北京: 中国建筑工业出版社, 1989
- 2 陈国政. 桩式托换柱基纠偏与顶升工程实例, 岩土工程学报, 1993, 15(2), 60~61
- 3 中华人民共和国行业标准, 建筑地基处理技术规范(JBJ71-91)北京: 中国计划出版社, 1992, 48
- 4 管德明, 锚梁式静压桩法. 见: 唐念慈, 选江主编. 南京: 南京大学出版社, 1992, 156~157.

收稿日期: 2000-06-03

- 2 曹福杰. 水泥搅拌桩拱形坝体在软土深基坑支护的应用. 建筑技术, 1999(2), 98~99
- 3 詹集明. 预制装配式基坑支护体系. 福建建筑, 1996(1)45~49
- 4 龚晓南, 高有潮主编. 深基坑工程设计施工手册. 北京: 中国建筑工业出版社
- 5 牟玉玮, 王曰忠, 牟彦艳. 用改变桩型的方法提高灌注桩承载力. 岩土工程学报, 1998, 20(3), 120~122

收稿日期: 2000-02-18