

文章编号: 0451-0712(2004)11-0047-05

中图分类号: U443.164

文献标识码: B

圆形地下连续墙在悬索桥锚碇基础中的应用

徐国平¹, 李健清²

(1. 中交公路规划设计院 北京市 100010; 2. 广西柳州市建设委员会 柳州市 540001)

摘 要: 介绍地下连续墙基本形式、现状及发展趋势, 结合武汉阳逻长江大桥圆形地下连续墙的应用, 详细介绍了圆形地下连续墙的勘察、计算分析方法及设计需研究的内容。

关键词: 圆形地下连续墙; 悬索桥; 锚碇基础; 应用

1 地下连续墙的基本形式

地下连续墙是利用特制的成槽机械在泥浆护壁的情况下进行开挖, 形成一定槽段深度的矩形沟槽, 然后浇注水下钢筋混凝土, 完成一个单元的墙段, 各墙段之间用特定的接头方式连接, 形成一道连续的地下钢筋混凝土墙。

地下连续墙分桩排式和壁式两大类, 壁式地连墙又可分为壁板式、T 形式、II 形式、格形式等。如果按形状分, 有圆形、矩形、多边形以及组合形等。地下连续墙的主要作用是挡水、挡土, 同时可作为结构受力的一部分。

地下连续墙有以下主要特点:

(1) 墙体刚度大、整体性好、变形小, 可兼作围护结构和主体结构;

(2) 根据成槽工艺, 地下连续墙可根据需要组成不同的形状, 同时辅助于锚杆、内衬、内支撑等组合成完整的受力体系;

(3) 地质条件适应性强, 地下连续墙适用于包括中等强度岩石在内的各种土层;

(4) 作为承受水平力的基础, 它具有无法比拟的优越性。沉井和天然开挖扩大基础由于施工时破坏了周边的土体, 影响了土体对基础的约束作用;

(5) 施工振动少, 噪音低, 对周围工程影响小;

(6) 地下连续墙嵌岩, 并辅助密水措施, 可达到很好的防渗及密水效果;

(7) 采用专用设备成槽, 并用逆作法施工, 施工速度快、精度高。

地下连续墙一般适合于开挖深度大于 10 m 的

软土地基, 或者附近有防洪要求高的大堤或高层建筑物的深基坑。

2 国内外地下连续墙现状及发展趋势

20 世纪 50 年代意大利米兰的 Santa Malia 大坝防渗墙(深 40 m)首先采用了地下连续墙。50 年代末日本引进了此项技术, 主要用于市政建筑基础, 70 年代将该技术应用于桥梁工程中, 90 年代由于成功研制应用了多轴铣槽机, 地下连续墙技术出现了迅猛发展, 如明石海峡大桥的地连墙试验段, 墙厚 3.2 m, 深度超过 150 m。日本地下连续墙的设计、施工技术、施工设备处于世界领先水平。我国地下连续墙也是从 50 年代开始起步, 90 年代在水利、港口、城市建筑和桥梁基础中得到广泛应用。国内外地下连续墙工程实例见表 1。随着地下连续墙施工设备技术发展以及设计理论的完善, 以及其环保、安全、可靠、地质适应性强等特点, 地下连续墙的应用越来越广泛。

地下连续墙技术的发展, 取决于成槽设备技术的发展, 目前国内外地下连续墙的成槽机械主要有液压型抓斗, 如 BH-12 型和 HS-843 型抓斗, 成槽长度为 2.5~2.8 m, 成槽厚度 0.8 m, 适合于粘土、中粗砂以及卵石层, 对细砂层效率较低, 嵌岩难度很大。液压铣如法国基础公司的 HF 系列和德国宝峨的 BC 系列, 可成槽最大厚度为 3.2 m, 最大深度 150 m。适合几乎所有的土层以及中等强度以下的岩石。

随着我国桥梁建设事业的蓬勃发展, 在水流条件复杂、地质条件差的环境中建设特大跨悬索桥, 特

表 1 国内外地下连续墙工程实例

工程名称	地下连续墙概况	地质条件
武汉阳逻长江大桥	南锚碇基础地连墙直径 73 m, 墙深约 62 m, 开挖深度 46 m, 墙厚 1.5 m	粘土、细砂、砾石、风化岩
江苏润杨长江大桥	北锚碇基础矩形地下连续墙, 墙厚 1.2 m, 墙深 56 m, 开挖深度 48 m, 平面尺寸 50 m×69 m	粘土、细砂、风化岩
广东虎门大桥	西锚碇直径 61 m, 墙厚 0.8 m, 墙深为 32 m	人工填砂
上海金茂大厦	采用七边形地连墙, 墙厚 1 m, 墙深 36 m, 开挖深度 20 m	粘土、铁板砂
小浪底主坝防渗墙	墙深度 81.9 m, 墙厚 1.2 m	砂及卵石层, 最大深度达 80 m
台湾地下储气罐工程	直径 75.87 m, 厚度 2.0 m, 墙深 73.3 m	粘土、砂、卵石、强风化岩
香港九龙地铁国际金融大厦	墙厚 1.5 m, 内径 81 m, 墙深 75~90 m, 开挖深度 25 m	填海砂土
香港港岛国际金融大厦	墙厚 1.5 m, 外径 64.5 m, 开挖深度 55.5 m, 墙深 78 m	填海砂土
比利时 ZEEBRLGGE 港口地下储气罐工程	直径 88.1 m, 厚度 1.2 m, 墙深 42 m, 内衬厚 2.0 m	粘土、淤泥、强风化岩
明石海峡大桥	神户侧锚碇基础圆形地下连续墙, 直径 85 m, 厚度 2.2 m, 墙深 75.5 m, 开挖深度 63.5 m, 内衬厚 2.0 m	洪积与冲击覆盖层、砂岩与泥岩、花岗岩
英法海底隧道	圆形支护墙, 直径 58 m, 厚度 1 m, 深度 21 m, 椭圆形自凝灰浆防渗层, 厚度 0.60 m, 深度 60 m	表层 20 m 厚砂质泥岩、砂岩与泥岩、花岗岩
东京地下天然气储罐	直径 72 m, 墙厚 1.0 m, 墙深 100 m, 开挖深度 42.3 m, 内衬厚 3 m	

别在防洪、通航条件高的长江中下游,悬索桥锚碇基础采用地下连续墙将越来越多。另外,随着地连墙工程的增多,施工机具价格的下降,由于同等体积的矩形桩比圆形桩的抗弯惯矩、表面积大,并且成槽速度较钻孔速度快近一倍,矩形桩在工程中的应用具有广阔的前景。

3 地质勘察的基本要求

在原位取得准确的水、土资料,是深基坑成功的关键。因此,设计前必须根据深基坑所在位置周围的建设条件,有针对性地进行水文地质和工程地质勘察。水文地质和工程地质勘察的基本要求如下。

3.1 水文地质

根据锚碇场地地质情况,一般应布置 2~3 个抽水井、7~9 个观测井。分别进行稳定流抽水试验、非稳定流抽水试验、渗水试验、地下水流速测定等,以查明以下内容:

- (1)查明锚碇场地区含水层性质、厚度、水位、水量、水质;
- (2)确定地下水边界条件,水流的补给条件,地下水与江、河水位变化的关系;
- (3)透水各层的透水系数、地下水流速、导水系数、弹性释水系数、压力传导系数等以及它们与江、河水位的关系;

(4)基岩风化裂隙含水层的透水性,评价单井涌水量;

(5)通过稳定流和非稳定流抽水试验,求解不同条件下的水文地质参数,分别预测井点降水条件下的出水量和影响半径;

(6)确定单井 $Q-S$ 曲线。

3.2 工程地质

根据锚碇区域的地层情况以及锚碇基础形状,一般应布置 12~15 个钻孔,布置在基坑转角、地质构造等位置。除满足一般的工程地质要求外,还应进行如下勘察试验工作:

- (1)测定各土层的抗剪强度指标,包括直剪固结快剪强度指标和三轴固结不排水抗剪试验总应力强度指标和有效抗剪强度指标等;
- (2)测定各土层的物理力学指标,包括天然含水量、天然容重、饱和容重(或浮容重)、孔隙比、颗粒分析、抗剪强度指标、压缩系数、压缩模量等;
- (3)利用旁压试验或扁铲侧胀试验测定静止侧压力系数、水平基床系数等。

4 圆形地下连续墙的计算方法

4.1 静力计算

地下连续墙静力计算的方法较多,概括起来有 4 种:一是古典理论计算方法;二是刚性支撑梁法;

三是弹性支撑梁、弹性地基梁的方法;四是共同变形理论。前三种计算方法都假定土压力不随墙体的变形而发生变化,第四种方法考虑了土压力随着墙体变形的变化而变化,比较符合实际。

随着计算机的应用,虽然计算理论越来越符合实际,计算精度也越来越高,但由于土体各向异性复杂多变、土体蠕变时效性以及地质计算参数很难准确取得,因此,不同经验的设计者,计算结果往往相差较大。

目前国内圆形地下连续墙设计计算大多采用第三种方法计算,其计算模式如图 1 所示。

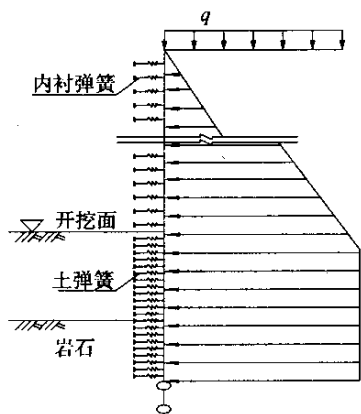


图 1 计算模式

根据圆形地连墙及内衬的结构特点以及施工过程,圆形地连墙作为竖向受力构件、内衬作为水平向受力构件,将空间结构简化为平面结构进行计算。取单位宽度的地连墙,将其作为弹性地基梁。钢筋混凝土内衬作为弹性支撑,开挖侧土体模拟成地基弹簧作用在地下连续墙上。根据不同的施工工况加设内衬弹簧和拆除地基弹簧进行分析计算(目前国内平面杆系的计算程序,模型与实际施工受力过程存在着一定的差异)。围护结构在周边水土压力的作用下,考虑周围土体的嵌固作用,圆环上任一点的径向位移的倒数即该点的弹簧刚度。该计算方法与实际受力和变形差异较大。

国内设计中还辅助利用 ANSYS 程序进行空间结构的分析计算,其基本假定仍然是第三种理论,缺点是难于按施工过程进行模拟计算。

PAROI—2 程序是采用第四种理论编制的,可以考虑圆形地连墙拱形的效应,其计算结果较前两种方法小,比较符合实测结果,在武汉阳逻长江公路大桥中得到成功应用。

4.2 稳定性计算

应计算嵌固在土体中的圆形地下连续墙在水土压力作用下,圆环的失稳临界荷载。

另外,还应进行基坑抗隆起稳定验算和基坑抗渗流稳定性验算。

4.3 渗流量计算

根据圆形地下连续墙墙底基岩的裂隙及渗透系数,在设计最大水头差的情况下,计算基坑外向基坑内的渗水量。

5 武汉阳逻大桥南锚碇基坑设计

5.1 设计概况

武汉阳逻长江大桥为武汉绕城公路跨越长江的特大桥梁,主桥为跨径 1 280 m 的悬索桥。南锚碇采用框架式锚体,锚体高度为 26.5 m,基础为直径 73 m 的圆形地下连续墙。锚体前锚室长度 23 m,锚块顺索股方向长度 20 m。锚固系统采用无粘结可更换预应力系统,钢绞线采用表面喷涂环氧树脂+油脂的防腐体系。南锚碇距防洪大堤仅 150 m。

南锚碇地质条件:地面标高 21.5 m,覆盖层为粘土(厚 14 m)、砂土(厚 30 m)及卵石层(厚 7 m),总厚度 51 m,强风化砾岩岩层厚 1.5~12.7 m,岩性破碎,强度较低;弱风化砾岩岩石完整性较好,饱和单轴抗压强度在 12.8~29.4 MPa 之间。砂层及砾石层为强透水层,并与长江水位连通。

5.2 设计研究的主要内容

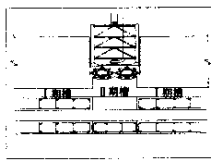
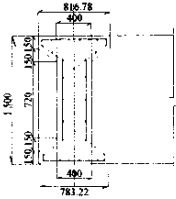
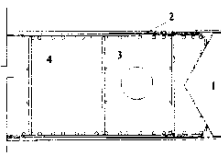
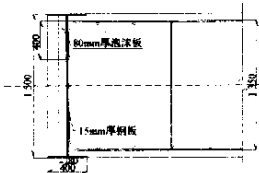
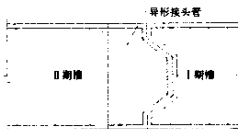
- (1)地下连续墙槽段接缝形式;
- (2)地下连续墙槽段的划分;
- (3)地下连续墙嵌岩深度;
- (4)导墙、帽梁、内衬形式;
- (5)地下连续墙与内衬的连接形式;
- (6)坑内土体开挖分层、分区;
- (7)地下连续墙封水、降水、排水方案;
- (8)挡水帷幕形式、厚度及工艺。

5.3 设计要点

- (1)地下连续墙槽段连接。

根据本工程施工技术及施工机具的特点,在对 10 余种墙段连接方法进行初选的基础上,重点对铰接头、双凹槽预制钢筋混凝土构件接头、V 形钢板接头、H 形钢板接头、凸形异型接头管接头等 5 种接头方法进行研究比较,各种连接形式示意图和比较见表 2。通过综合经济技术比较,铰接法比较适合于本工程的技术及施工机具的特点,故采用铰接法作为南锚碇地下连续墙槽段连接方式。

表 2 地下连续墙槽段连接形式比较

名 称	图 例	方法简要说明	优 点	缺 点
1 铣接法		在相邻两个一期槽浇筑完成后,在建造二期槽的同时,将一期槽混凝土铣削掉一部分,使两期槽形成锯齿状连接。	工艺较简单;不需辅助设备;墙段接缝刷洗简单;连接可靠;适用于深度大的地连墙。	增加铣削工作量,材料消耗大(混凝土、泥浆);对铣槽机操作手的技术要求高;因二期槽短,槽段接缝较多。
2 双凹槽预制钢筋混凝土构件接头法		在地面上加工好预制构件,一期槽孔建造完成后,吊装就位于槽孔端头,凹形空孔内填粘土球,然后下钢筋笼浇筑混凝土,建造二期槽孔时,需将凹槽内粘土球和钻渣等清洗干净。	工艺较简单,国内外广泛采用;节省材料,连接可靠;二期槽段长。	接头重量大,对起吊能力(70 t)要求高;需用专用钻具清理凹槽;对预制构件段间连接质量要求高。
3 V形钢板接头		在一期槽钢筋笼上焊接预制的V形钢板,下放钢筋笼,V形空孔中回填砂袋,浇筑混凝土。建造二期槽孔时,将V形槽内砂袋和钻渣清理干净。	国内有成功经验,连接可靠;整体吊装,较为省时;二期槽段长,接缝少。	钢材用量大;对起吊能力(100 t)要求高;回填砂袋和清理工作量大;需专用钻具清理V形槽;接缝刷洗难度大。
4 H形钢板接头		与V形钢板接头类似,但不需回填砂袋、粘土球。	国内有成功经验,连接可靠;整体吊装,较为省时;二期槽段长,接缝少;与V形钢板接头相比,回填与清洗凹槽工作量少。	钢材用量最大;对起吊能力要求(120 t)最高,需专用钻具清洗凹槽。
5 凸形异型接头管接头		一期槽建造完成后,将凸形接头管下入槽内,浇筑过程中逐渐拔出,形成凸凹形接头,建造二期槽时仅清理凹槽内钻渣。	国内有成功经验,连接可靠;省材料;二期槽段长,接缝少;不需清理粘土球或砂袋。	因墙深、墙厚,需设计专门的拔管机和接头管;下设与起拔均费时;需专用钻具清理凹槽内的钻渣。

(2)地下连续墙槽段长度划分。

圆形地下连续墙施工槽段分Ⅰ期、Ⅱ期两种,见图2所示,共50个槽段。Ⅰ期槽段采用三铣成槽,边孔轴线处长2.8m,中间孔轴线处长1.08m,槽段轴线处长6.68m,相邻孔段交角为176.9°;Ⅱ期槽段长2.8m,Ⅱ期与Ⅰ期之间交角为175.9°,在轴线处搭接长度为0.25m。

(3)地连墙嵌岩深度。

综合考虑地下连续墙受力、防渗、密水等因素,结合工程实际情况,研究确定了地下连续墙嵌岩深度的4个原则:

①当强风化岩层厚度大于5m时,地连墙入弱风化岩1m;

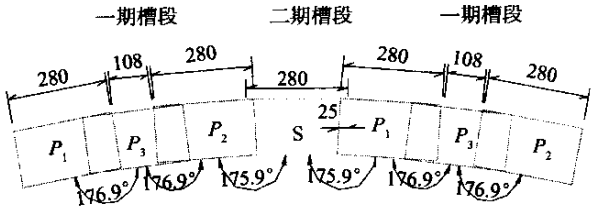
②当强风化岩厚度为0~5m时,地连墙入弱风化岩1.5m;

③当无强风化岩时,入弱风化岩2.5m;

④地连墙入土深度不小于10m。

(4)导墙、帽梁、内衬形式。

为保护槽口及槽段位置的准确性,支撑施工设备及钢筋笼的接长,调节孔内液面,明确施工位置,防止槽壁顶部的坍塌等,必须设置导墙。导墙由两个L形钢筋混凝土墙组成。在地下连续墙两侧,采用深层搅拌加固淤泥质粘土。导墙的纵向分段与地下连



单位:cm

图 2 槽段划分

万方数据

续墙的分段接头应错开。

为保证地连墙开挖阶段受力及刚度的需要,在地下连续墙顶面设置刚度较大的帽梁。帽梁为钢筋混凝土圆形结构,帽梁总宽度 4 m,高 2.5 m。

采用岛式开挖法进行土体开挖,一层分 14 个区域进行对称开挖及内衬混凝土的施工。开挖至砾石层表面,浇筑垫层混凝土,然后浇筑 6 m 厚的钢筋混凝土底板。各层内衬底面设置成 15° 的斜坡,以免各层内衬间混凝土出现空隙。在地连墙施工时预埋直螺纹钢筋连接器,内衬钢筋通过连接器与地连墙钢筋相连。各层内衬部分竖向钢筋采用钢筋连接器连接。

(5) 地下连续墙封水、降水、排水。

- ① 地连墙底设置灌浆帷幕;
 - ② 槽段接缝进行封水处理;
 - ③ 坑内设置井点降水井以及砂井。
- (6) 挡水帷幕设计。

采用自凝灰浆墙,布置在地连墙外 10 m 处,与地连墙呈同心圆,直径 93 m。深度穿过砂砾石层底部,深入基岩 0.5~1.0 m,平均深度 51.5 m。

5.4 地下连续墙施工要点

导墙→成槽→下钢筋笼及注浆管→插入导管→浇筑水下混凝土→循环下一幅槽段施工→完成地连墙及墙底注浆。

6 结语

(1) 由于地下连续墙是一幅一幅施工完成的松散联合体,接缝之间存在一定厚度的泥皮,同时槽段间存在着一定的施工偏差,如何正确考虑圆形地下

连续墙的拱形效应是设计中的一个难题。通过武汉阳逻长江大桥南锚碇圆形地下连续墙的成功应用,已摸索出一套计算经验。

(2) 设计中应正确看待圆形地下连续墙周围水、土压力不均匀性对地连墙、内衬受力计算的影响。

(3) 通过 160 d 的紧张施工,武汉阳逻长江公路大桥南锚碇圆形地下连续墙基坑开挖已顺利完成,并取得了成功。

参考文献:

- [1] REVIEW OF DESIGN METHODS FOR EXCAVATION (GCO PUBLICATION NO. 1/90). Geotechnical Engineering Office Civil Engineering Department. The Government of the HongKong special Administrative Region.
- [2] GUIDE TO RETAINING WALL DESIGN (GEOGUODE 1). Geotechnical Engineering Office Civil Engineering Department. The Government of the HongKong special Administrative Region.
- [3] 高大钊. 深基坑工程[M]. 机械工业出版社.
- [4] 刘建航,侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [5] 龚晓南,高有潮. 深基坑工程设计施工手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [6] 江苏省长江公路大桥建设指挥部,中国水利水电基础工程局. 国内外地下连续墙工程实例汇编[Z]. 2000.
- [7] 中交公路规划设计院. 武汉阳逻大桥圆形地下连续墙技术设计[Z]. 2003.
- [8] 中交公路规划设计院. 武汉阳逻大桥南锚碇支护结构及基础施工图设计[Z]. 2003.

栖霞建“绿色走廊”

享有“南北大通道”之誉的同三高速公路是山东省烟台市对外开放的重要交通动脉。今年,同三高速公路栖霞管理处把搞好路容绿化、美化,作为加快招商引资、发展路域经济的首要任务来抓。目前,该处所辖路段绿化覆盖率达 100%。

在兴建“绿色长廊”的过程中,他们坚持因路制宜,形成了乔灌结合、高矮结合、经济林和观赏林结合、绿化和美化结合、土地开发与环境保护并举的公路立体绿化新模式。为保证绿化、美化质量,他们在烟台市公路局的统一组织下进行了公开招投标,签订绿化合同,明确质量责任,使树木花卉成活率达 95% 以上,所辖路域形成了“三季有花、四季常绿”的优美环境,中外客商纷至沓来投资办厂。地处该路域的栖霞市白洋河工业园、科技工业园和开发区工业园、民营工业园及西城、观里辅助工业园,已有 100 多家中外客商前来投资,其中超亿元的有 10 个以上,内资项目 200 多个,使地方经济呈现出良好的发展态势。