

地下连续墙作防渗结构新的思考与实践

游超

(上海远方基础工程有限公司,上海市 200436)

摘要:一般地下连续墙具有挡土、防渗的作用,但是其结构存在着施工冷缝等不利因素。因此,亟需探索新的地下连续墙结构,补足地下连续墙结构上的不足。基于相关实践,对防渗膜地下连续墙、钢箱地下连续墙以及钢筋笼附膜地下连续墙3种工艺进行了介绍,并与一般地下连续墙进行了包括防渗能力、结构整体性、综合受力能力以及施工难易程度、施工成本等方面的对比。相关工艺可以为类似工程项目施工提供参考。

关键词:地下连续墙;防渗膜地下连续墙;钢箱地下连续墙;钢筋笼附膜地下连续墙

中图分类号: TU473.2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)05-0302-04

0 引言

地下连续墙在建筑工程中主要作为两种结构使用,其一是作为承力结构,具有挡土、支撑作用;其二是作为隔水结构,具有防渗、止水作用。地下连续墙是由向下开挖而成的深槽、槽内下放的钢筋笼骨架以及胶凝材料组合形成的钢筋混凝土结构,该结构强度大、整体性好,是良好的挡土、防渗结构,被广泛应用于桥梁^[1-4]、隧道^[5-8]、大型综合体建筑^[9-10]内。

随着地下连续墙应用的不断拓展,地下连续墙已成功应用于我国东部草原区露天煤矿地下水疏降与控制工程中^[11-12],在截水防渗领域取得了良好的经济成果,并对当地生态环境有着极大的改善。

尽管地下连续墙在防渗方面具有突出的效果,但大多数学者仍然把目光聚集在地下连续墙的承力作用上,鲜有关于地下连续墙在防渗方面的研究。本文基于地下连续墙工程的长期实践,对当前地下连续墙作为防渗结构的工艺进行了分析总结,并进一步探讨了地下连续墙作为防渗结构应用的几种新工艺。

1 一般地下连续墙介绍

一般地下连续墙主要施工流程包括:施工准备→测量放样→导墙施工→成槽施工→接头箱下放→钢筋笼下放→混凝土浇筑。

上述流程中,施工准备包括场地平整、设备及人

员进场;测量放样是在现场采用石灰粉等材料来标记导墙轴线;导墙施工是在测量放样的基础上,利用挖机开挖导墙沟槽,随后进行导墙钢筋绑扎、模板支设、混凝土浇筑而形成混凝土导墙;成槽施工是利用专业的成槽设备进行槽段土方及岩层开挖,至设计深度后停止;接头箱下放是在槽段两端下放钢制接头箱或者锁口管等防止混凝土绕流的钢结构;混凝土浇筑是在导管法下进行的,通常采用 $\phi 250$ mm 拼接导管,一般浇筑至设计高度以上0.2~0.5 m。

2 防渗地下连续墙介绍

一般地下连续墙的接头形式通常为柔性接头,如圆形锁口管接头、波纹管接头、楔形接头、工字钢接头或混凝土预制接头、铰接头等。在该类接头作用下,相邻地下连续墙单元间的连接相对较为薄弱,整体结构能提供的挡土作用力较小,防渗能力相对较弱。当对防渗能力有特殊要求时,地下连续墙的接头形式主要为刚性接头,如十字钢板接头或V形接头。在该类接头作用下,相邻地下连续墙单元间的连接相对更为牢固,地下连续墙整体性更佳,防渗性能也更好。这些刚性地下连续墙的施工流程与一般地下连续墙一致。

然而,通过实践,目前已有特殊地下连续墙工艺,主要有:(1)钢箱地下连续墙;(2)防渗膜地下连续墙;(3)钢筋笼附膜地下连续墙。

2.1 钢箱地下连续墙

钢箱地下连续墙与一般地下连续墙在施工流程上的区别主要在于钢筋笼的设计上。钢箱地下连续墙

收稿日期:2023-05-04

作者简介:游超(1990—),男,学士,助理工程师,从事岩土工程设计与施工管理工作。

是在一般地下连续墙的基础上,通过结构优化,将地下连续墙分为一期墙和二期墙。其中一期墙骨架为钢箱,二期墙骨架为钢筋笼,一期钢箱与二期钢筋笼之间以插接的方式进行连接,如图 1 所示。以此工艺形成的地下连续墙较一般地下连续墙在结构整体性、强度、防渗性等方面更有优势。因此,钢箱地下连续墙适用于整体性要求高且水平方向受力较大的情况,如桥梁锚碇基础工程。

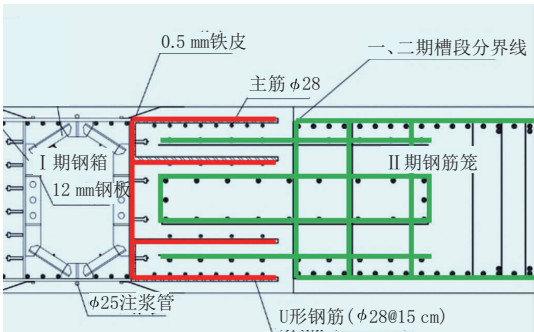


图 1 钢箱地下连续墙示意图

2.2 防渗膜地下连续墙

防渗膜地下连续墙与一般地下连续墙在施工流程上的区别主要在于防渗膜的下放。防渗膜地下连续墙是在一般地下连续墙的基础上,在成槽完成后,通过专用的铺膜设备将高密度聚乙烯(HDPE)膜下放至槽内,随后浇筑胶凝材料形成单元。防渗膜地下连续墙剖面示意图见图 2。相邻槽段间防渗膜以插接等方式进行连接(见图 3)。该类地下连续墙不需要下放钢筋笼,故成墙后结构强度较低。但是,由于槽内下放了 HDPE 膜,且 HDPE 膜间进行了搭接处理,因此,该类地下连续墙具有极佳的防渗性能,通过实践,该地下连续墙的渗透系数仅有 $1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}^{[12]}$ 。

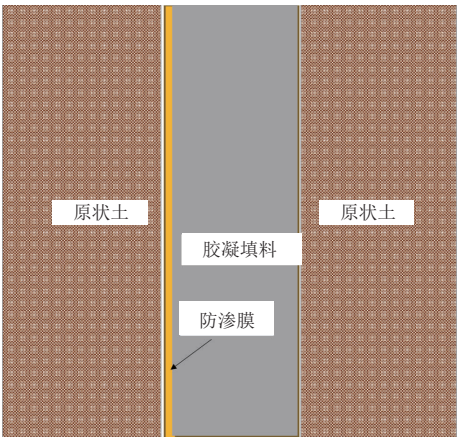


图 2 防渗膜地下连续墙剖面示意图

防渗膜地下连续墙适用于防渗要求较高,且后期无需开挖的工程,如河流、湖区附近的防渗截水项目等。

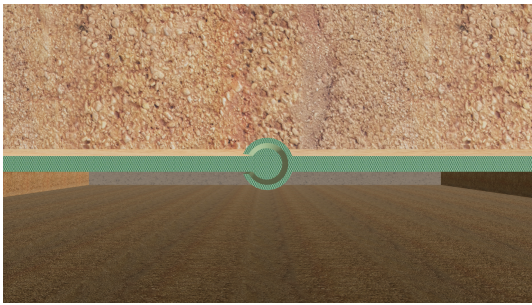


图 3 防渗膜插接连接示意图

对于防渗膜地下连续墙,墙体內的胶凝材料除使用抗渗混凝土之外,还可以更换为其他材料,如膨润土或粉煤灰。当以膨润土或粉煤灰作为墙体材料时,HDPE 膜的设计位置有两类,分别位于地下连续墙墙体中轴线上以及墙体朝外一侧墙壁上,当前多以朝外一侧墙壁铺设为主。

2.3 钢筋笼附膜地下连续墙

钢筋笼附膜地下连续墙是在一般地下连续墙和防渗膜地下连续墙的基础上,考虑将 HDPE 膜附着在钢筋笼上,形成防渗性能更好的地下连续墙。该地下连续墙的防渗性能较一般地下连续墙和钢箱地下连续墙好,较防渗膜地下连续墙弱;其结构整体性、强度较一般地下连续墙和防渗膜地下连续墙好,较钢箱地下连续墙弱。

钢筋笼附膜地下连续墙适用于地下水丰富且需开挖的基坑围护项目,如临近河流的车站等。

3 工程实践

3.1 钢箱地下连续墙

某钢箱地下连续墙试验段包括 3 幅槽段:1 幅首开槽段、2 幅闭合槽段。其中,首开槽段内下放钢箱,闭合槽段内下放钢筋笼。试验段墙厚 1.2 m,墙深 50.5 m。首开槽段钢箱与闭合槽段钢筋笼结构通过预留插接段连接,在浇筑完成后形成长度为 12.089 m 的钢箱地下连续墙结构。

该地下连续墙施工过程中,存在难点主要为钢箱、钢筋笼制作安装。实际施工中,钢箱采用工厂一体化制作,钢筋笼采用现场制作的方式;主吊吊装设备选用起吊能力为 500 t 级的履带吊,配合有 350 t 履带吊 1 台和 150 t 履带吊 3 台。钢箱、钢筋笼分节吊装,在槽口拼接后使用 900 t 级履带吊下放至设计深度。

该项目基坑开挖后,地下连续墙墙身及底部并未发生明显渗漏现象,图 4 给出了该项目现场开挖情况。结果表明,钢箱地下连续墙防渗能力满足要求。

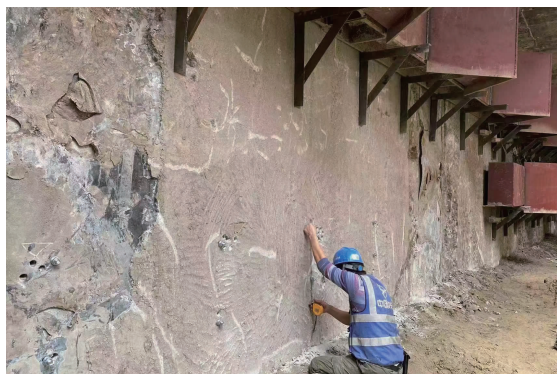


图4 江阴试验段项目现场开挖图

3.2 防渗膜地下连续墙

某矿截水项目位于内蒙古赤峰市,该项目采用的是防渗膜地下连续墙工艺,成墙深度13~43.8 m,厚0.8 m,地下连续墙轴线长度1 280 m。场地内地层以砂卵砾石层为主,上部有薄填土层,墙底入基岩3 m,基岩基本为泥炭质灰岩。

防渗膜地下连续墙工艺实施过程中,主要难点在于防渗膜铺设。项目部采用了特制铺膜架进行铺膜施工。HDPE 防渗膜厚度为2 mm;膜密度为 $0.918\sim 0.940\text{ t/m}^3$,较槽内泥浆密度小,因此,在防渗膜底部设置有配重以抵抗防渗膜下放过程中的浮力。防渗膜铺设过程中,控制两防渗膜间的搭接宽度为1 m,保证防渗膜发挥作用。

混凝土浇筑采用导管法进行。浇筑过程中,首先进行一次浇筑,一次浇筑量需要达到使底部混凝土浇至槽底以上1 m处。后续浇筑时,保证导管埋入混凝土材料中的高度维持在2~6 m,并及时拆卸多余导管。

项目结束后,该矿疏排水量由1990年8月15日至2010年末的平均排水 $43.8\text{ 万 m}^3/\text{d}$ 降低至当前的 $7\text{ 万 m}^3/\text{d}$ 左右,降低疏排水量达80%以上,降低每年疏排水费用达上亿元。

3.3 钢筋笼附膜地下连续墙

杭政储出26号地块围护结构试验段工程总计有3幅地下连续墙,分别为一首开、一连接、一闭合,墙厚1 m,墙深30 m,采用钢筋笼附膜地下连续墙工艺,所附防渗膜为PE膜。

实际施工中,采用自制铺膜机进行铺膜工作。在钢筋笼底部焊接1块L型钢板,钢板尺寸为 $6\,000\text{ mm}\times 200\text{ mm}\times 3\text{ mm}$ 。PE膜一端固定在钢板上,下膜过程中,铺膜机下膜速度与钢筋笼下放速度保持一致。图5给出了钢筋笼附膜示意图,附膜钢筋笼下放完成图见图6。

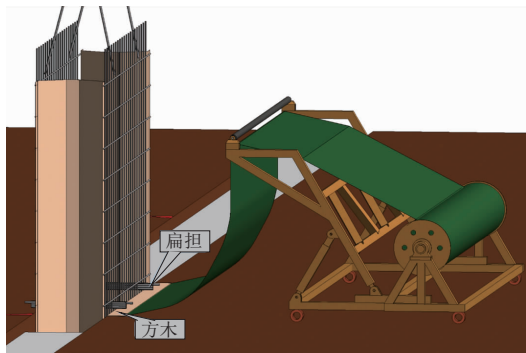


图5 钢筋笼附膜示意图



图6 附膜钢筋笼下放完成图

该项目地下连续墙施工完成后,墙后基坑开挖过程中无明显渗漏发生。现场基坑开挖图见图7。



图7 现场基坑开挖图

4 工艺对比

地下连续墙含钢量统计见表1。

由表1可知,一般地下连续墙含钢量皆小于 200 kg/m^3 ;钢筋笼附膜地下连续墙含钢量与一般地下连续墙类似,防渗膜地下连续墙与钢箱地下连续墙则与其他地下连续墙有较大区别。由于防渗膜地下连续墙仅作为防渗使用,因此,其含钢量为零;钢箱地下连续墙需要具备较大的垂直受力和水平受力能力,故其含钢量较其他地下连续墙大,达到 366.0 kg/m^3 。这意味着,钢箱地下连续墙在钢筋材料成本上较高,并且,同样尺寸的槽段,所需钢材较多意味着所需吊装设备较大,因此,钢箱地下连续墙施

表 1 地下连续墙含钢量统计

序号	项目名称	地下连续墙形式	含钢量 / (kg·m ⁻³)
1	深莞隧道东段 DK14+841~DK14+964 段围护结构	一般地下连续墙	199.5
2	无锡地铁 5 号线 9 标项目围护结构工程	一般地下连续墙	177.6
3	南京地铁 11 号线柳洲东路站换乘通道地下连续墙工程	一般地下连续墙	127.8
4	芳村至白云机场城际工程三工区广白盾构井地下连续墙	一般地下连续墙	164.3
5	南昌东站围护结构项目	一般地下连续墙	181.0
6	某大桥围护结构试验段项目	钢箱地下连续墙	366.0
7	某矿截水项目	防渗膜地下连续墙	0
8	杭政储出 26 号地块地下连续墙试验段项目	钢筋笼附膜地下连续墙	183.0

工成本较高。

根据不同工艺的实际使用情况，总结了一般地下连续墙与上述几种地下连续墙在成墙后的防渗能力、结构整体性、综合受力能力、施工难度和施工成本(包括钢筋材料成本、人工成本、吊装机械成本)的对比,结果见表 2。

表 2 几种地下连续墙性能及成本对比

序号	地下连续墙类型	防渗能力	结构整体性	综合受力能力	钢筋材料成本	人工成本	吊装机械成本
1	一般地下连续墙	中等	中等	中等	中等	中等	中等
2	防渗膜地下连续墙	很高	很低	很低	极低	低	很低
3	钢箱地下连续墙	较高	很高	很高	很高	很高	很高
4	钢筋笼附膜地下连续墙	高	中等	中等	中等	稍高	中等

5 结 语

防渗作用是地下连续墙的重要作用之一，而地下连续墙作为防渗结构使用已是常态，常规地下连续墙的防渗作用存在不足。

基于一般地下连续墙施工工艺，对于作为防渗结构的地下连续墙进行了探索与创新，得到了防渗膜地下连续墙、钢箱地下连续墙和钢筋笼附膜地下连续墙工艺,更将新工艺应用到实际项目中,实现了可观的经济效益和良好的生态效益。

参考文献:

[1] 刘明虎.桥梁地下连续墙基础发展与展望[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2021,40(10): 41-51.

[2] 张太科,尹敬泽,张鑫敏.悬索桥地下连续墙锚碇基础技术新进展[J].公路,2020,65(8): 162-167.

[3] 王川.格栅式地下连续墙桥梁基础与土的动力相互作用数值模拟研究[D].成都:西南交通大学,2019.

[4] 韩淋臣.地下连续墙桥梁基础承载特性数值模拟分析[D].兰州:兰州交通大学,2017.

[5] 易琼.地铁车站围护结构地下连续墙作为桥梁桩基的竖向承载力分析[J].工程建设与设计,2022(19):142-145.

[6] 肖昌军,陆云贤,周志,等.复合地层土压平衡盾构斜穿地下连续墙推进力计算研究—以南宁市轨道交通 5 号线新广区间盾构隧道工程为例[J].隧道建设(中英文),2021,41(9):1485-1491.

[7] 吴小琴.上海苏州河段深层隧道项目盾构可切削地下连续墙材料研究[J].隧道与轨道交通,2019(1):10-12,54.

[8] 徐江平,林永贵.地下隧道主体结构与基坑支护地下连续墙结构的协同优化[J].广东土木与建筑,2018,25(12):20-22.

[9] 周凯.紧邻高层建筑条件下盖挖逆作基坑的 T 型地下连续墙设计[J].中国高新科技,2022(20):36-38.

[10] 何晓彤,冉续,黄尚珩,等.既有建筑地下增层地下连续墙及基底回弹变形分析[J].四川建筑,2022,42(4): 136-137,142.

[11] 朱宏军,张雁,孙浩,等.元宝山露天煤矿帷幕截水技术研究[J].煤炭工程,2022,54(9):64-69.

[12] 高胜,李国志,郭英杰,等.截水帷幕技术在元宝山露天煤矿的应用与效果评价[J].煤田地质与勘探,2022,50(7):28-35.