

# 锚碇基坑地下连续墙围护结构作永久受力结构的应用研究

薛磊

(上海远方基础工程有限公司,上海市 200436)

**摘要:**随着地下建设空间的进一步利用,地下连续墙应用范围不断向下拓展。目前,地下连续墙已经作为永久受力结构应用于建、构筑物主体结构中。基于上海远方相关地下连续墙锚碇基坑实践,对地下连续墙作永久受力结构的应用进行探讨,并针对框架式地下连续墙、桩-墙咬合式地下连续墙、圆形地下连续墙施工关键技术进行阐述。结果表明,作永久受力的地下连续墙结构通常较为特殊,部分为特殊结构形式,部分包含特殊接头形式,在目前的施工技术下是可以实现地下连续墙作永久受力结构的。用集约高效,推进城市功能复合。创建“就近职住、功能复合”的现代城市,在规划及设计中进行街道一体化设计。

**关键词:**框架式地下连续墙;桩-墙咬合式地下连续墙;圆形地下连续墙;锚碇基坑

**中图分类号:** TU473.2

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2024)01-0182-04

## 0 引言

地下连续墙自20世纪50年代引进我国以来,长期作为临时结构用于基坑支护工程。随着地下空间建设的不断发展,地下连续墙近年来拓展了新的用途——作永久受力结构。在作为基坑工程中支护结构的同时,作为地下结构主体使用,即“两墙合一”。“两墙合一”在工民建领域与锚碇基坑围护结构中皆有应用,在工民建领域中,地下连续墙作为主体结构承受竖向荷载,并防止侧向渗漏;作为锚碇基坑围护结构使用时,如大桥锚碇,则主要用于抵抗水平向荷载。“两墙合一”支护形式具有明显的经济优势,该支护形式能够节省地下室外墙施工工序,大幅减少土方开挖及回填量。同时,地下连续墙结构还具有整体性好,结构刚度大,抗渗能力强等突出优势。对于地下连续墙在工民建领域内“两墙合一”结构的设计研究吸引了众多学者的目光<sup>[1-5]</sup>。王卫东<sup>[1]</sup>结合深基坑“两墙合一”领域的研究与实践,论述了地下连续墙竖向承重、地下连续墙与主体结构的变形协调设计以及地下连续墙墙体质量方面关键技术问题,提出各项针对性设计建议 and 对策;宋青君<sup>[2]</sup>以上海世茂北外滩酒店基坑工程的设计和实施为背

景,对“两墙合一”地下连续墙与临时围护结构的连接、在结构梁板大面积缺失情况下的处理措施以及支撑结合施工栈桥的设计等作了较为详细的介绍;孙峰<sup>[3]</sup>进一步探讨了地下连续墙竖向极限承载力的计算方法以及计算中尺寸效应系数的选取;张红州<sup>[4]</sup>、戴清峰<sup>[5]</sup>分别论述了永久连续墙在设计 and 施工中需重点考虑的防水抗渗措施,以及针对超深基坑逆作法“两墙合一”的地下连续墙设计方法,进一步将设计与工程实践相互结合。地下连续墙施工技术随着地下连续墙在地下建设工程中的广泛应用已经愈发成熟。部分学者在工程实践中探索“两墙合一”结构施工过程中的技术控制措施<sup>[6-8]</sup>。何庆生<sup>[6]</sup>介绍了复杂环境下超深基坑“两墙合一”地下连续墙施工关键技术;张益明<sup>[7]</sup>以上海新建海航总部办公楼项目施工为例,针对“两墙合一”的地下连续墙工程施工中的防渗、接驳器精度、垂直度控制等施工难点,介绍了针对性的技术措施;王潇雨<sup>[8]</sup>突破性的针对预制地下连续墙技术在软土地区综合管廊工程中的应用进行介绍,丰富了地下连续墙作为两墙合一结构的施工工艺。少部分学者则对地下连续墙作为两墙合一结构施工结束后的变形进行了监测<sup>[9]</sup>,以期研究在该结构围护下,基坑开挖对邻近建筑的变形影响。

然而,地下连续墙在锚碇基坑中的应用比较少,且地下连续墙在锚碇基坑设计中作永久受力结构应用的结构形式比较单一,多是以地下连续墙结构形成

收稿日期: 2022-11-28

作者简介: 薛磊(1987—),男,本科,助理工程师,主要从事工程造价及管理工作。

的“口”字型或是单一的地下连续墙圆形结构。

地下连续墙作永久结构应用在桥梁基础施工设计中较为常见,如南京长江四桥地连墙支护锚碇基础<sup>[10]</sup>、阳逻长江大桥地连墙支护锚碇基础<sup>[11]</sup>、洞庭湖大桥双圆地连墙支护锚碇基础<sup>[12]</sup>等。

基于上海远方地下连续墙工程经验,对框架式地下连续墙结构、桩-墙咬合式地下连续墙结构、圆形地下连续墙结构作永久受力结构的应用进行分析研究。

## 1 框架式地下连续墙结构

### 1.1 卡哈洛锚碇基坑工程概况

卡哈洛大桥项目位于四川省凉山州雷波县元宝山乡与云南省昭通市永善县黄华镇交界处,大桥全长1 817 m,横跨金沙江。大桥锚碇为重力式锚碇,施工场地采用框架基础接承台形式。锚碇框架基础采用地下连续墙结构,地墙厚1.2 m,深25 m。

该锚碇框架基础所处地层主要为第四系上更新统崩坡积层(Q3C+dl),包含块石、碎石及含角砾碎石粉质黏土,且以中密-密实状为主,石质成分为粉砂岩、灰岩、玄武岩,详细地层信息见图1。

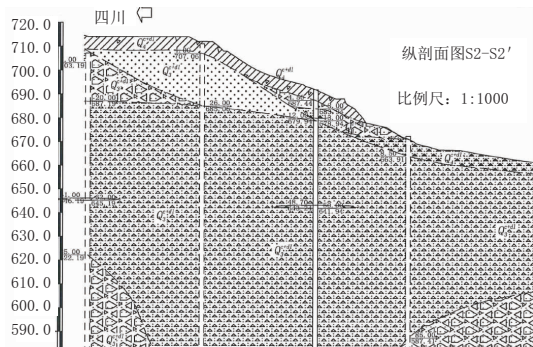


图1 地质剖面图(单位:m)

### 1.2 设计概况

尽管地下连续墙结构具有较好的整体性与强度,但是,在场地较大情况下,当仅考虑“口字型”地下连续墙结构作为锚碇基础时,不能满足受力设计要求。锚碇基础除承受上部锚碇重量外,水平向也受到较大吊索的水平力作用,因此,该地下连续墙锚碇基础设计为框架式结构,具体由两部分组成,分别为前趾与后趾。图2为锚碇框架基础平面图,展示了地下连续墙前趾、后趾两部分地下连续墙分布情况。前趾与后趾地下连续墙结构形式基本一致,包括一字型、L型、T型三种地下连续墙。总计80幅地下连续墙,前趾、后趾各40幅。

由于各槽段地下连续墙并非整体浇筑,相邻槽



图2 地下连续墙锚碇框架基础平面图(单位:m)

段间仍然存在施工冷缝,对地下连续墙在水平受力下的整体稳定性不利。为削弱施工冷缝的影响,利用该项目水位较低的特点,采用特殊钢筋笼进行相邻地下连续墙钢筋笼之间的机械连接,以期在分别浇筑后,提高地下连续墙之间的连接有效性。钢筋笼接头设计示意图见图3。

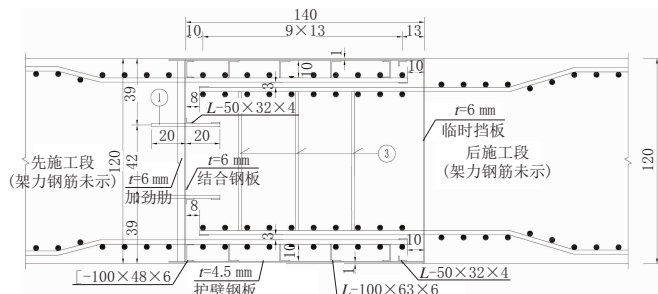


图3 钢筋笼接头设计(单位:m)

### 1.3 接头施工技术

该框架式地下连续墙关键施工技术为相邻槽段钢筋笼的连接,其连接方式为机械连接,具体连接方式分为以下几个步骤。

步骤一:利用成槽设备进行槽段开挖,开挖完成后下放带K型钢板的钢筋笼,并完成左侧槽段浇筑,见图4。

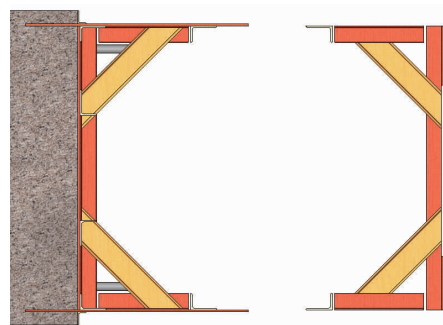


图4 步骤一示意图

步骤二:以同样的方式完成另一侧槽段的开挖与浇筑,此时,两K型钢板之间存在已成槽空间,见图5,K型钢板在槽内的分布形式见图6。

步骤三:采用焊接的方式,利用钢板将前述两相



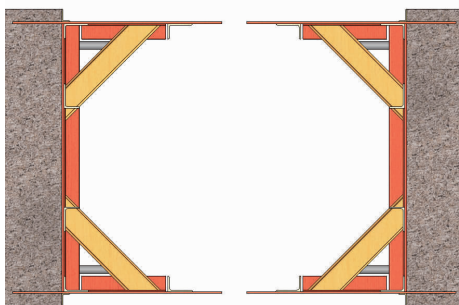


图5 步骤二示意图

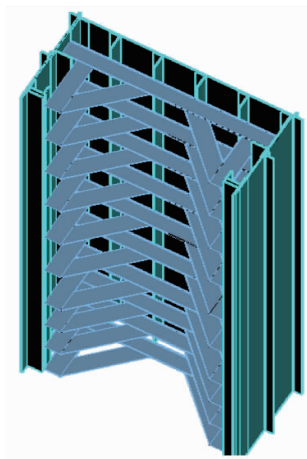


图6 单侧K型钢板分布示意图

邻K型钢板进行连接,形成整体。此处的连接为人工下至槽底,自下至上采用焊接的方式连接两侧K型钢板,见图7。

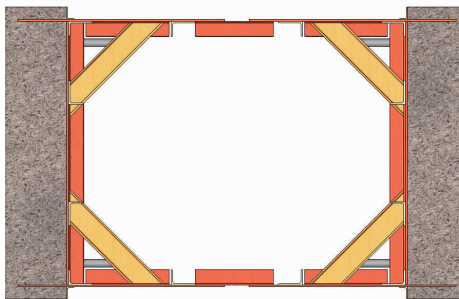


图7 步骤三示意图

步骤四:为进一步强化该接头的连接强度,提高接头箱的整体性,采用机械连接的方式,自上而下连接水平筋,见图8。

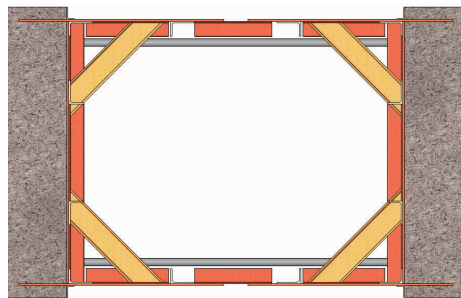


图8 步骤四示意图

步骤五:在连接水平筋后,下放竖向钢筋,并自上而下将竖向钢筋与水平筋绑扎连接,使得两K型

钢板在钢筋焊接、扎丝连接的作用下,达到设计的强度与整体性,见图9。

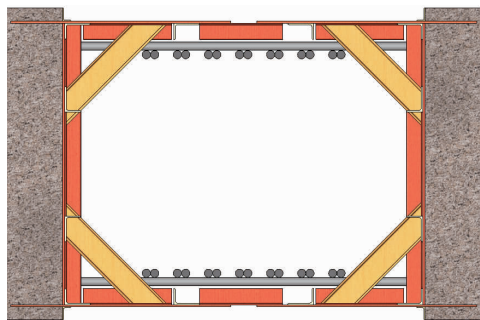


图9 步骤五示意

步骤六:在完成钢筋连接后,进行人工掏孔,掏空两K型钢板所形成空间内的杂土,并进行混凝土填料浇筑,完成接头施工,见图10。

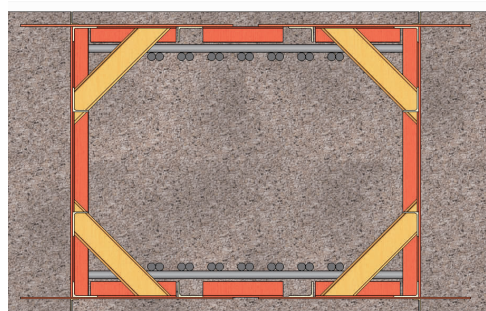


图10 步骤六示意图

## 2 桩-墙咬合式地下连续墙结构

### 2.1 龙门大桥工程概况

龙门大桥东锚碇基坑所在位置为海岛微丘陵斜坡,地形起伏较大,地面标高在1.3~9.8 m。钻孔揭露上覆第四系地层为角砾及碎石,部分地段基岩裸露,出露基岩为志留系下统连滩组强风化砂岩、中风化砂岩、强风化页岩、中风化页岩,其中强风化岩厚度大,发育层底标高为-88.40~-21.90 m。

### 2.2 设计概况

基坑围护结构为外径92.5 m的圆形结构,由一期桩与二期墙组成。一期桩为大直径混凝土灌注桩,直径3.5 m;二期槽段采用1.5 m厚地下连续墙,地下连续墙墙深24.7~43.3 m,墙顶空墙3 m,一期支护采用直径3.5 m大直径桩基,接头型式为铰接头,连续墙嵌入基岩。锚碇基坑结构平面布置见图11,桩-墙咬合示意图12。地连墙成槽深度最深处达46.3 m,设计墙深为43.3 m,空槽深度3 m,成槽垂直度要求为1/400,结合成槽深度,槽段最大允许偏移宽度为11.6 cm,墙厚误差不得大于30 mm,平面误差不得大于30 mm。

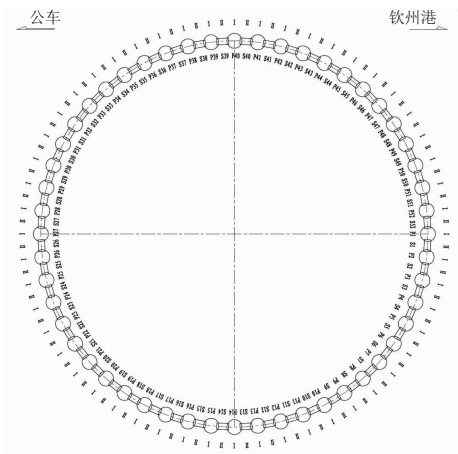


图 11 龙门大桥地下连续墙锚碇基础结构

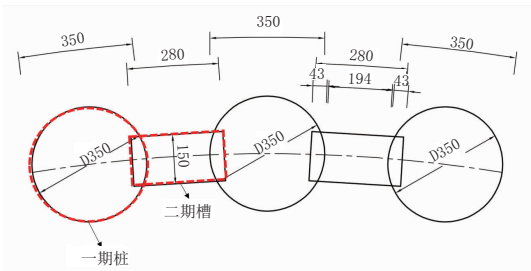


图 12 桩 - 墙咬合结构示意图(单位:mm)

2.3 关键施工技术

垂直度控制是该项目施工难点之一。由于施工需入岩,故铣槽过程中需严格控制成槽垂直度。施工过程中采用钢导墙作为垂直度控制的辅助措施,钢导墙示意图 13。另外,岛上施工,临近海域,地下水丰富,因此成墙成孔稳定性不易控制。施工过程中需严格控制泥浆质量,尤其对于泥浆重度要进行密切关注,施工过程中通过添加重晶石粉增加泥浆重度。

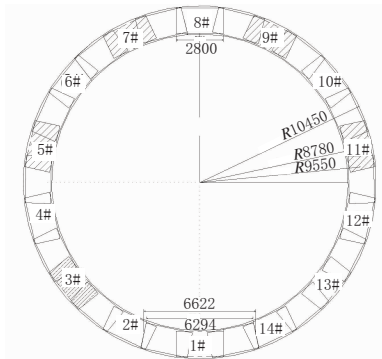


图 13 云南滇中引水接收井地下连续墙结构

3 圆形地下连续墙结构

3.1 滇中引水工程概况

龙泉倒虹吸为滇中引水工程昆明段输水工程的其中一段,主要位于昆明市盘龙区境内。该接收井开挖深度为 77 m, 基坑围护结构为外径  $R=10\text{ m}$  圆形结构,采用 1.5 m 厚地下连续墙,地下连续墙墙深 94 m,分 I 期槽和 II 期槽施工,接头型式为铣接头,

墙顶设锁口圈梁,连续墙嵌入基岩,见图 13。

3.2 设计概况

接收井地下连续墙共计 14 幅, I、II 期槽段各 7 幅。 I、II 期槽段交错布置,地下连续墙成槽深度 96.6 m, 地连墙墙深 94 m,墙顶至硬化地面高度 2.6 m。

3.3 关键施工技术

该接收井的突出特点为基坑超深。基坑深度以及开挖深度超深意味着成槽垂直度需严格控制,避免形成开叉槽。针对这一特点,施工过程中需对成槽的垂直度进行严格控制,实际施工中采用了设备定位、以及三抓三铣工艺等措施。地下连续墙分幅示意图 13。设备定位即对成槽设备的站位及斗体进行限位,见图 14。三抓三铣即上部土层采用成槽机进行三抓成槽,下部岩层采用三铣成槽,第一抓、第二抓以及第一铣和第二铣是对槽段两端进行成槽,第三抓与第三铣是对中部小墙进行清理,示意如图 15。



图 14 设备限位实景

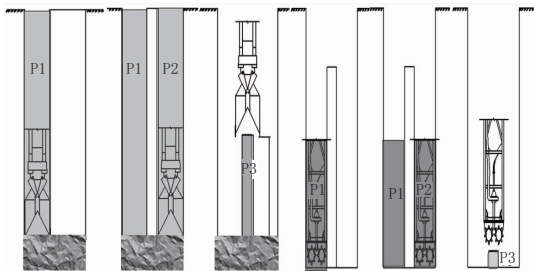


图 15 成槽示意图

需要注意的是,施工过程中,第三抓不需抓至土层底部,第三抓抓至土层底部上方 5~10 m,方便铣槽机进入预设位置进行岩层铣除工作。

4 结 语

根据上海远方地下连续墙作永久受力结构工程实践,对框架式地下连续墙、桩 - 墙咬合式地下连续墙、圆形地下连续墙设计与关键施工技术进行分析。

地下连续墙在锚碇基坑领域作永久受力结构的可行性在于地下连续墙组合结构能提高锚碇基坑的水平受力能力。目前,已实现框架式地下连续墙锚碇基础、桩 - 墙咬合式锚碇基础以及小直径圆形地下

(下转第 198 页)

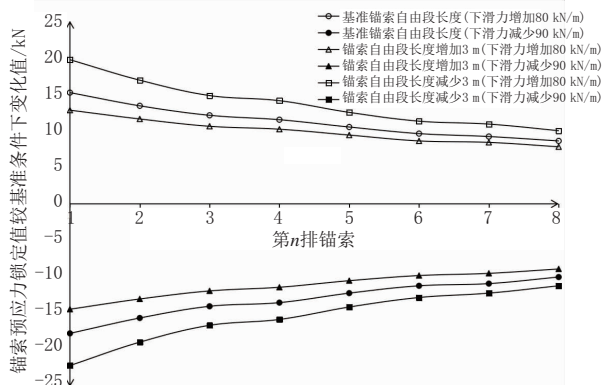


图7 不同自由段长度、不同推力条件下各排锚索预应力  
锁定值较基准条件下的变化

变形协调条件下的设计方法,避免锚索和抗滑桩的变形不协调导致的两种防护形式先后顺序破坏的情况出现,充分发挥两者的综合防护效果,保证边坡的安全。

当边坡下滑力存在不确定性时,应采用低刚度的锚索,并尽量设置较高的预应力锁定值,确保锚索在充分发挥锚固力的同时,增强其对变形的适应能

力。

#### 参考文献:

- [1] 简文星,邓先华.优化的变形协调条件在桩-锚结构锚索拉力计算中的应用[J].岩土力学,2014,35(8):2171-2178.
- [2] 李世贵,任仁,朱大权,等.预应力锚索抗滑桩设计方法优化研究[J].公路工程,2013,38(2):51-54.
- [3] 晏鄂川,刘焕斌,李相依,等.桩锚结构变形协调方法的改进研究[J].岩土力学,2009,30(5):1446-1450.
- [4] 刘焕斌,晏鄂川,吴益平,等.桩锚结构预应力的变形协调确定方法[J].岩土力学,2007,28(S1):891-894,900.
- [5] 吴兵,梁瑶,唐晓波,等.锚索与抗滑桩组合加固折线型滑面高边坡受力计算及优化设计[J].公路交通科技,2021,38(3):40-48.
- [6] 付晓,张建经,周立荣.多级框架锚索和抗滑桩联合作用下边坡抗震性能的振动台试验研究[J].岩土力学,2017,38(2):462-470.
- [7] 陈建峰,陈思贤,杜长城,等.抗滑桩-锚索框架组合结构受力机制研究[J].铁道工程学报,2021,38(5):7-12.
- [8] 赵晓彦,黄金河,周一文,等.坡面锚索与坡脚抗滑桩联合加固边坡设计方法[J].西南交通大学学报,2017,52(3):489-495.
- [9] 范钦珊,殷雅俊,唐靖林.材料力学[M].北京:清华大学出版社,2014.
- [10] 周景星,李广信,张建红,等.基础工程[M].北京:清华大学出版社,2015.

(上接第185页)

连续墙结构。以上三种结构皆是针对于特殊项目的特殊要求所提出的地下连续墙结构,可以预见的是,随着地下建设的不断发展,地下建设的深度、广度不断突破,也将对目前提出的地下连续墙结构提出更大的挑战,如何应对这类挑战将是该类结构主要发展方向之一。

#### 参考文献:

- [1] 王卫东,翁其平.“两墙合一”设计关键技术问题研究[J].地下空间与工程学报,2005(4):574-578.
- [2] 宋青君,王卫东,翁其平.“两墙合一”深基坑工程设计中的若干技术问题与对策[J].岩土工程学报,2006(S1):1590-1595.
- [3] 孙峰,徐杨青,张婧雯.“两墙合一”地下连续墙竖向承载力设计计算研究[J].岩土工程学报,2014,36(S2):154-158.
- [4] 张红州,张志允.兼做永久墙的地下连续墙防水设计和施工控制要

点[J].建筑结构,2020,50(S2):779-782.

- [5] 戴清峰,谭宇,黄涛,等.中风化岩超深基坑“两墙合一”地下连续墙设计研究[J].建筑结构,2020,50(20):133-137.
- [6] 何庆生.复杂环境下超深基坑“两墙合一”地下连续墙施工关键技术[J].广东土木与建筑,2015,22(7):21-24.
- [7] 张益明.“两墙合一”的地下连续墙施工关键技术研究[J].建筑施工,2018,40(2):165-167.
- [8] 王潇宇,王建,赵香山.“两墙合一”预制地下连续墙技术在软土地区综合管廊工程中的应用[J].特种结构,2021,38(3):91-95.
- [9] 张珂峰,吴昌将,易礼.“两墙合一”地下连续墙基坑开挖对邻近建筑的变形影响与实测分析[J].建筑结构,2020,50(20):128-132.
- [10] 穆保岗,朱建民,牛亚洲.南京长江四桥北锚碇沉井监控方案及成果分析[J].岩土工程学报,2011,33(2):269-274.
- [11] 邓百印,王海云.武汉阳逻长江大桥南锚碇圆形地连墙下帷幕灌浆施工[J].资源环境与工程,2007(2):117-120.
- [12] 贾方.洞庭湖大桥锚碇基坑降水研究[D].长沙理工大学,2015.