

Discussion on Seepage Barrier Curtain Technology of Deep Foundation Pit Engineering

Jun Yu Wei Zheng Li Song

China Machinery TIDI Geotechnical Engineering Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract

Among the factors that affect the stability of foundation pit, groundwater control plays a dominant role. In recent years, most of the safety accidents of foundation pit engineering are related to improper groundwater control, among which preventing seepage damage is the primary purpose of groundwater control. Groundwater control methods include seepage isolation, precipitation and a variety of combinations of the two methods. When the seepage barrier curtain is used to control groundwater, reasonable design scheme and appropriate construction method should be selected according to geological conditions, excavation depth, surrounding environment and applicable conditions of mechanical equipment. At the same time, construction quality management should be strengthened during the construction process to ensure that the seepage barrier curtain of the foundation pit is tight and not leaking. Only by taking multiple measures at the same time, can better groundwater control effect be achieved.

Keywords

foundation pit engineering; groundwater control; seepage barrier curtain; osmotic failure

深基坑工程隔渗帷幕技术的探讨

余俊 郑威 宋立

中机三勘岩土工程有限公司, 中国 · 湖北 武汉 430000

摘 要

对基坑稳定性产生影响的各因素中, 地下水控制占据主导地位。近年来基坑工程安全事故的发生, 大多数和地下水控制不当有关, 其中防止发生渗透破坏是地下水控制的首要目的。地下水控制方法包括隔渗、降水及两种方法的多种组合。采用隔渗帷幕控制地下水时, 应根据地质条件、开挖深度、周边环境以及机械设备的适用条件, 选择合理的设计方案和适宜的工法, 同时施工过程中应加强施工质量管理, 确保基坑隔渗帷幕严密不漏, 只有多措并举, 才能取得较好的地下水控制效果。

关键词

基坑工程; 地下水控制; 隔渗帷幕; 渗透破坏

1 概述

随着中国城市化进程的加快, 深基坑工程技术的不断发展, 基坑工程的规模和开挖深度也在不断增大。对基坑稳定性产生影响的各因素中, 地下水控制占据主导地位, 近年来基坑工程安全事故的发生, 大多数和地下水控制不当有关。深基坑地下水控制的目的是预防地下水渗流产生渗透破坏和基坑周边地层因排水固结发生地面不均匀沉降。其中防止发生渗透破坏是地下水控制的首要目的^[1]。地下水控制方法包括隔渗、降水及两种方法的多种组合, 由于篇幅有限, 论文仅对基坑工程中隔渗帷幕技术与读者进行探讨。

2 水泥土搅拌桩

2.1 背景介绍

水泥土搅拌桩技术, 是通过特制的机械强力将水泥与土搅拌, 形成具有较好力学性质的水泥加固体, 广泛应用于地基基础和基坑工程。该技术起源于 20 世纪 50 年代的美国, 1973 年日本开始进一步的研发和实际应用, 目前在该技术领域处于领先地位。中国在 70 年代末引进并随后研制出适合中国国情的多种专用搅拌机械, 并形成庞大的专业施工队伍。

2.2 工艺介绍

根据施工工艺不同, 可分为单轴、双轴、三轴水泥土搅拌桩, 另外根据固化剂采用水泥浆体或水泥粉体的不同, 又有湿法和干法的区分, 即通常所说的浆喷搅拌法和粉喷搅拌法。湿法工艺水泥土固化时间较长, 但搅拌均匀, 易于复搅, 成桩质量较好; 干法工艺水泥土固化时间较短, 搅拌均

【作者简介】余俊 (1984-), 男, 中国湖北鄂州人, 本科, 高级工程师, 从事岩土工程研究。

匀性欠佳，如施工质量保证措施不到位，易形成“千层饼”状搅拌体，成桩质量得不到保证，造成基坑侧壁止水止淤效果降低。为保证隔渗帷幕的施工质量，在条件允许时宜优先采用双轴浆喷和三轴搅拌桩隔渗帷幕。

2.3 适用地层

①水泥土搅拌桩适用于处理正常固结的淤泥与淤泥质土、素填土、软塑~可塑黏性土、稍密~中密粉土、松散~中密粉细砂、松散~稍密粉中粗砂、饱和黄土等土层。当地基土的天然含水量小于 30% 时不易固结水泥土体，不宜采用粉喷搅拌法^[2]。

②对于泥炭土、有机质土、pH 值小于 4 的酸性土或在腐蚀性环境中，水泥水化产物中的氢氧化钙、水化硫铝酸钙等有效成分或溶解，或结晶膨胀，致使水泥土无法固化或成桩后开裂、崩解失去强度，造成隔渗帷幕失效；对于土体塑性指数大于 25 的黏土，由于土颗粒和水的结合能力很强，施工中搅拌头叶片极易被黏土包裹形成泥团，水泥浆与土颗粒无法充分拌和，成桩质量得不到保证，因此必须通过现场和室内试验确定其适用性。

③含大孤石或障碍物较多且不易清除的杂填土、硬塑及坚硬的黏性土、密实的砂土，搅拌头叶片磨损大、施工效率低，施工前应翻槽挖除后换填素土；地下水呈流动状态的土层，水泥在尚未硬化时易被流动的地下水冲掉，加固效果受影响，质量较难控制，不宜采用水泥土搅拌桩。

2.4 主要的施工质量保证措施

①水泥土搅拌桩施工过程中必须随时检查施工记录和计量记录，重点检查水泥用量、桩长、搅拌头转数和提升速度、复搅次数、复搅深度和停浆处理方法等^[3]。

②为保证桩头质量，停浆（灰）面必须高于桩顶设计标高 500mm，高出部分在基坑开挖时截除；干法施工过程中水泥掺量失控是影响工程质量的重要环节，应配置水泥用量自动记录仪，随时监测水泥掺量均匀并符合设计要求；提钻速度过快不能保证桩身质量，过慢则影响工效；在水泥掺量不变的前提下，复搅可有效地提高桩身强度，保证质量，条件许可时应尽量复搅。

3 等厚度水泥土搅拌墙

3.1 背景介绍

由于喷浆（粉）泵压、搅拌轴动力等设备性能受限，常规的单轴、双轴搅拌桩机施工深度一般不超过 18m，三轴搅拌桩机施工深度不超过 30m。随着基坑工程规模和开挖深度越来越大，当桩长超过一定深度，并且需穿越坚硬的黏性土、密实砂土、碎石土、软岩地层时，上述常规的搅拌桩机已无法满足要求。目前的工程实践中，采用等厚度水泥土搅拌墙技术（Cement-soil Mixing Wall of Uniform Thickness），能够较好地解决上述问题。根据施工工艺不同，一般有 TRD 工法和 CSM 工法。

3.2 适用范围

适用于人工填土、黏性土、淤泥和淤泥质土、粉土、砂土、碎石土等地层；适用于单轴饱和强度不大于 10MPa 的软岩，通过配置高强钻头可以切削单轴饱和强度不大于 15MPa 的岩石；当场地存在下列情况时，宜通过试成墙试验确定其适宜性：地下障碍物较多且难以清除；密实砂层、粒径大于 100mm 的颗粒含量大于 30% 的卵砾石层；泥炭土、有机质土以及地下水有腐蚀性。

3.3 TRD 工法特点

①施工机架高度一般不超过 14m，稳定性好，适合受高度限制的作业环境。

②采用连续横向直线推进的工艺，形成的墙体连续无缝，解决了常规柱列式水泥土搅拌桩深部易开叉的问题，墙体隔水性好。

③采用切削刀具在整个设计深度范围内进行全层的搅拌混合，搅拌充分，整个墙身范围内水泥掺量均一，成墙质量可靠。

④相对于 CSM 工法，转角施工困难，在直线段连续施工的效率较高，墙体深度不宜超过 60m^[4]。

⑤设备能力：锯链式设备应有柴油机、电动机或柴电双动力等不同的动力源。目前中国的锯链式设备主要有 TRD-D、TRD-E、CMD850、TRD-Ⅲ 等型号，不同型号 TRD 设备参数如详见表 1。

表 1 不同型号 TRD 设备参数表

型号	功率 (kW)	最大 深度 (m)	最大 宽度 (mm)	动力源	移位 方式	产地
TRD-D	380+90	60	850	柴电双 动力	步履式	中国
TRD-E	420	60	850	电动机	步履式	中日
CMD850	380	40	850	柴油机	履带式	中国
TRD-III	470	55	850	柴油机	履带式	日本

3.4 CSM 工法特点

①铣削搅拌成墙过程中置换土少，成墙过程中置换土小于 30%，对环境的影响较小。

② CSM 工法设备移动灵活，墙体深度不宜超过 60m。

③ CSM 工法设备重量较大的铣头驱动装置和铣头均设置在钻具底端，设备整体重心较低。铣头驱动装置切削掘进过程中全部进入削掘沟内，使噪音和振动大幅降低。

④ CSM 工法设备铣头由多排刀具组成，土体通过铣轮高速旋转被削掘，同时削掘过程中注入高压空气，使其具有非常优良的搅拌混合性能。

⑤施工设备高度较高，对作业净高度要求较高，设备对场地要求较高，可能存在倾覆风险。

⑥设备能力：目前最大的 CSM 工法设备：采用德国宝峨 MC64 主机（100t）；卡特柴油双发动机，功率为

570kW；配宝峨绳索式 BCM10 铣头，最大施工深度可达 80m。目前主要使用的 CSM 设备参数表详见表 2。

表 2 目前主要使用的 CSM 设备参数表

施工设备型号		工作高度 (m)	整机 重量 (t)	铣削 深度 (m)	移动方式	动力
导杆 式设 备	SC30	36.240m	110	30	履带式	柴油机
	SC35	40.745m	133	35	履带式	柴油机
	SC45	53.170	150	45	履带式	电动机
	SC55	62.090	190	55	步履式	电动机
	SC65	68.990	192	65	步履式	电动机
悬吊式设备 MC64		6.710	112	80	履带式	电动机

3.5 工程案例

3.5.1 CSM 工法工程案例

武汉市红十字会医院扩建基坑支护工程，基坑开口面积约 9500m²，周长约 480m，基坑开挖深度 17.10m，基坑重要性等级为一级。支护采用排桩+三层钢筋混凝土内支撑，支护桩间高喷、支护桩后落底式 CSM 工法搅拌墙作止水帷幕，CSM 墙厚 700mm，长度约 50m，穿过富含承压水的深厚砂层，帷幕底进入（7a-1）（7-1）或（7-2）层隔水底板中不少于 1m。

3.5.2 TRD 工法工程案例

武汉二七沿江商务区北片商务地块基坑支护工程，基坑开挖面积 35143m²，开挖深度 15.8~18.3m，基坑重要性等级为一级。支护采用钻孔灌注桩+二层钢筋混凝土内支撑，采用落底式 TRD 工法搅拌墙作为止水帷幕，TRD 墙厚 700mm，长度约 46~49m，帷幕底进入（5-1 强风化砂岩）不少于 0.5m。基坑支护平面见图 1。

4 结语

深基坑工程中，悬挂式隔渗帷幕如封闭不严密、被凿穿或存在漏点时，基坑侧壁将发生管涌；全封闭（五面或落底式）竖向隔渗帷幕存在渗漏缺陷时，在基坑内外高水头差的作用下将发生“水枪”式喷涌，底板隔渗帷幕渗漏时会发生突涌，其后果会是灾难性的，因此基坑地下水控制的首要目标是防止渗透破坏的发生。

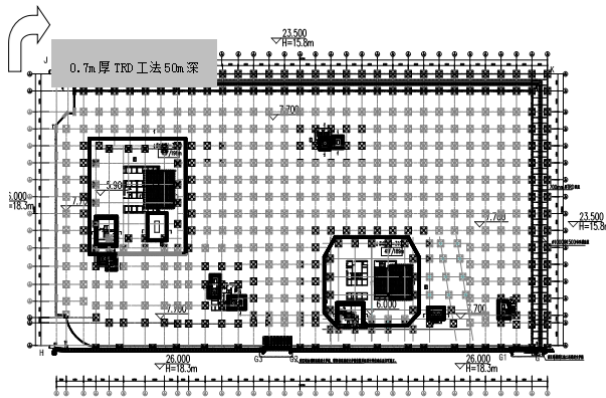


图 1 基坑支护平面图

深基坑工程采用隔渗帷幕控制地下水时，应根据地质条件、开挖深度、周边环境等因素，以及机械设备的适用条件，选择科学合理的设计方案和工法，同时施工过程中应加强施工质量管理，制定行之有效的防控预案，确保基坑隔渗帷幕严密不漏。

水泥土搅拌桩分段施工的搭接部位、等厚度水泥土搅拌桩在工艺上转弯或者头尾相接的部位，或水泥土桩（墙）与灌注桩墙体的结合等部位，均难以实现密切结合，如果处理不当极易成为地下水渗漏的主要部位，对基坑造成极大的安全隐患。因此，对于可能出现的接缝渗漏，尚需采用高压旋喷桩进行技术处理，方能确保基坑隔渗帷幕的安全有效。

地下水控制方法包括隔渗帷幕、降排水及两种方法的多种组合，根据所处地貌单元、地层组合类型及地质年代的不同，隔渗帷幕可选择深入到潜水或承压水隔水底板、隔水顶板、承压含水层中，并配合管井降水，以疏干基坑内地下水、降低下部承压水头，或疏干部分承压含水层的地下水。只有多措并举，才能取得较好的地下水控制效果。

参考文献

- [1] 范士凯. 土体工程地质的宏观控制论[J]. 资源环境与工程, 2006, 20(B11): 10.
- [2] DB42/T159—2012 基坑工程技术规程[S].
- [3] DB42/242—2014 建筑地基基础技术规范[S].
- [4] 武汉地区TRD及CSM工法设计与施工技术导则[Z]. 2018.