

TRD 工法和 CSM 工法在止水帷幕中的对比分析

熊文 习常志 文博

武汉建工集团股份有限公司 湖北 武汉 430056

【摘要】：随着基坑向深、大方向发展，深基坑的止水问题也越来越突出。本文通过对武汉长江日报路及扩大地块项目深基坑工程止水帷幕应用实例的分析，分别从施工功效、成墙质量及渗透性三个方面对 TRD 和 CSM 两个工法进行对比。由止水帷幕的现场施工情况以及检测结果可判断出：TRD 施工效率高于 CSM，且 TRD 水泥土搅拌墙均匀性更好，成墙效果更佳，两种工法都能满足作为深基坑工程超深止水帷幕的要求。

【关键词】：深基坑；止水帷幕；TRD 工法；CSM 工法

Comparative Analysis of TRD Method and CSM Method in Water Stop Curtain

Wen Xiong, changzhi Xi, Bo Wen

Wuhan Construction Engineering Group Co., Ltd., Hubei Wuhan 430056

Abstract: With the development of foundation pit to deep and general direction, the water stop problem of deep foundation pit is becoming more and more prominent. Through the analysis of water stop curtain in Wuhan Changjiang Daily Road and expanded plot project, we compare TRD and CSM from three aspects of construction effect, wall quality and permeability. It can be judged from the site construction and test results that the TRD construction efficiency is higher than CSM, and the TRD cement mixing wall is better uniform and the wall effect is better. Both working methods can meet the requirements of ultra-deep water stop curtain as a deep foundation pit project.

Keywords: deep foundation pit; water stop curtain; TRD method; CSM method

随着城市化建设的蓬勃发展，深基坑工程项目的施工难点越来越多，尤其是深基的抗渗止水要求不断提高，国内外专家学者根据基坑特点提出了不同的施工方法。止水帷幕在基坑降水中的作用是以自身的透水性极小或不透水来阻挡地下水流入本基坑内，可以保证基坑内处于干燥状态，便于项目施工，同时避免因基坑外围处水位下降引发的地面沉降问题，因此在深基坑的设计及施工阶段，止水帷幕的设置是整个基坑止水的关键环节，做好基坑止水帷幕施工阶段的质量控制具有重大意义^[1-2]。

文献^[3]提出 CSM 深层搅拌工艺在止水帷幕施工的定位(小于 50mm)、垂直度(小于 5/1000)、成墙深度(有效桩长)、成墙后的强度、均匀性等方面具有一定的优势；文献^[4]表明 TRD 工法完成的水泥土搅拌墙，其止水性能、垂直度、连续性以及成墙(桩)质量等都超过了其他的施工方法，并在各种土质条件下都能进行施工。

随着两种工法技术(CSM、TRD)引进国内并在止水帷幕施工中得到了大力推广，人们对两种工法的优缺点又有了新的认识，本文通过对武汉长江日报路及扩大地块项目深基坑工程止水帷幕应用实例的分析，分别从施工功效、成墙质量及渗透性三个方面对 TRD 和 CSM 两个工法进行对比，最终结果表明 TRD 工法施工效率高于 CSM 工法，两者水泥土搅拌墙均匀性好，成墙效果佳，都能满足作为深基坑工程超深止水帷幕的要求。

1 基坑概况

该项目位于长江日报路与香江路交叉口北侧，设置三层地下室。本项目±0.000=23.300m，本次地面设计场平标高20.800。本基坑面积约为12582.03m²，周长530.86m，开挖深度11.05~12.35m。其中北区基坑开挖面积约6403.95m²，周长为315.94m，南区基坑开挖面积约6178.08m²，周长为369.83m。基坑总体支护方案为水泥土搅拌墙止水帷幕+支护桩+钢筋混凝土内支撑，基坑周边采用落底式隔水帷幕，墙厚度为700mm，墙底深度以进入6-1层强风化泥质粉砂岩≥1m为控制。

2 施工技术及管理要点

2.1 定位放线

由指定的测绘单位提供的五个控制点，桩基单位绘制基坑支护放线图，测量员根据放线图距离基坑外边线500mm处放出施工控制线，随后放出水泥土搅拌墙的中心线及边线，复核中心线及边线位置后开挖导槽。

2.2 导槽开挖

采用反铲挖掘机进行导槽开挖。沟槽宽0.8m，深1m，用作搅拌泥浆与水置换的导槽，为保证现场土层能够承受施工机械重量，并在施工过程中能够处于稳定状态，需要提前对机械底部铺设厚度为10~20mm的钢板，确保底部整体受力均匀，便于设备施工。

2.3 CSM(双轮铣)切削施工

本基坑止水帷幕处于支护桩外，围绕整个基坑形成不规则

多边形。将止水帷幕分为若干幅段，采取分幅施工，每幅桩长度 2.8 米，厚度为 0.7 米。CSM(双轮铣)水泥土搅拌墙相邻两幅墙体之间端部重合长度为 0.3 米。

按现场实际情况将 CSM 施工的止水帷幕分为若干幅槽段，墙体深度根据地勘报告确定为 47 米左右。本项目采用 1 台双轮铣设备进行施工。双轮铣设备采用“一喷一搅”的模式，即铣头在削掘下钻至地面以下 10 米开始喷射注入膨润土浆，下沉速度为 0.5-0.8m/min，提升时通过注浆管注入水泥浆液并不断搅拌形成墙体。

双轮洗设备止水帷幕施工顺序：采取隔幅跳打施工，依次为 I → II → III → IV → V → VI……(见图 1)，其优点在于：①中间部分止水帷幕施工过程中，相邻墙体已硬化成墙，中间槽段施工时不会影响两边墙体质量，保证整体搭接效果，提高质量；②中间墙体施工时，相邻两边墙体已初步硬化，因此双轮洗设备在接触地面区域内的耐力并没有大幅度减少，能产生较为安定的工作环境，便于设备施工。

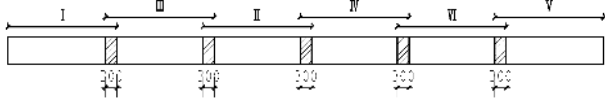


图 1 隔幅跳打示意图

2.4 TRD 水泥土搅拌墙施工

TRD 等厚度的混凝土搅拌墙一般采取以下三个主要工艺成墙方式：先行挖掘、回撤挖掘和成墙搅拌，即在切割箱下钻至确定深度后，利用设备在注浆孔投入挖掘液横向开挖大约十五米左右，随后切割箱折回至起始点，最后注入水灰比为 1 的水泥浆液并匀速向前推进十米左右搅拌成墙，喷浆完成后链条原位搅拌 1 小时，循环施工。

TRD 水泥地面搅拌墙施工机械具有两种明显特性，即混合搅拌和固化液自行掘削。与传统的混合搅拌施工工艺和垂直向下切割不同之处在于：TRD 工法技术首先将切割刀具分节下钻至指定深度，然后注入水泥浆液（水灰比为 1），土体与水泥浆融合搅拌，并向前水平匀速移动，保证水泥土搅拌连续墙能与原位土体搅拌均匀，确保墙体质量。

3 施工功效及成墙效果

3.1 施工情况

AM 段止水帷幕长度为 58.1m，施工时间段为 2021 年 10 月 11 日至 2021 年 11 月 2 日，历时 23 天；CE 段止水帷幕长度为 65.6m，施工时间段为 2021 年 10 月 23 日至 2021 年 11 月 4 日，历时 13 天，具体情况见表 1。

表 1 CSM、TRD 施工记录表

工法类别	CSM	TRD
开始时间	2021.10.11	2021.10.23

结束时间	2021.11.2	2021.11.4
施工时间/d	23	13
施工长度/m	58.1	65.6
施工深度/m	46.5-47.5	47.0-48.2
墙厚/mm	700	700
功效(m/d)	2.53	5.05

(上接表 1)

从表 1 可知：在止水帷幕厚度相等，施工深度相近的情况下，CSM 施工功效为 2.53m/d，TRD 施工功效为 5.05m/d，可以推断出 TRD 工法施工效率约为 CSM 的 2 倍。

3.2 成墙效果

为了检验止水帷幕成墙的效果，成墙后对水泥土墙现场取芯 4 幅，CSM 施工占两幅（桩号为 M13、M20），TRD 施工占两幅（桩号为 D9、D17），分别进行了原位取芯芯样抗压试验、室内渗透试验钻孔，取芯定为养护期 28 天后，每幅桩取两个点进行钻芯取样，钻头直径为 110mm，确保钻芯过程中的垂直度，连续钻取全长范围内的桩芯，取出的芯样不宜长时间暴露空气中，应及时封存，取芯完成后立即送检。

3.2.1 各试验孔样品实测无侧限抗压强度值与墙体深度关系详见图 2~图 5 所示：

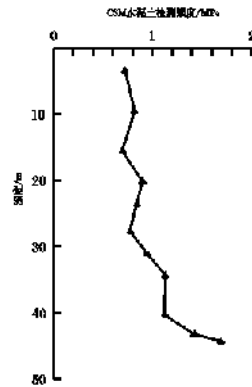


图 2 M13 号桩无侧限抗压强度图

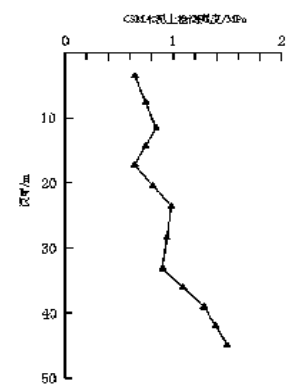


图 3 M20 号桩无侧限抗压强度图

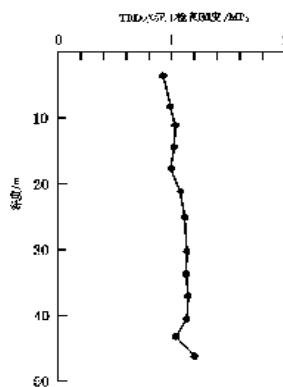


图 4 D9 号桩无侧限抗压强度图

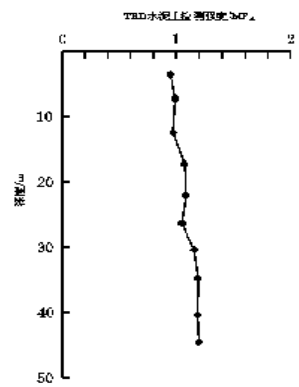


图 5 D17 号桩无侧限抗压强度图

由图2~图5可推断出:

(1) CSM、TRD 桩身取样试验结果表明芯样率较高, 桩身完整性及水泥土混合搅拌均匀性较好, 桩身检测强度大于0.6MPa, 两者都能满足本项目基坑止水要求;

(2) 止水帷幕深度为46.5-48.2m之间, 两者抗压强度与墙体深度呈正相关, 即墙体深度越深, 强度越大。但TRD成墙随深度变化幅度更加稳定, 间接表明TRD水泥土搅拌墙(桩)均匀性更好, 成墙效果更佳。

3.2.2 止水帷幕成墙后28d现场抽芯, 提取孔号为M20-1、D9-1芯样并进行室内渗透试验, 测得试验数据(见表2):

表2 抽样孔原位渗透试验检测统计表

龄 期	试验起点 深度/m	试验终点 深度/m	渗透系数 (cm/s)	
			M20-1 号孔 (CSM)	D9-1 号孔 (TRD)
28d	8	13	12.41×10^{-7}	7.63×10^{-7}
	17	20	9.72×10^{-7}	4.88×10^{-7}
	25	29	7.59×10^{-7}	5.62×10^{-7}
	35	38	5.62×10^{-7}	4.49×10^{-7}

参考文献:

- [1] 陈永才,李镜培,邸国恩,廖志坚.某深基坑降水对周边环境的影响分析及处理措施[J].岩土工程学报,2018,30(S1):319-322.
- [2] 王涛,胡宝山,刘忠秋.65m超深水帷幕的施工技术[J].施工技术,2016,45(S1):232-234.
- [3] 霍镜,朱进,胡正亮,李海兵,惠永川.双轮铣深层搅拌水泥土地下连续墙(CSM工法)应用探讨[J].岩土工程学报,2012,34(S1):666-670.
- [4] 安国明,宋松霞.横向连续切削式地下连续墙工法——TRD工法[J].施工技术,2005(S1):284-288.

基金项目:2021年度湖北省建设科技计划项目(No.43)。

作者简介:熊文(1982—),男,湖北武汉人,硕士,高级工程师,工程管理。

通信作者:习常志(1994—),男,湖北荆州人,硕士,助理工程师,岩土力学、工程管理。

根据室内渗透性试验结果显示,CSM、TRD工法技术墙体渗透系数区间为 $[4.49 \times 10^{-7}, 12.41 \times 10^{-7}]$,证明两者成墙28d后抗渗效果基本无差别,且都能满足深基坑止水要求。

4 结语

本文结合长江日报路及扩大地块项目基坑工程水泥土搅拌墙作为止水帷幕的实例,简单的介绍了CSM及TRD工法施工技术及控制要点,分别从施工功效、成墙质量及渗透性三个方面对两个工法进行对比分析,得出以下结论:

(1) 在止水帷幕厚度相等,施工深度相近的情况下,TRD工法施工效率约为CSM的2倍,止水帷幕施工采用TRD工法更能缩短施工周期;

(2) 采用CSM、TRD工法施工完成的水泥土搅拌墙,完整性较好,均匀性较好,都能满足作为深基坑工程超深水帷幕的要求。两者抗压强度与墙体深度呈正相关,即墙体深度越深,强度越大,但TRD成墙随深度变化幅度更加稳定,说明TRD水泥土搅拌墙均匀性更好,成墙效果更佳;

(3) CSM、TRD工法墙体渗透系数基本处于 $1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$,均能满足深基坑止水要求。