

地下连续墙的 设计施工与应用

丛蔼森 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

地下连续墙的设计施工与应用

丛蔼森 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是一本专门讲述地下连续墙的设计施工与应用的专著。系统地介绍了地下连续墙的设计、施工方法及最新的科研成果。全书共分六篇。第一篇介绍地下连续墙概念、槽孔稳定理论、设计方法和试验检测成果；第二篇介绍泥浆原材料的基本性能，泥浆的技术特性和测试方法、生产和回收技术以及特种泥浆；第三篇介绍地下连续墙的各种墙体材料的性能、配比和施工要点；第四篇介绍地下连续墙的施工机械、工艺和管理；第五篇介绍特种地下连续墙的施工；第六篇介绍地下连续墙的应用状况，对其发展前景进行了展望。

本书可供建筑、交通、水利、市政、铁道、地矿等行业从事土建工程设计与施工的技术人员使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

地下连续墙的设计施工与应用/丛蒿森编著. —北京:中国水利水电出版社, 2000.10
ISBN 7-5084-0412-2

I. 地… II. 丛… III. ①地下连续墙-结构设计②地下连续墙-建筑施工 IV. TU476

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 64761 号

书 名	地下连续墙的设计施工与应用
作 者	丛蒿森 编著
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 79 印张 1860 千字
版 次	2001 年 2 月第一版 2001 年 2 月北京第一次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	150.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

序 言

2000年,欣逢20世纪的千禧之年,对每个人来说都是一个百年一遇的好时光,在这样一个历史时刻,丛蔼森总工程师的巨著《地下连续墙的设计施工与应用》出版了,令人欢欣,令人鼓舞。我对此表示衷心地祝贺。

20世纪30~40年代,德意日法西斯发动了灭绝人寰的第二次世界大战,欧洲、亚洲大部分地区的地面建筑与设施遭受了彻底的破坏。二战胜利后,势必要进行大规模的重建工作,于是基础工程施工自然成为建设部门中多工种综合施工不可分割的一部分。一门新兴的技术学科——岩土钻掘(基础)工程已经形成,并不断发展。其中最最重要的地下连续墙设计施工与应用的发展进程极快。在我国,丛蔼森总工程师和他的同事们作出了卓越贡献。

用大型工程机械在水库大坝施工连续墙发轫于50年代的意大利。此后向建筑、灾害治理、环境工程、铁道等领域迅速扩展。

在改革开放初期,我国施工连续墙依然用落后的冲击钻机,或回转钻机成桩后形成连续墙,不仅设备工艺落后,墙体质量差,而且施工周期长,建设速度严重滞后。为扭转这一局面,丛蔼森同志自北京市水利规划设计研究院调任北京市水利工程基础总队任总工程师,根据他过去从事过的“六五水电部地下防渗墙和槽孔混凝土成墙规”研究以及主持多座防渗连续墙约总量12万 m^2 设计施工所积累的经验和底蕴,他大胆提出进口意大利液压抓斗式连续墙开槽机的建议。经实地考察,领导同意,于90年代初引进了意大利抓液压抓斗开槽机。这一引进改变了我国多种连续墙设计施工的落后面貌,推动了基础工程的迅猛发展,截止目前仅水电系统已建成连续墙约90万 m^2 。该设备的先进性,经济效益与社会效益高,引起强烈反响,同行们陆续又引进该设备30余台,并已通过合作方式组织国产化生产。对我国基础工程的推动与促进作用,丛总工程师功不可殁。

《地下连续墙的设计施工与应用》一书是丛总近30年从事连续墙工作中,孜孜不倦地积累起来的工作经验、先进经验和他不辍地追求科学

技术进步而撰写的专业著作。更可贵的是他收集了大量国内国外的施工实例，犹如医生手中的病历，很有学习和参考价值，前车之鉴，价如瑰宝。

《地下连续墙的设计施工与应用》一书，是一部理论联系实际，极为难得的有关连续墙的工具书，填补了我国这类工具书的空白，国际上也是先进的。

中国工程院院士 刘广志

2000年9月2日

前 言

这是一本专门论述地下连续墙的设计施工和应用方面的专著。

自从1950年意大利开始在水库大坝中修建地下连续墙以来的50年中,这一技术取得了迅速发展。世界各国都是首先从水利水电基础工程中开始应用,而后推广到建筑、市政、交通、矿山、铁道和环境等部门的。最初的地下连续墙厚度不过60 cm,深度不过20 m。1980年以后,墙厚超过了1.2 m、深度超过100 m的地下连续墙不断涌现出来。可以说20世纪80年代是地连墙技术急速发展的年代。成功研制并使用了水平多轴的铣槽机。到了90年代,进行了超厚(3.20 m)和超深(170 m)的试验性施工。已经建成了像日本东京湾跨海大桥的川崎人工岛(墙厚2.8 m,直径108 m)的大型地下连续墙,以及最大深度达140 m的地下连续墙。目前最薄的地下连续墙厚度为20 cm。

地下连续墙最发达的国家当属日本,已经累计建成了地下连续墙1500万 m^2 以上,近年来每年平均建成(60~80)万 m^2 。其他如意大利、法国、德国、加拿大、英国和墨西哥等国家,都位于地下连续墙技术发展的前列。

地下连续墙技术是20世纪50年代末期引入我国的。1957年我国的水利代表团考察了意大利的地下连续墙技术,1958年开始在青岛月子口水库和北京密云水库进行桩排地下连续墙施工和槽孔地下连续墙的试验性施工,1960年建成了密云水库白河主坝的槽孔防渗墙。和其他国家一样,我国也是首先从水利水电工程中开始应用地连墙技术的。它使我国水库和大坝的防渗和安全设计及施工技术发生了很大的变化,著名的三峡和小浪底工程都使用了地下连续墙。到目前为止,水利水电系统已建成地下连续墙约90万 m^2 ,其中北京水利基础总队完成了30%~40%。70年代中期,此项技术开始推广应用到建筑、煤矿、市政等部门,特别是1977年召开的全国防渗墙经验交流会,对此项技术起到了很好的推动作用。

我国的挖槽机过去多用冲击钻机,70年代中期开始研制抓斗,80年代中期开始引进国外的液压抓斗,其中北京水利基础总队于90年代初期引进意大利土力公司的液压抓斗后,进行了消化吸收和创新,引起了同行的注意,相继引进了30多台同型号设备,国内鲜见。此外,该公司与设计部门合作,从1980年开始使用膨润土泥浆以来,共使用了2万多t商品土粉。

各国都有自己的地下连续墙的名称,我国通常把大坝中以防渗为主的叫地

下防渗墙，而将开挖暴露的叫做地下连续墙。为统一起见，总的名称仍叫地下连续墙。

本书是笔者多年来收集大量国内外有关资料，结合本人 30 多年来参与主持设计、施工和科研试验的体会写成的，希望能给读者朋友们提供有关地下连续墙设计、施工、科研试验、推广应用和发展情况方面的实用资料，以资在工程中参考使用。

本书共分六篇，共 28 章。第一篇（概论）中，分别介绍了地下连续墙概念、槽孔稳定理论、设计方法和试验检测成果等；第二篇（工程泥浆）中对泥浆原材料的基本性能、泥浆的技术特性和测试方法、生产和回收技术以及特种泥浆进行了阐述；第三篇则叙述了地下连续墙的各种墙体材料的性能、配比和施工要点；第四篇重点介绍地下连续墙的施工机械、工艺和管理；第五篇则介绍了特种地下连续墙的施工；第六篇对地下连续墙的应用状况和发展前景作了说明。

本书在编写过程中，得到了很多单位和个人的大力支持与帮助，在此表示深深的谢意。

由于本人水平所限，错漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

丛蔼森

2000 年 5 月

目 录

序 言	
前 言	

第一篇 地下连续墙概论

第一章 地下连续墙的概念	1
第一节 地下连续墙的发展概况	1
第二节 地下连续墙的优缺点	7
第三节 地下连续墙的分类	7
第四节 地下连续墙的用途	8
第五节 地下连续墙的技术要点	9
参考文献	9
第二章 槽孔的稳定	10
第一节 概述	10
第二节 非支撑槽孔的稳定	10
第三节 粘土中泥浆槽孔的稳定	12
第四节 砂土中泥浆槽孔的稳定	15
第五节 槽孔稳定性的深入研究	18
第六节 泥浆的流变性对槽孔稳定的影响	27
第七节 深槽周围的地面沉降	28
第八节 泥浆与地基土的相互作用	28
第九节 关于槽孔稳定问题的讨论	31
第十节 工程实例	31
参考文献	34
第三章 地下防渗墙设计	35
第一节 概述	35
第二节 防渗方案的比较与选定	36
第三节 防渗墙的总体布置	41
第四节 防渗墙的渗流计算和结构计算	46
第五节 防渗墙的厚度	62
第六节 防渗墙的深度	63
第七节 防渗墙的细部设计	64
第八节 防渗墙的接头	71

第九节 墙体材料的选择	71
参考文献	72
第四章 深基坑支护工程设计	73
第一节 概述	73
第二节 深基坑支护结构	86
第三节 设计荷载	96
第四节 地下连续墙和排桩的内力分析	133
第五节 支撑和拉锚	173
第六节 基坑变形计算与控制	230
第七节 基坑稳定分析	254
第八节 地下连续墙设计	276
第九节 基坑土体加固	288
第十节 本体利用	296
第十一节 其他支护结构	302
参考文献	321
第五章 深基础工程设计	323
第一节 概述	323
第二节 井筒式基础的设计	326
第三节 墙桩(条桩)的设计	346
第四节 建筑基础的设计(一)	352
第五节 建筑基础的设计(二)	358
参考文献	364
第六章 地下连续墙的试验研究成果	367
第一节 概述	367
第二节 槽孔混凝土成墙规律试验研究	367
第三节 地下连续墙的质量缺陷和预防	386
第四节 地下连续墙基础的试验研究成果	396
第五节 日本的地下连续墙深基础试验研究	404
参考文献	418

第二篇 工 程 泥 浆

第七章 工程泥浆概述	420
第一节 概述	420
第二节 泥浆的功能和用途	422
第八章 工程泥浆的原材料	426
第一节 概述	426
第二节 造浆粘土和水	426
第三节 泥浆外加剂	441

第四节	泥浆材料的选定	452
第九章	泥浆的基本性能和测试方法	454
第一节	概述	454
第二节	泥浆的流变特性	456
第三节	泥浆的稳定性	462
第四节	泥浆的失水与造壁性	465
第五节	泥浆的电导特性	469
第六节	泥浆的其他性能	470
第十章	泥浆性能的变化与调整	473
第十一章	工程泥浆的制备、使用和再生	479
第一节	泥浆配合比设计和调整	479
第二节	制备泥浆的设备和方法	485
第三节	泥浆的净化和再生	494
第四节	泥浆的质量管理和控制	499
第十二章	特种泥浆	510
第一节	概述	510
第二节	特殊地基条件下的泥浆	510
第三节	特殊荷载下的泥浆	511
第四节	SM (超) 泥浆	512
第五节	选择絮凝性泥浆的试验研究	518
第二篇参考文献		523

第三篇 墙 体 材 料

第十三章	刚性混凝土	524
第一节	墙体材料发展概况	524
第二节	混凝土和钢筋混凝土	525
第三节	预应力混凝土	528
第四节	固化剂混凝土	532
第五节	粘土混凝土	537
第六节	粉煤灰混凝土	546
参考文献		550
第十四章	塑性混凝土	552
第一节	概述	552
第二节	塑性混凝土的材料和配合比	556
第三节	塑性混凝土的强度和变形	563
第四节	塑性混凝土的渗透特性	577
第五节	塑性混凝土的耐久性	583
第六节	塑性混凝土防渗墙的设计	593

第七节 日本的研究和应用	606
第八节 水泥砂浆	613
参考文献	614
第十五章 柔性墙体材料	615
第一节 概述	615
第二节 固化灰浆	615
第三节 自硬泥浆防渗墙	623
第四节 泥浆槽	638
第五节 粘土(块、粉)	641
第六节 水泥粘土浆	644
第七节 粘土水泥砂浆	646
第八节 沥青混凝土和砂浆	647
参考文献	655

第四篇 地下连续墙施工

第十六章 工法和设备	657
第一节 概述	657
第二节 主要常用工法概要	658
第三节 冲击钻进工法和设备	660
第四节 抓斗挖槽工法和设备	676
第五节 垂直回转钻进工法和设备	697
第六节 水平多轴回转钻进工法和设备	705
第七节 全套管钻进工法和设备	712
第八节 其他工法和设备	720
第九节 小结	720
第十七章 施工计划和管理	723
第一节 概述	723
第二节 施工计划	724
第三节 槽段的划分	726
第四节 施工平台	738
第五节 导墙	741
第六节 施工现场布置和设施	752
第七节 施工管理	756
第十八章 挖槽和清孔	766
第一节 概述	766
第二节 挖槽施工要点	768
第三节 复杂地层中的挖槽	774
第四节 清孔	780

第五节	检测和验收	787
第六节	土渣和废浆的处理	796
第七节	挖槽的质量保证措施	798
第十九章	成墙施工	800
第一节	概述	800
第二节	钢筋的加工和吊装	800
第三节	水下混凝土浇注	812
第四节	预埋件	832
第五节	埋设观测仪器	834
第二十章	接头和节点	848
第一节	概述	848
第二节	对槽段（施工）接头的基本要求	848
第三节	钻凿接头	849
第四节	接头管	851
第五节	接头箱	859
第六节	隔板式接头	862
第七节	预制接头	865
第八节	软接头	866
第九节	其他接头	868
第十节	施工接头的缺陷和处理	869
第十一节	结构接头	871
第四篇参考文献		877

第五篇 特种地下连续墙施工

第二十一章	预制地下连续墙	879
第一节	预制地下连续墙的发展概况	879
第二节	预制地下连续墙的工法简介	880
第三节	预制地下连续墙的固化材料	887
第四节	预制墙板	889
第五节	预制地下连续墙工程实例	893
参考文献		897
第二十二章	钢制地下连续墙	898
第一节	概述	898
第二节	试验研究	899
第三节	钢制地下连续墙的设计要点	905
第四节	施工要点	909
第五节	SRC 地下连续墙设计施工要点	912
第六节	工程实例	914

参考文献	924
第二十三章 薄墙的施工	925
第一节 概述	925
第二节 射水法建造地下连续墙	925
第三节 锯槽法建造防渗墙	937
第四节 板桩法建造防渗墙	952
第五节 薄膜防渗墙	965
第六节 插板法建造薄防渗墙	975
第七节 小口径搅拌桩截渗墙	976
第八节 其他工法	980
参考文献	989
第二十四章 特种地下连续墙施工	990
第一节 概述	990
第二节 固化灰浆防渗墙	990
第三节 自硬泥浆防渗墙	1017
第四节 岩石中的地下连续墙	1037
第五节 高喷防渗墙	1050
第六节 泥浆槽防渗墙	1099
第七节 搅拌桩防渗墙	1114
参考文献	1124

第六篇 应用和展望

第二十五章 深基坑和深基础工程	1125
第一节 概述	1125
第二节 三合一地下连续墙	1125
第三节 盐官排洪闸的地下连续墙	1142
第四节 嘉利来世贸中心基坑的条桩支护	1147
第五节 非圆形大断面灌注桩基础	1158
第六节 竖井工程	1163
第二十六章 水利水电工程	1177
第一节 概述	1177
第二节 十三陵水库的三道防渗墙	1177
第三节 小浪底水利枢纽的防渗墙	1204
第四节 长江三峡工程的防渗墙	1223
第二十七章 环境保护工程	1230
第一节 概述	1230
第二节 墙体材料的试验研究	1230
第三节 设计施工要点	1234

第四节 铬渣场防渗墙工程	1237
第五节 露天矿山的地下防渗墙工程	1242
参考文献	1246
第二十八章 地下连续墙技术展望	1247

第一篇 地下连续墙概论

第一章 地下连续墙的概念

第一节 地下连续墙的发展概况

一、地下连续墙定义

利用各种挖槽机械，借助于泥浆的护壁作用，在地下挖出窄而深的沟槽，并在其内浇注适当的材料而形成一道具有防渗（水）、挡土和承重功能的连续的地下墙体，称为地下连续墙。这种地下连续墙在欧美国家称为“混凝土地下墙”（Continuous Diaphragm Wall）或泥浆墙（Slurry Wall）；在日本则称为“地下连续壁”或“连续地中壁”或“地中连续壁”等；在我国则称为“地下连续墙”或“地下防渗墙”（表 1-1）。

表 1-1 地下连续墙名称表

序 号	国 家	名 称	资 料 来 源	备 注
1	中 国	地下连续墙，地下防渗墙		
2	日 本	地下连续壁，连续地中壁，地中连续壁，地中壁，地下连续壁基础		
3	美 国	泥浆槽墙（Slurry Walls, Slurry Trench）	见参考文献 [1] 和 [2]	最早见于 1974 年的书中
4	欧 洲	Continuous Diaphragm Wall, Diaphragm Wall, Cut-off Wall, Diaphragm Cut-off Walls		
5	加拿大	Slurry Trench, Cut-off Walls		
6	其他国家	Antiseep Wall	土木工程杂志	1983 年

要想给地下连续墙下一个严格的定义是困难的，这是因为：

- （1）由于目前挖槽机械发展很快，与之相适应的挖槽工法层出不穷。
- （2）有不少新的工法已经不再使用泥浆。
- （3）墙体材料已经由过去以混凝土为主而向多样化发展。
- （4）不再单纯用于防渗或挡土支护，越来越多地做为建筑物的基础。

此外，国外也有把上面所说地下墙分为以下两大类的，即凡是放有钢筋的、强度很高的叫做地下连续墙（Diaphragm Wall），而那些无钢筋的和强度较低的叫泥浆墙（Slurry

Wall)。其实这种分法也不是很确切的。

二、地下连续墙的发展概况

1. 在欧美国家的发展

地下连续墙技术起源于欧洲。它是根据打井和石油钻井使用泥浆护壁和水下浇注混凝土的方法而发展起来的。1914年开始使用泥浆。1920年德国首先提出了地下连续墙专利(见表1-2)。1921年发表了泥浆开挖技术报告,1929年正式使用膨润土制作泥浆。至于在泥浆支护的深槽中建造地下墙的施工方法则是意大利米兰的C·维达尔(C. Veder)开发成功的。由于米兰(还有巴黎)的地基是由砂砾和石灰岩构成的,在这样的地质条件下,采用常规的打桩或打板桩的方法来建造地下结构物,是非常困难的,于是出现了这种先用机械挖出沟槽,然后再浇注混凝土的地下连续墙工法(也叫米兰法)。1948年首次在充满膨润土泥浆的长槽中进行了试验,以便证实建造堤坝防渗墙(Cut-off Wall)的可能性。1950年在意大利两项大型工程中建造了防渗墙。其一是圣玛丽亚(Santa Maria)大坝下砂卵石地基中建造了深达40m(130ft)的防渗墙。其二是在凡那弗罗(Venafro)附近的由S. M. E电力公司使用的储水池和跨沃尔托诺(Volturno)河的引水工程中,在高透水性地基中建造的深度达35m(115ft)的防渗墙。这些防渗墙不仅用于隔断地下水流,同时还要承受垂直的和水平的荷载,而需具有足够的强度。按预定工期建成了地下墙后,经过从墙身取样试验和观测检查,确认其性能和精度及强度均符合要求。还证明了比采用钢板桩方案节省大量费用。

表 1-2 地下连续墙开发应用简表

序号	年 份	国 名	开 发 应 用 简 况	备 注
1	1920 年 8 月 6 日	德 国	提出在两侧打入一种圆管,在中间再打入一个鼓型套管,并充填混凝土,然后借助压缩空气拔出套管并振捣混凝土,就做成了地下连续墙的施工技术专利。这是世界上首次出现的有关地下连续墙的专利	
2	1932 年	美 国	取得了使用泥浆护壁的可用横向移动的螺旋钻及特殊的斗式挖槽机施工的地下连续墙施工方法及其配套机具的专利权	美国专利号: 204870
3	1934 年	法 国	在尼斯(Nice)的gas工厂进行了深为30m的交叉柱列式地下连续墙的施工	
4	1938 年	意大利	成立了世界上著名的ICOS公司	
5	1940 年	法 国	批准了使用链式挖槽机的地下连续墙施工方法专利	专利号: 898413
6	1950 年	意大利	ICOS公司申请使用冲击式正循环法柱列式地下连续墙专利	
7	1951 年	奥地利	取得了在地下打入长方形套管并振捣混凝土使之成为地下连续整体的地下连续墙施工方法的专利权	

续表

序号	年 份	国 名	开 发 应 用 简 况	备 注
8	1953 年	意大利	维达尔 (Veder) 博士首次在第三届国际土力学地基基础会议上发表了《泥浆在连续墙中的作用》论文, 引起了与会者的重视	
9	1956 年	墨西哥	从法国、意大利引进地下连续墙新技术, 20 年来施工面积将近 100 万 m^2	
10	1957 年	加拿大	成立了 ICOS 公司, 开始搞截水墙	
11	1958 年	中 国	在山东省青岛月子口水库工程中采用地下连续墙技术修建了防渗墙	到目前为止, 全国绝大多数省份都先后应用了此项技术。估计已建成地下连续(防渗)墙 120 万~140 万 m^2
12	1959 年 12 月	日 本	在中部电力坝体工程中用 ICOS 工法进行了防渗墙的施工	起步较晚, 发展很快。已建成地下连续墙 1500 多万 m^2 。目前每年平均完成 60 万 m^2
13	1959 年	巴 西	当时专门将地下连续墙技术应用于截水墙工程中	
14	1960 年	英 国	在伦敦海德公园地下通道工程中采用了地下连续墙技术	
15	1962 年	美 国	成立了 ICOS 公司, 用旋转式挖掘机进行柱列式地下连续墙的施工。值得一提的是截水墙技术是美国的特长之一	
16	1964 年	匈牙利	从意大利引进了挖槽设备, 于 1968 年在水利工程中开始采用地下连续墙技术	
17	1966 年	前苏联	开始试制抓斗, 1968 年开始在抽水站工程中采用地下连续墙技术	
18	1970 年	波 兰	开始在厂房建设中采用地下连续墙技术	
19	1976 年	委内瑞拉	在首都加拉加斯的地铁工程中开始采用地下连续墙技术	

1950~1960 年的 10 年间, 地下连续墙这项技术随着二战结束后经济大发展的脚步而取得了惊人的发展, 包括挖槽机械、施工工艺和膨润土泥浆在基础工程中的应用。其中意大利的依克斯 (ICOS) 公司把它成功地应用到各种工程领域。1954 年真正的地下连续墙——槽板式——开发成功。据不完全统计, 意大利在 1954~1963 年共完成了 250 万 m^2 的地下连续墙。与此同时, 建造地下连续墙的技术在全世界得到了推广应用。1954 年前后很快传到法国和德国及欧洲各国, 1956 年传到南美各国, 1957 年传到加拿大, 1958 年传到中国, 1959 年传到日本, 1962 年 (一说 1963 年) 推广于美国。现在可以说, 地下连续墙技术已经遍及全世界。

进入 60 年代以后, 各国大力改进和研究挖槽机械和配套设备, 以便提高地下连续墙施