

团 体 标 准

T/CSPSTC 194—2025

水利工程水泥土搅拌桩防渗墙质量检测 技术规程

Technical specification for quality inspection of cement soil mixing pile
impervious wall in hydraulic engineering

2025-12-10 发布

2025-12-30 实施



中国科技产业化促进会 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	2
5 完整性检测	4
5.1 一般规定	4
5.2 轻型动力触探法	4
5.3 浅部开挖法	5
5.4 钻芯法	5
5.5 孔内成像法	9
5.6 探地雷达法	10
5.7 高密度电法	12
6 力学性能检测	14
6.1 一般规定	14
6.2 无侧限抗压强度试验	14
6.3 压缩试验	15
6.4 剪切试验	17
7 渗透性能检测	19
7.1 一般规定	19
7.2 试验室试件渗透试验	19
7.3 芯样试件渗透试验	21
7.4 钻孔注水试验	22
7.5 围井试验	25
附录 A (规范性) 水泥土试验室试件制备方法	27
附录 B (规范性) 水泥土芯样试件制备方法	29
附录 C (资料性) 检测记录用表	30
参考文献	46

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由江苏省水利科学研究院提出。

本文件由中国科技产业化促进会归口。

本文件起草单位：江苏省水利科学研究院、江苏淮阴水利建设有限公司、江苏省水利建设工程有限公司、泰州市城区河道管理处、山东大学、镇江市正中建设工程质量检测中心有限公司、淮安市水利工程建设管理服务中心、江苏淮源工程建设监理有限公司、盐城市水利工程建设管理中心、扬州市水利局、江苏省水利勘测设计研究院有限公司、江苏盐城水利建设有限公司、南水北调东线江苏水源有限责任公司、扬州水利建筑工程有限责任公司、海安市水利堤闸管理中心、江苏省江都水利工程管理处。

本文件主要起草人：储冬冬、陈南、周扬、朱炳喜、储飞、章新苏、高树华、贾美奎、陈艳丽、蔡一平、单体伟、谢亚军、陈小新、王小勇、韦广国、曾良家、陈言兵、袁尧、凌金平、邹丹、夏辉、秦景洪、王静、林燕、朱昊、葛玉剑、丁平、倪浩宇、徐文俊、许旭东、李进东、刘华强、宋力、商志清、刘延军、孙荣军、闵瑞、朱长青、朱定祥、朱维、彭志芳、陈远兵、王泽斌、王正方、江阳、吴东升、何治吉、彭冲、田晓梅、系艳红、陈智贵、张良群、岳彬彬、李鹏、王少林、王延艳、王庆亚、滕成、刘林、李奉育、唐知秋、周迪、王康。

引 言

水泥土搅拌桩防渗墙主要使用水泥作为固化剂,采用深层搅拌机械,在地基一定深度将软土与固化剂强制搅拌,通过连续相连的桩体相互搭接形成墙体。该技术整体可靠、工序简单、施工方便、造价相对低廉,在我国江海河湖堤防防渗处理和建筑物地基防渗加固中有着广泛应用。

目前水利工程水泥土搅拌桩防渗墙质量检测规范主要侧重于施工过程质量控制,对成墙后效果检测还缺少系统规定。为了规范水泥土搅拌桩防渗墙成墙后质量检测方法、操作程序和数据处理,依据水利、市政、交通等行业水泥土搅拌桩防渗墙质量检测技术,总结水泥土搅拌桩防渗墙质量检测试验研究和工程实践经验,制定本文件,主要包括以下内容:

- a) 完整性检测:提出了轻型动力触探法、浅部开挖法、钻芯法、孔内成像法、探地雷达法和高密度电法检测墙体完整性的仪器设备要求、检测步骤和数据处理方法;
- b) 力学性能检测:提出了水泥土无侧限抗压强度试验、压缩试验和剪切试验的仪器设备要求、试验步骤和数据处理方法;
- c) 渗透性能检测:提出了试验室试件和芯样试件渗透试验、钻孔注水与围井试验的仪器设备要求、检测步骤和数据处理方法。

水利工程水泥土搅拌桩防渗墙质量检测技术规程

1 范围

本文件规定了水利工程水泥土搅拌桩防渗墙成墙质量完整性、力学性能和渗透性能检测的技术要求。
本文件适用于水利工程水泥土搅拌桩防渗墙成墙质量检测。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 4935.1 土工试验仪器 固结仪 第1部分:单杠杆固结仪
- GB/T 4935.2 土工试验仪器 固结仪 第2部分:气压式固结仪
- GB/T 12746 土工试验仪器 贯入仪
- GB/T 15406 岩土工程仪器基本参数及通用技术条件
- GB/T 24107.1 土工试验仪器 三轴仪 第1部分:应变控制式三轴仪
- GB/T 50123 土工试验方法标准
- GB/T 50266 工程岩体试验方法标准
- JGJ 79 建筑地基处理技术规范
- SL/T 31.2 水利水电工程岩土渗透性原位试验规程 第2部分:注水试验

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水泥土搅拌桩防渗墙 **cement-soil mixing pile impervious wall**

以水泥为主要固化剂,通过深层搅拌机械将地基一定深度内的软土与固化剂强制搅拌,经物理化学反应使软土硬结成具有整体性、水稳定性及一定强度的桩体,并由桩体连续搭接排列形成的防渗墙体。

3.2

墙体完整性 **wall integrity**

反映水泥土搅拌桩防渗墙墙体的截面尺寸变化、墙体材料均匀性和连续性的综合性指标。

3.3

轻型动力触探试验 **light dynamic penetration test**

用质量为 10 kg 的击锤,以 50 cm 的落距自由下落,将直径为 40 mm 规格的标准圆锥探头打入水泥土搅拌桩防渗墙墙体中,根据打入墙体中一定深度所需的锤击数,判断测段水泥土性质的原位试验方法。

[来源:JGJ 340—2015,2.1.8,有修改]

3.4

防渗墙厚度 thickness of impervious wall

混凝土搅拌桩防渗墙墙体中相邻两根桩体搭接处的最小厚度。

3.5

钻芯法 core drilling method

用钻机对混凝土搅拌桩防渗墙自上而下连续钻孔取芯,检测墙体深度、均匀性和连续性,判定墙体质量的方法。

3.6

取芯率 core recovery rate

钻芯法取出芯样的累计长度与钻进深度的比值。

3.7

探地雷达法 ground penetrating radar method

利用电磁波反射原理,通过探地雷达仪器向地下发射并接收一定频率的高频脉冲电磁波,经识别分析反射波,探测周边介质中具有电性差异目标体的地球物理探测方法。

[来源:SL/T 291.1—2021,2.0.3,有修改]

3.8

高密度电法 high-density electrical method

以介质电性差异为基础、基于电阻率法原理,通过多电极系统向被测介质注入电流并测量电极间电位差,计算地下介质的视电阻分布,进而推断不同地质体空间分布特性的地球物理探测方法。

3.9

围井 enclosed well

为检查混凝土搅拌桩防渗墙的防渗效果,以被检查的防渗墙墙体为一边,在其一侧用同样的方法构筑的封闭形井状结构物。

[来源:DL/T 5200—2019,2.0.9,有修改]

3.10

钻孔注水试验 water injection test in borehole

通过钻孔并向试段注水,以测定防渗墙渗透系数的原位试验方法。

注:分为常水头注水试验和降水头注水试验。

[来源:SL/T 31.2—2025,2.1.2 和 2.1.3,有修改]

4 基本规定

4.1 混凝土搅拌桩防渗墙质量检测原则和方法应符合下列要求:

- a) 应采取试样检测与实体检测、间接检测与直接检测、普查与详查相结合的原则;
- b) 抽检部位应遵循均匀分布、随机选择的原则,同时应包括施工异常、地质复杂、工艺变化或委托方指定的部位;
- c) 应根据设计要求、检测目的、墙体结构特性、地质条件,结合检测方法特点和适用条件,选择一种或多种检测方法,检测内容及方法应按表 1 的规定执行。

表 1 检测内容及方法

检测项目	检测方法		检测内容
完整性	轻型动力触探法		墙体上部水泥土搅拌均匀性
	浅部开挖法		墙体上部水泥土搅拌均匀性、防渗墙厚度
	钻芯法		标准贯入锤击数、防渗墙深度和搅拌均匀性
	孔内成像法		取芯孔内缺陷段情况
	探地雷达法		墙体连续性
	高密度电法		墙体连续性
力学性能	抗压强度试验	试验室试件	水泥土无侧限抗压强度
		芯样试件	
	压缩试验		水泥土压缩模量
	剪切试验		水泥土抗剪强度参数(摩擦角、黏聚力)
渗透性能	室内渗透试验	试验室试件	水泥土渗透系数
		芯样试件	
	原位渗透试验	钻孔注水试验	防渗墙渗透系数
		围井试验	

d) 水泥土试验室试件制备方法应符合附录 A 的规定,水泥土芯样试件制备方法应符合附录 B 的规定。

4.2 检测前应进行前期调查,宜包括下列工作:

- 收集工程的勘察资料、设计图纸、施工方案和水泥土配合比设计报告;
- 查阅施工记录,根据现场地质资料和施工工艺,分析可能出现的施工质量问题;
- 踏勘现场,了解影响检测的各种干扰因素,评估现场实施检测的可行性。

4.3 应根据调查情况和委托方要求,编制检测方案,宜包括下列内容:

- 工程概况(含勘察、设计和施工简况);
- 检测依据、目的和范围;
- 检测内容、方法、数量及抽样方案;
- 开展检测项目要求的仪器设备和人员,检测进度计划与工期;
- 检测工作现场配合要求;
- 质量控制、职业健康安全与环境保护措施。

4.4 检测仪器设备符合下列要求:

- 应在检定或校准有效期内;
- 保管应满足防尘、防潮条件,运输过程应有防震措施;
- 检测前应对仪器设备进行检查调试,现场检测环境不满足仪器设备使用要求时,应采取有效措施保证仪器设备处于正常工作状态。

4.5 发现检测数据异常时,应查找原因,并扩大检测范围。

4.6 检测工作完成后,应及时整理分析检测数据,提交检测报告。检测报告应至少包括下列内容:

- 工程概况;
- 检测目的与依据;

- c) 检测范围与数量;
- d) 检测日期与人员;
- e) 检测仪器与设备;
- f) 检测方法与过程;
- g) 检测数据与分析;
- h) 检测结论;
- i) 相关图表和试验报告等。

5 完整性检测

5.1 一般规定

- 5.1.1 水泥土搅拌桩防渗墙墙体完整性检测应包括墙体均匀性、连续性以及墙体可能存在的缺陷等。
- 5.1.2 水泥土搅拌桩防渗墙可采用轻型动力触探法、浅部开挖法、钻芯法、孔内成像法、探地雷达法或高密度电法等进行完整性检测。
- 5.1.3 轻型动力触探试验应在成墙 3 d 内进行,其他完整性检测试验宜在成墙 28 d 后开展。
- 5.1.4 无损检测发现墙体存在缺陷时,可采用浅部开挖法、钻芯法和孔内成像法进行复核性检测。
- 5.1.5 钻芯孔应在检测完成后用水泥浆回灌封孔。

5.2 轻型动力触探法

5.2.1 仪器设备

- 5.2.1.1 轻型动力触探试验设备由落锤、探头和触探杆(包括锤座和导向杆)等组成,主要技术参数应符合表 2 的规定。

表 2 轻型动力触探试验设备主要技术参数

设备部件	落锤		探头			触探杆
	质量 kg	落距 cm	直径 mm	截面积 cm ²	锥角	直径 mm
技术参数	10±0.2	50±2	40	12.6	60°	25

- 5.2.1.2 轻型动力触探设备应采用固定落距的自动落锤装置。
- 5.2.1.3 探头直径磨损大于 2 mm 或锥尖高度磨损大于 5 mm 时,应更换。
- 5.2.1.4 触探杆应顺直,最大偏斜度为±2%,每个接头的容许最大偏心为 0.2 mm。

5.2.2 现场检测

- 5.2.2.1 轻型动力触探测试点应布置在墙体中心线附近。
- 5.2.2.2 轻型动力触探试验应符合下列规定。
 - a) 先用轻便钻具钻至试验标高以上 0.3 m 处,将探头和触探杆放入钻孔内,触探杆露出孔口高度不宜超过 1.5 m。
 - b) 采用自由落锤对试验段进行触探,防止锤击偏心、触探杆倾斜和侧向晃动,保持锤座、导向杆和触探杆垂直同心。
 - c) 锤击贯入应连续进行,锤击速率宜为 15 击/min~30 击/min,只有在续接探杆时才允许停顿;

每贯入 1 m,宜将触探杆转动一圈半。

d) 每贯入 30 cm 记录锤击数,最初 30 cm 可以不记录。

e) 当贯入 30 cm 锤击数超过 100 击或贯入 15 cm 锤击数超过 50 击时,可结束试验。

5.2.2.3 轻型动力触探试验可参照附录 C 表 C.1 进行记录。

5.2.3 数据处理

5.2.3.1 计算单孔分层贯入指标平均值时,应按照 GB/T 50123 的规定,剔除超前和滞后影响范围内及个别指标的异常值。

5.2.3.2 单孔连续轻型动力触探应以深度为纵坐标、锤击数为横坐标,绘制深度与锤击数关系曲线。

5.3 浅部开挖法

5.3.1 仪器设备

5.3.1.1 浅部开挖法测量设备应符合下列规定:

- a) 钢卷尺:分度值不大于 1 mm;
- b) 钢直尺:分度值不大于 1 mm;
- c) 其他:铲刀等。

5.3.1.2 小型挖机开挖时应防止对墙体产生损伤。

5.3.2 现场检测

5.3.2.1 沿墙体中心线单侧开挖探坑,探坑长度宜为 3 m~8 m,墙体暴露高度宜为 1.5 m~3 m。

5.3.2.2 清除墙顶浮浆层和墙体侧面粘附的土体,使探坑内墙体每根相连桩体清晰可见。

5.3.2.3 检查墙体成桩质量,测量并记录相邻两桩的桩心距和桩体直径,精确至 1 mm。

5.3.2.4 浅部开挖法检测防渗墙厚度试验可参照表 C.2 进行记录。

5.3.2.5 检测工作完成后,应在探坑墙体侧面涂刷粘土浆,再分层夯实回填,回填土压实度应满足设计要求。

5.3.3 数据处理

5.3.3.1 相邻两根水泥土搅拌桩搭接处的墙体厚度按式(1)计算:

$$T = \sqrt{d^2 - l^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

T ——相邻两根桩搭接处墙体厚度,单位为毫米(mm);

d ——桩体直径,单位为毫米(mm);

l ——相邻两桩的桩心距,单位为毫米(mm)。

5.3.3.2 取墙体厚度的最小值作为防渗墙厚度代表值。

5.4 钻芯法

5.4.1 仪器设备

5.4.1.1 钻芯法检测防渗墙完整性设备主要包括钻孔取样设备和标准贯入试验设备。

5.4.1.2 钻孔取样设备由钻机、游标卡尺、钢直尺、钢卷尺、取样器、样盒和封样材料等组成,应符合下列规定。

- a) 钻机:宜采用液压操纵的高速工程地质钻机,钻机应配备水泵、孔口器、扩孔器、卡簧、扶正稳定

器、钻具及钻头;水泵排水量不宜低于 50 L/min;钻具宜采用单动双管;钻杆直径可选用 42 mm 或 50 mm;钻头宜选用薄壁合金钻头或金刚石钻头,外径不宜小于 91 mm。

- b) 游标卡尺:分度值不大于 0.02 mm。
- c) 钢卷尺:分度值不大于 1 mm。
- d) 钢直尺:分度值不大于 1 mm。

5.4.1.3 标准贯入设备由刃口形贯入鞋靴、对开圆筒式贯入器身和贯入器头组成,应符合下列规定。

- a) 标准贯入器:机械与材料要求应符合 GB/T 12746 和 GB/T 15406 的规定,主要技术参数应符合表 3 的规定。

表 3 贯入器主要技术参数

设备部件	主要参数	技术指标
贯入器靴	长度 mm	50~76
	刃口角度	18°~20°
	靴壁厚 mm	1.6
贯入器身	长度 mm	≥500
	外径 mm	51±1
	内径 mm	35±1
贯入器头	长度 mm	175

- b) 落锤(穿心锤):质量为 63.5 kg±0.5 kg,应配有自动落锤装置,落距为 76 cm±2 cm。
- c) 钻杆:直径为 42 mm,抗拉强度应大于 600 MPa;直线度最大允许偏差应为±0.1%。
- d) 锤垫:锤击钢垫附导向杆,两者总质量宜不超过 30 kg。

5.4.2 现场检测

5.4.2.1 钻孔前准备工作应包括以下方面:

- a) 根据防渗墙的布置图和现场情况确定墙体中心线位置,必要时可采用定位设备或顶部开挖等方式确定;
- b) 收集检测部位附近的地质勘察报告,了解各土层的特征和标准贯入试验锤击数等;
- c) 整平场地,稳固安装钻机设备并调整底座水平,使钻机立轴中心、天轮中心(天车前沿切口)与孔口中心在同一铅垂线上。

5.4.2.2 现场检测人员配备应符合下列规定:

- a) 现场负责人 1 名,技术人员 1 名~2 名;
- b) 每台机组安排机长、副机长各 1 名,取样员 1 名,工人 2 名~3 名;
- c) 操作人员应持证上岗,记录员应经过专业培训。

5.4.2.3 现场钻芯取样应符合下列规定。

- a) 钻孔宜布置在墙体中心线上;当墙体顶面与钻机底座高差较大时,安装孔口管,孔口管应垂直

且固定牢靠。

- b) 钻进过程中,钻孔内循环水流根据钻芯情况及时调整。钻进速度宜为 50 mm/min~100 mm/min,并根据回水含砂量及颜色调整钻进速度。
- c) 每回次进尺宜控制在 1.5 m 以内;钻至墙体下部时,宜减压慢速钻进。
- d) 钻进过程中钻机不应倾斜、移位,钻芯孔垂直度偏差应小于 0.5%。
- e) 提钻卸取芯样时,采用拧卸钻头和扩孔器方式取芯,不应敲打卸芯。芯样从取样器中平稳推出,不应受到拉、弯等应力作用。
- f) 每回次进尺完成后及时选取代表性芯样作为室内试验样品。每孔宜分上、中、下 3 段选取,或根据土层分布情况选取。遇加固效果较差土层时,可采用取样器取芯,芯样不成型或无法取得样品时,应在记录表和报告中注明。
- g) 试验样品选取后应及时密封、编号、粘贴标签,水泥土芯样标签可参照表 C.3 制定。
- h) 密封后的试验样品应按钻芯取样的层位与其他芯样依次摆放到芯样箱中,及时填写芯样回次数和深度。
- i) 每孔钻芯完成后,应填写检测信息牌。信息牌应记载工程名称、施工单位名称、标段号、里程号、桩号、设计桩长、施工日期、取样时间、检测单位等信息,可参照表 C.4 制定。检测单位应对芯样箱、信息牌和回次牌共同拍照,照片应清晰。
- j) 每回次结束后,可参照表 C.5 的格式进行记录,应符合下列要求:
 - 1) 芯样描述的内容包含外观、气味、性质、颜色、状态和均匀性等;
 - 2) 层深、层厚等以回次为基础,根据墙体土质变化情况划分,每层包含芯样描述、标准贯入试验锤击数等内容。
- k) 钻孔深度应超过施工桩长 0.5 m,并取出桩底土样进行描述记录,确定实际墙深和端承情况。当钻芯孔偏出墙体时,仅对钻取的有效芯样进行评价。
- l) 芯样在运送和保存过程中避免压、震、晒、冻,并防止试验样品失水或吸水。

5.4.2.4 标准贯入试验应符合下列规定。

- a) 沿钻孔深度方向每隔 1.5 m 进行一次标准贯入试验,在每回次取芯后立即进行,标准贯入深度不计入下一回次长度。
 - b) 标准贯入试验前,应先清孔,清除孔底松动的水泥土。
 - c) 标准贯入试验分两阶段进行:
 - 1) 预打阶段:将贯入器打入水泥土中 15 cm,如锤击已达 30 击,贯入度未达 15 cm,记录实际贯入度;
 - 2) 试验阶段:将贯入器打入水泥土 30 cm,记录每打入 10 cm 的锤击数。当累计击数已达 30 击、贯入度未达 30 cm 或出现明显击打反弹现象时,应终止试验,记录实际贯入度。
- 注:标准贯入击数为打入 30 cm 的锤击数。
- d) 提出贯入器,对贯入器中的水泥土样进行鉴别,可参照表 C.5 进行记录。
 - e) 应定期检查钻杆的直线度,采取减少导向杆与落锤间摩阻力的措施。

5.4.3 数据处理

5.4.3.1 标准贯入试验锤击数按下列方式进行计算。

- a) 实际贯入度换算成贯入 30 cm 的标准贯入试验锤击数,按式(2)计算:

$$N = 30 \times 30 / \Delta S \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

N ——标准贯入试验锤击数;

ΔS ——实际贯入度,单位为厘米(cm)。

b) 当杆长修正时,修正后的标准贯入试验锤击数按式(3)计算:

$$N' = \alpha \times N \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

N' ——杆长修正后的标准贯入试验锤击数;

α ——标准贯入试验杆长修正系数,按表4取值。

表4 标准贯入试验杆长修正系数

探杆长度 m	≤3	6	9	12	15	18	21	25	30
修正系数	1.00	0.92	0.86	0.81	0.77	0.73	0.70	0.68	0.65

5.4.3.2 通过钻孔进程和标准贯入试验判断墙体强度及连续性,依据贯入器中水泥土搅拌的均匀程度、成墙状态及端承情况,判断墙体深度。

5.4.3.3 芯样描述和评定应包括下列内容:

- a) 芯样性质分为土、水泥土、水泥等;
- b) 颜色分为灰色、灰黑色、灰黄色等;
- c) 状态分为流塑、软塑、可塑、硬塑、坚硬,按表5判别;

表5 水泥土芯样状态判别

状态	流塑	软塑	可塑	硬塑	坚硬
形态	芯样不能直立,自重下变形	手握很软,手握变形,轻按凹陷	手按有指印,但手握不变形	手按无指印,用力掰能裂开或掰成块	固结硬化程度高,难以掰成块

d) 水泥土搅拌均匀性按表6评定。

表6 水泥土搅拌均匀性评定

均匀程度	芯样特征
良好	芯样连续、完整,坚硬,呈柱状
一般	芯样基本完整,坚硬,多数呈柱状,少数呈短柱状或块状
差	芯样胶结一般,呈块状,松散

5.4.3.4 按顺序记录完整芯样和破碎芯样的长度,取芯率按式(4)计算:

$$P = \left(\sum_{i=1}^n l_i / L_i \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

P ——取芯率,%;

l_i ——第*i*回次进尺中钻孔取出的完整芯样和破碎芯样长度之和,单位为厘米(cm);

L_i ——第*i*回次进尺,单位为厘米(cm)。

5.4.3.5 根据取芯率评价墙体连续性可按表7的规定执行。

表 7 墙体连续性评价

取芯率	墙体连续性评价
$\geq 90\%$	较好
$85\% \sim < 90\%$	一般
$< 85\%$	较差

5.5 孔内成像法

5.5.1 仪器设备

5.5.1.1 孔内成像设备主要由主机、高清探头、抗拉电缆、自动放线器、绞车和三脚架等组成,应符合下列规定:

- 应具备全孔壁成像及影像、深度实时记录功能,宜具备方位角识别及记录功能、仪器对中功能、变焦和照明强度调节功能;
- 性能稳定并满足防尘、防震、防潮、防水和绝缘等要求;
- 配套的感光元件数量及方式,能保证拍摄图像全面覆盖检测深度的孔内壁;
- 仪器性能宜符合表 8 的规定。

表 8 孔内成像检测仪器性能

项目参数	性能指标
在最大可测孔径时孔壁的轴向成像光学分辨率 pix/cm	≥ 20
在最大可测孔径时孔壁的环向成像光学分辨率 pix/cm	≥ 20
在最大可测孔径时孔壁照度 lx	≥ 150
孔壁照度均匀偏差	$\leq 20\%$
在最大可测孔径时缺陷宽度误差	$\pm 10\%$ (当缺陷宽度小于 2 mm 时,宜为 $\pm 20\%$)
缺陷角度	$\pm 2^\circ$
检测深度误差	$\pm 1\%$ 检测深度
环向偏移范围(校正后) mm/10 m	± 50

5.5.1.2 定量检测前应对仪器测得的缺陷宽度、深度进行校准,宜对缺陷角度进行校准;孔内成像的校准宜在校准筒中进行,校准筒内壁应标记已知宽度和间距的环状模拟缺陷。

5.5.2 现场检测

5.5.2.1 检测前应对钻孔进行检查,不满足检测条件时,宜选用清水脉动循环法、活塞洗孔法或压缩空气法对钻孔进行清洗。

5.5.2.2 孔内成像检测应符合下列规定:

- 仪器脚架应牢固安装在孔口,探头应位于孔口中心位置,探头记录深度应位于孔深起始点;

- b) 照度根据孔内环境进行设置,应使图像清晰、色彩逼真,同一孔检测中保持相近;
- c) 全面检测时探头应单方向移动,重点或可疑部位可在全面检测后进行重复检测;
- d) 采用单一镜头多次成像时,应合理安排次数、速度、角度,保证孔壁影像信息全面;
- e) 采用多镜头一次成像时,应分析可能的缺陷位置,并放慢速度重点拍摄。

5.5.2.3 孔内成像法检测可参照表 C.6 进行记录。

5.5.3 数据处理

5.5.3.1 影像处理应符合下列规定:

- a) 宜分段进行,图像段长根据检测图像精度要求、钻孔直径等确定;
- b) 不对缺陷尺寸进行调整,局部放大图不宜进行图像长宽比例调整;
- c) 缺陷定量分析宜在孔壁展开图上进行,环向转换为平面图的水平向,轴向转换为平面图的竖向;
- d) 计算环向缺陷占比时,应用环向缺陷的长度除以孔壁周长;
- e) 计算轴向缺陷平均宽度时,将孔壁成像展开图沿水平向划分为 20 个等分格,取每个格中间缺陷竖向宽度的总和除以 20。

5.5.3.2 墙体质量评价应符合下列规定:

- a) 墙体内部质量情况根据孔内成像的视频、图像确定;
- b) 孔内成像生成的三维柱状图或平面展开图应包含深度标注信息;
- c) 应描述孔壁完整性、墙体缺陷的形态和空间位置,定量计算缺陷尺寸;
- d) 当图像和视频清晰度不满足检测要求时,宜仅对有效测试深度范围进行评价。

5.5.3.3 检测报告应提交编辑后的图像,原始实测影像应作为报告附件提交,影像格式宜为通用格式。

5.6 探地雷达法

5.6.1 仪器设备

5.6.1.1 探地雷达设备主要包括主机和天线。

5.6.1.2 探地雷达主机符合下列技术要求:

- a) 重复发射频率应大于 50 kHz;
- b) 模-数(A/D)转换应高于 24 bit;
- c) 最小采样间隔应小于 0.05 ns;
- d) 系统动态范围应大于 120 dB;
- e) 应具有自动和手动增益调节功能,增益点数应大于 3 个;
- f) 应具有 32 次以上信号静态叠加功能;
- g) 应具有滤波功能。

5.6.1.3 天线选用和性能符合下列要求:

- a) 天线发射频率应根据探测目标体的介质特性、深度、探测精度选用;
- b) 天线中心频率允许偏差为 $\pm 5\%$;
- c) 用于孔内探测的天线,水密性应大于 1 MPa;
- d) 频带范围的低值应小于中心频率的 1/4,高值应大于中心频率的 2 倍。

5.6.1.4 皮尺:分度值不大于 1 cm。

5.6.2 现场检测

5.6.2.1 沿墙体中心线布置探地雷达测线,采用石灰线标注;定位皮尺偏离标线宜不小于 1 m。

5.6.2.2 探测工作开展前应对仪器工作参数进行设置,主要参数应符合下列规定。

- a) 根据最大探测深度与电磁波平均速度,按式(5)计算记录时窗。

$$W = 1.3 \times 2h_{\max}/v \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

W ——时窗,单位为纳秒(ns);

$h_{\max}$ ——最大探测深度,单位为米(m);

v ——电磁波传播速度,单位为米每纳秒(m/ns)。

- b) 按式(6)、式(7)计算滤波参数。

$$f_{\min} = 0.75f_c \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$f_{\max} = 1.25f_c \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中:

$f_{\min}$ ——高通滤波阈值,单位为兆赫(MHz);

$f_{\max}$ ——低通滤波阈值,单位为兆赫(MHz);

f_c ——天线中心频率,单位为兆赫(MHz)。

- c) 仪器信号增益应保持信号幅值不超出信号动态范围的 3/4,天线静止时信号应能保持稳定。
d) 采样率按式(8)计算,采样点数应大于 512 点,采样频率应大于所用天线中心频率的 6 倍。

$$\Delta t \leq 1000/(6f_c) \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中:

Δt ——采样率,单位为纳秒(ns);

f_c ——天线中心频率,单位为兆赫(MHz)。

5.6.2.3 现场探测工作符合下列规定:

- 现场采集时应清除或避开测线附近的金属物、高压线和通信线等,无法清除或避开时应做好记录;
- 天线操作人员不应佩戴含有金属成分的物件,并与工作天线保持一定的距离;
- 非空气耦合天线探测时,天线宜紧贴测试面,保持良好耦合;
- 探测时天线标记的测量方向应与测线方向一致,天线中心线偏离测线的距离应小于天线宽度的 1/3;
- 宜采用连续测量方式,当目标体反射信号较弱时,应适当增加叠加次数;
- 连续测量时天线的移动速度应均匀,并与仪器的扫描率相匹配,通过目标体的扫描道数宜大于 10 道;
- 当防渗墙顶面凹凸不平,天线不便于匀速移动或信号较弱时,宜采用点测;
- 点测采样时天线应保持静止,采样完成后方可移动至下一测点,点测法叠加次数宜大于 32 次;
- 孔内探测时宜保持探测孔段满水或无水状态,无法保持满水或无水状态时,应记录水深位置。

5.6.2.4 宜偏移墙体中心线 1.5 m~4 m 布置一条平行测线,采用相同参数进行测量,测量结果作为图谱分析时的背景对比资料。

5.6.2.5 探地雷达法检测可参照表 C.7 进行记录。

5.6.3 数据处理

5.6.3.1 探地雷达检测数据处理符合下列规定:

- 探测数据处理应根据现场情况和防渗墙的状态选择水平比例归一化、增益调整、地形校正、频率滤波、f-K 倾角滤波、反褶积、偏移、空间滤波、点平均等处理方法;
- 对于干扰严重的道及多余重复道应进行无用道剔除处理,无用道剔除后应保持其他道位置不变;
- 数据道密度的水平比例不一致及存在位置标记时,应进行水平比例归一化处理;

- d) 当信号幅值过大或过小,应进行数据增益调整,可采用线性增益、指数增益或自动增益处理;
- e) 有地形起伏的测区,应进行地形校正;
- f) 应根据波幅、相位、频率、多次反射等特征,结合现场记录进行对比分析识别干扰波,干扰波影响有效信号识别时,应采用滤波等方式消除或减弱干扰波的影响;
- g) 频率滤波可选择低通滤波、高通滤波或带通滤波,低频截止频率宜大于天线中心频率的 $1/4$,高频截止频率宜小于天线中心频率的 2 倍;
- h) 波形上存在倾斜层状的干扰现象时,宜在水平比例归一化和地形校正后进行 f - K 倾角滤波,应事先确定无同样倾角的有效层状反射波;
- i) 多次反射波宜采用反褶积处理压制,提高垂直分辨率;
- j) 对倾斜层反射波界面宜进行时间偏移或深度偏移处理,当反射波信号弱、数据信噪比低时不宜进行偏移处理;
- k) 可根据异常处理要求选用有效道叠加或道间差方法进行空间滤波;
- l) 点平均处理时,参与平均的点数宜为奇数,点数最大值宜小于采样率与低通频率的比值。

5.6.3.2 探测资料解释符合下列规定。

- a) 应在原始图像上通过反射波波形、能量强度、反射波初始相位、反射界面延续情况等特征进行综合判断和异常筛选。
- b) 识别反射波组界面,首先宜通过已知信息与雷达图像进行对比,建立测区探测对象的反射波组特征。然后宜扩展到其他剖面进行识别,同时根据反射波组的波形和能量特征进行同相轴追踪。
- c) 单个异常体可根据波形双曲线形态能量和频率等特征进行识别。
- d) 对异常体的水平位置和顶界面埋深宜进行定量计算,对于异常体底界面宜进行半定量估算。
- e) 同一测区有多条测线时,应比较相邻测线的雷达剖面图,识别相似图像特征的反射信息进行比较及综合分析。

5.6.3.3 探测成果图件符合下列规定:

- a) 成果图件应包括测线布置图、雷达剖面图、成果解释剖面图;
- b) 雷达剖面图可绘制色谱、灰度或波形图像;
- c) 成果解释剖面图应根据雷达剖面图、对图像异常形态、波形特征、反射波频率和相位等特征进行综合判断,确定并标明墙体缺陷的位置和范围。

5.7 高密度电法

5.7.1 仪器设备

5.7.1.1 高密度电法设备主要包括采集系统、电极和电缆。

5.7.1.2 采集系统主要技术指标符合下列规定:

- a) 测量电压分辨率应不大于 0.01 mV ;
- b) 测量电流分辨率应不大于 0.01 mA ;
- c) 最大补偿允许范围应不窄于 $\pm 1\text{ V}$;
- d) 输入阻抗应不小于 $8\text{ M}\Omega$;
- e) 最大供电电压应不小于 400 V ;
- f) 最大供电电流应不小于 2 A 。

5.7.1.3 电极和电缆主要技术指标符合下列规定:

- a) 宜使用不锈钢电极或铜电极,电极长度宜不小于 30 cm 、直径宜不小于 10 mm ;
- b) 多芯电缆芯线电阻应不大于 $240\text{ }\Omega/\text{km}$,芯间绝缘电阻应不小于 $5\text{ M}\Omega/\text{km}$ 。

5.7.2 现场检测

5.7.2.1 根据混凝土搅拌桩防渗墙设计与施工情况、计划探测深度、探测精度和现场条件选择测量装置类型。

5.7.2.2 宜选用对称四极装置,四个电极排列为 A、M、N、B,其中 M、N 为测量电极,A、B 为供电电极。

a) 当 $\overline{AM} = \overline{NB}$ 时,称为对称四极装置,装置系数按式(9)计算:

$$K_{4p} = \pi \times (\overline{AM} \times \overline{AN}) / \overline{MN} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

K_{4p} ——四极装置系数;

$\overline{AM}$ 、 $\overline{AN}$ 、 $\overline{MN}$ 、 $\overline{NB}$ ——电极距长度,单位为米(m)。

b) 当 $\overline{AM} = \overline{MN} = \overline{NB} = a$ 时,对称等距装置称为温纳(Wenner)装置,装置系数按式(10)计算:

$$K_w = 2\pi a \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

K_w ——温纳装置系数;

a ——电极距长度,单位为米(m)。

5.7.2.3 现场电极布置符合下列规定:

- a) 沿防渗墙中心线方向布置测线,测线端点处应处于选用装置和布极条件所确定的有效范围内;
- b) 根据装置形式、电极排列数量、探测深度、探测精度等确定电极距,宜为 1 m~2 m,异常位置可加密至 0.5 m;
- c) 电极接地位置在预定跑极方向上的偏差应小于该电极距的 1%,在垂直预定方向的偏差应小于该电极距的 5%;
- d) 个别电极遇到硬物或接地条件不良时,应堆土或挖坑填土,土层厚度不应小于电极长度。

5.7.2.4 现场探测工作应符合下列规定。

- a) 将电极夹依次接好电缆,电极与地面、电极与电缆应接触良好。
- b) 在测试高压电源关闭情况下,将电缆接入仪器后再接通低压电源。
- c) 测量时,先开主机再接高压电源,关机则顺序相反。
- d) 电极距小或被测介质电阻率较小时,供电电压不宜过高;随着电极距增大,供电电压相应升高。
- e) 主机和电极转换器自检时,存在接触不良、漏电、短路等问题的,应及时排除故障。
- f) 每次测试完成后,立即存储数据,记录工程名称、测线名称、参数设置和测试时间等信息。
- g) 现场应收集防渗墙上下游地下水位资料。

5.7.2.5 宜偏移墙体中心线 1.5 m~4 m 布置一条平行测线,采用相同参数进行测量,测量结果作为图谱分析时的背景对比资料。

5.7.2.6 高密度电法检测可参照表 C.8 进行记录。

5.7.3 数据处理

5.7.3.1 将高密度电法测量数据导入数据处理成图软件进行整编、反演运算和成图,数据处理符合下列规定:

- a) 应采用经评定合格的处理成图软件;
- b) 应进行数据格式整理、坏值剔除、地形校正、格式转换与拼接等预处理;
- c) 应绘制整条测线高密度电法视电阻率断面;
- d) 应根据装置型式、测线布置方式、地形及探测任务要求选择合适的反演算法进行电阻率图像处理,同一工程宜采用统一的反演参数;

- e) 绘制高密度电法纵剖面图像、成果解释剖面图。

5.7.3.2 高密度电法资料解释符合下列规定：

- a) 应对地下水位以上剖面局部呈现高阻、地下水位以下剖面局部呈现低阻进行分析和解释,解释成果应使用专业语言表述;
- b) 同一剖面多种装置的视电阻率断面图应对比分析;
- c) 视电阻率断面图、反演电阻率断面图宜与已知地质剖面、钻孔等进行对比解释;
- d) 依据异常位置和范围确定墙体质量缺陷位置和范围。

6 力学性能检测

6.1 一般规定

6.1.1 防渗墙水泥土力学性能检测宜包括无侧限抗压强度试验、压缩试验和剪切试验。

6.1.2 力学性能试验应按设计龄期开展;设计未规定时,宜选择 28 d 或 90 d 龄期进行试验。

6.1.3 所取芯样强度较高不能制备环刀试件时,压缩试验和剪切试验宜按照 GB/T 50266 的规定进行试验。

6.2 无侧限抗压强度试验

6.2.1 仪器设备

6.2.1.1 无侧限抗压强度试验仪器设备主要包括压力试验机、垫板、游标卡尺和钢直尺等,主要技术指标应符合下列要求。

- a) 压力试验机:测量精度应不大于 $\pm 1\%$,试件破坏荷载应在压力试验机全量程的 20%~80% 之间,具有加荷速率调节装置,并能均匀、连续加载。
- b) 上、下承压板:平面度公差应不大于 0.04 mm;平行度公差应不大于 0.05 mm;表面硬度应不小于 55 HRC;板面应光滑、平整,表面粗糙度应不大于 0.80 μm 。
- c) 游标卡尺:分度值不大于 0.02 mm。
- d) 钢直尺:分度值不大于 1 mm。

6.2.1.2 当压力试验机上、下承压板平面度、表面硬度和粗糙度不符合 6.2.1.1 b) 要求时,上、下承压板与试件之间应分别垫以钢垫板。钢垫板应符合下列规定:

- a) 平面尺寸应大于试件的承压面积,厚度不应小于 25 mm;
- b) 承压面的平面度、平行度、表面硬度和粗糙度应符合 6.2.1.1 b) 要求。

6.2.2 试验步骤

6.2.2.1 试验前应检查试件外观,测量试件尺寸,计算试件的承压面积。

6.2.2.2 将试件安放在试验机下承压板中心,试件的承压面应与成型面垂直。芯样试件加载前应在上下承压面涂抹润滑油脂。

6.2.2.3 开动试验机,当上承压板与试件接近时如有明显偏斜,应调整球座,使试件均衡受压。

6.2.2.4 以一定速率连续均匀地对试件加荷,直至试件破坏,记录破坏荷载,精确至 10 N。加荷速度应符合下列规定:

- a) 预估试件强度小于 1 MPa 时,加荷速度宜为 0.03 kN/s~0.08 kN/s;
- b) 预估试件强度不小于 1 MPa 时,加荷速度宜为 0.08 kN/s~0.15 kN/s。

6.2.2.5 水泥土试验室成型试件抗压强度试验可参照表 C.9 进行记录;钻芯取样试件抗压强度试验可参照表 C.10 进行记录。

6.2.3 数据处理

6.2.3.1 水泥土试件的抗压强度按式(11)计算：

$$f_{cu} = P/A \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

f_{cu} ——水泥土试件的无侧限抗压强度,单位为兆帕(MPa),精确至0.01 MPa;

P ——破坏荷载,单位为牛(N);

A ——试件承压面积,单位为平方毫米(mm²)。

6.2.3.2 水泥土试验室试件单组抗压强度试验结果处理应符合下列规定：

- a) 当6个试件测值的最大值或最小值与平均值的差值均不超过平均值的20%时,应按6个试件测值的平均值作为该组试件强度试验结果(修约间隔为0.01 MPa);
- b) 当6个试件测值的最大值或最小值与平均值的差值大于平均值的20%时,应剔除最大值和最小值,取中间4个试件测值的平均值作为该组试件强度试验结果;
- c) 当6个试件测值的最大值和最小值与平均值之差均超过平均值的20%时,该组试验结果无效。

6.2.3.3 芯样试件单组抗压强度试验结果处理应符合下列规定。

- a) 以3个试件测值的平均值作为该组试件的抗压强度试验结果。
- b) 水泥土龄期不足28d的,直接记录实测强度;龄期超过28d折算成28d强度时,可按照JGJ 79的规定进行估算,或每超过1天按1%对实测强度进行龄期折减(最多折减50%)。

6.3 压缩试验

6.3.1 仪器设备

6.3.1.1 压缩试验仪器设备主要包括固结容器、加压设备和变形量测设备等。

6.3.1.2 固结容器由环刀、护环、透水板、水槽和加压上盖组成,如图1所示。环刀和透水板应符合下列要求。

- a) 环刀应具有一定的刚度,刃口处无损伤,内壁光洁,尺寸应符合附录A的要求。
- b) 透水板应采用氧化铝或不易腐蚀的金属材料制成,其渗透系数应大于试件的渗透系数。用固定式容器时,顶部透水板直径应小于环刀内径0.2 mm~0.5 mm;用浮环式容器时,上下端透水板直径相等,均应小于环刀内径。

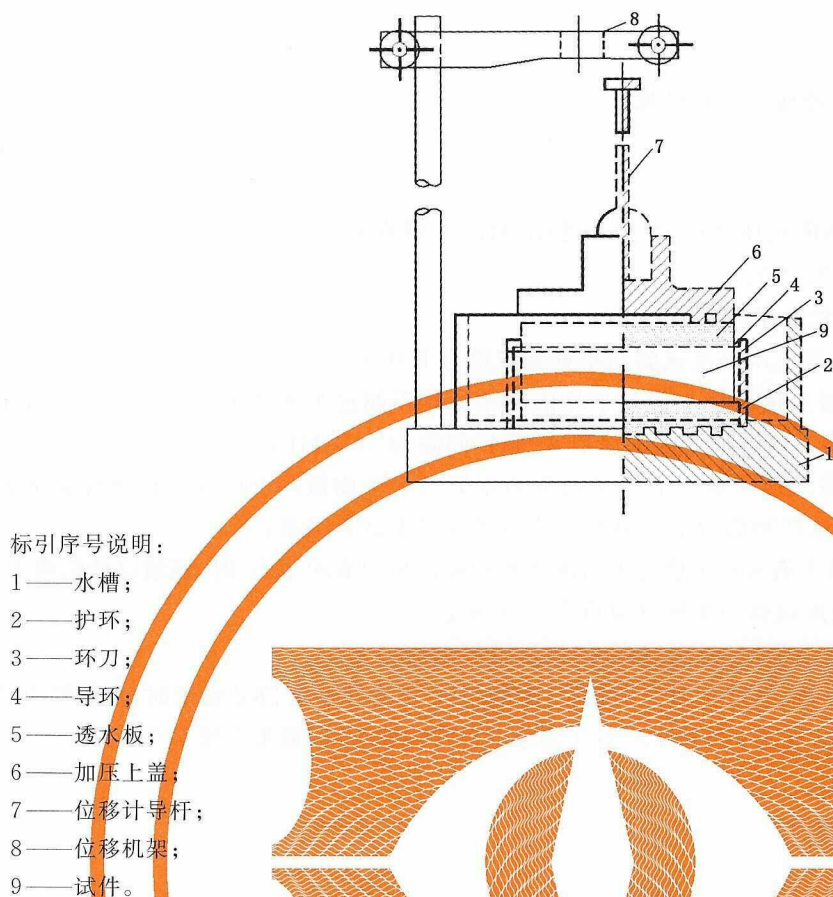


图 1 固结容器结构示意图

6.3.1.3 加压设备可采用杠杆式或气压式,技术性能应符合 GB/T 4935.1、GB/T 4935.2 的规定,压力准确度应符合 GB/T 15406 的规定。

6.3.1.4 变形量测设备应采用量程 10 mm、分度值不大于 0.01 mm 的百分表或准确度为全量程 0.2% 的位移传感器。

6.3.2 试验步骤

6.3.2.1 按 GB/T 50123 的规定测定水泥土的密度。

6.3.2.2 在固结容器内放置护环、透水板和薄型滤纸,将装有水泥土试件的环刀装入护环内,放上导环,试件上依次放上薄型滤纸、透水板和加压上盖,并将固结容器置于加压框架正中,使加压上盖与加压框架中心对准,安装百分表或位移传感器。

6.3.2.3 施加 1 kPa 的预压力使试件与仪器上下各部件之间接触,将百分表或传感器调整到零位或测读初读数。

6.3.2.4 按 GB/T 50123 中标准固结试验的步骤对试件施加压力,并测定每级压力下试件的变形量。分级加压等级宜为 50 kPa、100 kPa、200 kPa、400 kPa,第一级压力宜为 50 kPa,最后一级压力应大于水泥土上覆土层自重压力与附加压力之和。

6.3.2.5 从破坏的试件内部取代表性样品,按 GB/T 50123 测定水泥土含水率。

6.3.2.6 从破坏试件中取代表性样品捣碎、烘干、通过 5 mm 筛后,按 GB/T 50123 测定水泥土相对密度。

6.3.2.7 水泥土压缩试验可参照表 C.11 进行记录。

6.3.3 数据处理

6.3.3.1 试件的初始孔隙比按式(12)计算:

$$e_0 = \frac{(1 + 0.01\omega_0)G_s\rho_w}{\rho_0} - 1 \quad \dots\dots\dots(12)$$

式中:

e_0 ——试验前水泥土试件的孔隙比,精确至0.01;

ω_0 ——试验前水泥土的初始含水率,%;

G_s ——水泥土相对密度;

ρ_w ——水的密度,单位为克每立方厘米(g/cm^3),取 $1.0 \text{ g}/\text{cm}^3$;

ρ_0 ——水泥土的密度,单位为克每立方厘米(g/cm^3)。

6.3.3.2 各级压力下试件压缩稳定后的孔隙比按式(13)计算:

$$e_i = e_0 - \Delta h_i(1 + e_0)/h_0 \quad \dots\dots\dots(13)$$

式中:

e_i ——各级压力下试件压缩稳定后的孔隙比,精确至0.01;

Δh_i ——某级压力下试件高度变化,单位为毫米(mm);

h_0 ——试件初始高度,单位为毫米(mm)。

6.3.3.3 某一压力范围内水泥土压缩系数按式(14)计算:

$$a_v = (e_i - e_{i+1})/(p_{i+1} - p_i) \quad \dots\dots\dots(14)$$

式中:

a_v ——某压力范围内的压缩系数,单位为每兆帕(MPa^{-1});

p_i ——某级压力值,单位为兆帕(MPa)。

6.3.3.4 某一压力范围内水泥土压缩模量按式(15)计算:

$$E_s = (1 + e_0)/a_v \quad \dots\dots\dots(15)$$

式中:

E_s ——某压力范围内的压缩模量,单位为兆帕(MPa),精确至0.1 MPa。

6.3.3.5 应以3个试件测值的平均值作为压缩试验结果。

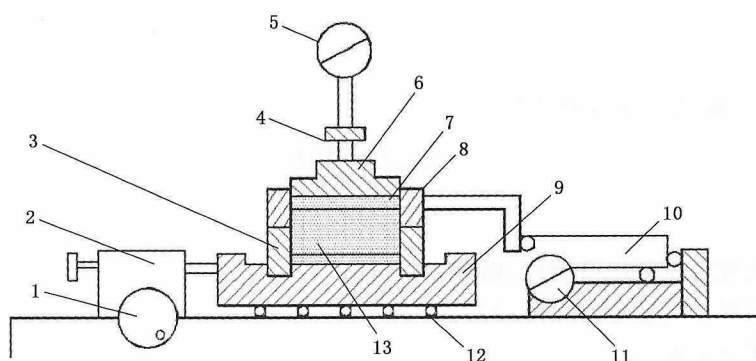
6.4 剪切试验

6.4.1 仪器设备

6.4.1.1 剪切试验宜采用快剪试验,快剪试验可采用应变控制式直剪仪,由剪切盒(储水槽、上盒、下盒)、垂直加压设备、剪切传动装置、测力计、位移量测系统组成,如图2所示;技术性能应符合GB/T 15406的规定。

6.4.1.2 位移测量设备应采用量程为10 mm、分度值为0.01 mm的百分表或准确度为全程0.2%的位移传感器。

6.4.1.3 辅助设备包括天平、秒表等,天平分度值为0.1 g,秒表分度值不应大于1 s。



标引序号说明：

- 1 —— 剪切传动机构；
- 2 —— 推动器；
- 3 —— 下盒；
- 4 —— 垂直加压框架；
- 5 —— 垂直位移计；
- 6 —— 传压板；
- 7 —— 透水板；
- 8 —— 上盒；
- 9 —— 储水盒；
- 10 —— 测力计；
- 11 —— 水平位移计；
- 12 —— 滚珠；
- 13 —— 试件。

图 2 直剪仪结构示意图

6.4.2 试验步骤

6.4.2.1 对准直剪仪上盒、下盒，插入固定销。在下盒内放入透水板和硬塑料薄膜，将带有试件的环刀刃口向上，对准剪切盒口，将试件徐徐推入剪切盒内，移去环刀，在试件上放置硬塑料薄膜和透水板。

6.4.2.2 移动剪切传动装置，使上盒前端钢珠刚好与测力计接触，依次放上传压板、加压框架，安装水平和垂直位移量测装置，并调整零位或测记初读数。

6.4.2.3 垂直压力分 100 kPa、200 kPa、300 kPa、400 kPa 4 级施加，每级垂直压力采用 3 个试件进行剪切试验。

6.4.2.4 施加垂直压力后，立即拨去固定销，开动秒表，宜采用 0.8 mm/min~1.2 mm/min 的速率进行剪切，使试件在 3 min~5 min 内剪损。试件每产生 0.2 mm~0.4 mm 的剪切位移，测记测力计和位移读数，直至测力计读数出现峰值，再继续剪切至剪切位移为 4 mm 时停止，记录破坏值；当剪切过程中测力计读数无峰值时，应剪切至剪切位移为 6 mm 时停机。

6.4.2.5 剪切结束后，吸去剪切盒中的积水，倒转传动装置，移去垂直压力、加压框架和加压盖板等，取出试件。

6.4.2.6 水泥土快剪试验可参照表 C.12 进行记录。

6.4.3 数据处理

6.4.3.1 水泥土剪应力应按式(16)计算：

$$\tau = (C \cdot R / A_i) \times 10 \dots\dots\dots (16)$$

式中:

τ ——剪应力,单位为千帕(kPa);

C ——测力计率定系数,单位为牛每 0.01 毫米(N/0.01 mm);

R ——测力计读数,单位为 0.01 毫米(0.01 mm);

A_i ——试件初始横截面积,单位为平方厘米(cm²)。

6.4.3.2 以剪应力为纵坐标,剪切位移为横坐标,绘制剪应力与剪切位移关系曲线。取曲线上剪应力的峰值或稳定值作为抗剪强度;无峰值时,取剪切位移 4 mm 对应的剪应力作为抗剪强度。取 3 个试件抗剪强度平均值为本级垂直压力下的抗剪强度。

6.4.3.3 以抗剪强度为纵坐标,垂直压力为横坐标,绘制抗剪强度与垂直压力关系曲线。将其线性回归成一条直线,直线的倾角为水泥土的摩擦角,纵坐标上的截距为水泥土的黏聚力。

7 渗透性能检测

7.1 一般规定

7.1.1 水泥土搅拌桩防渗墙渗透性能检测可采用水泥土试验室试件渗透试验、芯样试件渗透试验、钻孔注水试验或围井试验。钻孔注水试验分为常水头注水试验和降水头注水试验。

7.1.2 应根据设计要求和现场条件,选择渗透性能检测方法。

7.1.3 渗透性能试验应按设计龄期开展;设计未规定的,宜选择 28 d 或 90 d 龄期进行试验。

7.2 试验室试件渗透试验

7.2.1 仪器设备

7.2.1.1 水泥土试验室试件渗透试验设备主要包括渗透容器和渗透试验装置,各部分组成应符合下列规定:

- a) 渗透容器:由渗透试模、透水板和滤纸组成;
- b) 渗透试验装置:由气源、压力表、出水管和进水管等组成。

7.2.1.2 试验仪器设备和材料应符合下列规定:

- a) 渗透试模:应采用金属试模,上口内径为 70 mm,下口内径为 80 mm,高度为 40 mm,试模上部侧面应带有出水孔;
- b) 压力表:量程应为 0 MPa~2.5 MPa,精度应不低于 0.4 级;
- c) 秒表:分度值不大于 1 s;
- d) 滴定管:分度值不大于 0.1 mL;
- e) 密封材料:可采用黄油中加水泥,黄油与水泥的质量比为 3:1~3.5:1;
- f) 滤纸:直径宜为 70 mm;
- g) 透水板:直径宜为 80 mm,厚度宜为 4 mm,渗透系数应大于 10⁻³ cm/s;
- h) 试验用水:可采用经过滤的现场地下水,或自来水、纯净水。

7.2.2 试验步骤

7.2.2.1 带模养护至规定龄期的试件从养护室取出、脱模,并用拧干的湿布擦拭试件表面;采用密封材

料密封装入渗透试模,下口放置透水板,装入渗透容器,并在试件上端面放置滤纸。

7.2.2.2 调节压力表,逐级施加水压力。第一级压力宜为 0.02 MPa,每隔 1 h 增加 0.02 MPa,水压至 0.10 MPa 后、每隔 1 h 增加 0.10 MPa。随时观察试件端面渗水情况,出现渗水时,记录水压力,并在此级压力下测试件的渗水量。

7.2.2.3 当滴定管内液面逐渐稳定后,开始读数和记录,同时测记水温。读数时间间隔应根据水泥土试件的渗水量确定。对渗水量大的试件,宜每隔 3 min~5 min 读数一次;当渗水量较小时,宜每隔 30 min~60 min 读数一次。

7.2.2.4 试验持续时间应根据渗水量稳定情况而确定。当由渗水量计算的渗透系数变化不大于 2×10^{-n} cm/s 时,可结束试验。

7.2.2.5 试验过程中应观察滤纸透水情况,当发现水从试件周边渗出时,应停止试验,重新密封试件后继续试验。

7.2.2.6 水泥土实验室成型试件室内渗透试验可参照表 C.13 进行记录。

7.2.3 数据处理

7.2.3.1 水温 $T^{\circ}\text{C}$ 时水泥土渗透系数按式(17)、式(18)计算:

$$k_T = q / (i A_m \Delta t) \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$i = p_s / (100 \gamma_w h) \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中:

k_T —— 水温 $T^{\circ}\text{C}$ 时水泥土渗透系数,单位为厘米每秒(cm/s),精确至 0.01×10^{-n} cm/s;

q —— 经时间间隔 t 渗出的水量,单位为毫升(mL),精确至 0.1 mL;

i —— 水力梯度,精确至 0.01;

A_m —— 试件中部横截面积,单位为平方厘米(cm^2),精确至 0.1 cm^2 ;

Δt —— 时间间隔,单位为秒(s),精确至 1 s;

p_s —— 施加的渗透压力,单位为兆帕(MPa),精确至 0.02 MPa;

γ_w —— 水的重度,单位为牛每立方厘米(N/cm^3),计算时取 $0.0098 \text{ N}/\text{cm}^3$;

h —— 渗径,即试件高度,单位为厘米(cm),精确至 0.1 cm。

7.2.3.2 每个试件应至少量测 6 次,并应取 3 个~4 个在允许差值范围内的平均值,作为该水泥土试件在某一龄期下的渗透系数,允许差值不应大于 2×10^{-n} cm/s。

7.2.3.3 渗透试验应以水温 20°C 为标准温度,标准温度下的渗透系数按式(19)计算,水的动力黏滞系数比(η_T/η_{20})按表 9 确定。

$$k_{20} = k_T \times (\eta_T / \eta_{20}) \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中:

k_{20} —— 水温为标准温度时试件的渗透系数,单位为厘米每秒(cm/s),精确至 0.01×10^{-n} cm/s;

η_T —— 水温 $T^{\circ}\text{C}$ 时水的动力黏滞系数,单位为千帕秒($\text{kPa}\cdot\text{s}$);

η_{20} —— 水温 20°C 时水的动力黏滞系数,单位为千帕秒($\text{kPa}\cdot\text{s}$)。

表 9 水的动力黏滞系数比

温度 $T/^{\circ}\text{C}$	黏滞系数比 η_T/η_{20}	温度 $T/^{\circ}\text{C}$	黏滞系数比 η_T/η_{20}	温度 $T/^{\circ}\text{C}$	黏滞系数比 η_T/η_{20}	温度 $T/^{\circ}\text{C}$	黏滞系数比 η_T/η_{20}
5.0	1.501	11.0	1.261	17.0	1.077	23.0	0.932
5.5	1.478	11.5	1.243	17.5	1.066	24.0	0.910
6.0	1.470	12.0	1.227	18.0	1.050	25.0	0.890
6.5	1.449	12.5	1.211	18.5	1.038	26.0	0.870
7.0	1.414	13.0	1.194	19.0	1.025	27.0	0.850
7.5	1.393	13.5	1.176	19.5	1.012	28.0	0.833
8.0	1.373	14.0	1.163	20.0	1.000	29.0	0.815
8.5	1.353	14.5	1.148	20.5	0.998	30.0	0.798
9.0	1.334	15.0	1.133	21.0	0.976	31.0	0.781
9.5	1.315	15.5	1.119	21.5	0.964	32.0	0.765
10.0	1.297	16.0	1.104	22.0	0.953	33.0	0.750
10.5	1.279	16.5	1.090	22.5	0.943	34.0	0.735

7.2.3.4 试验室试件渗透试验结果的处理应符合下列规定：

- 每组应制作 3 个试件,分别测试渗透压力;
- 3 个试件在相同渗透压力下渗水时,取 3 个试件渗透系数平均值作为该组试件渗透系数试验结果(修约间隔为 $0.01 \times 10^{-10} \text{ cm/s}$);
- 3 个试件中有 2 个试件在相同渗透压力下渗水时,取这 2 个试件渗透系数测值的平均值作为该组试件渗透系数试验结果;
- 3 个试件在不同的渗透压力下渗水时,该组试验结果无效。

7.3 芯样试件渗透试验

7.3.1 仪器设备

7.3.1.1 芯样试件渗透试验宜采用多功能三轴试验仪,由反压力控制系统、周围压力控制系统、压力室、轴向压力控制系统及孔隙水压力控制系统等组成。技术性能应符合 GB/T 15406 和 GB/T 24107.1 的规定。

7.3.1.2 辅助设备和材料应符合下列规定：

- 滴定管:分度值不应大于 0.1 mL;
- 秒表:分度值不应大于 1 s;
- 温度计:分度值不应大于 0.5 $^{\circ}\text{C}$;
- 橡皮膜:具有弹性的乳胶膜,厚度宜为 0.2 mm~0.3 mm;
- 透水石:直径与试件直径相等,渗透系数应大于试件的渗透系数,使用前应在水中煮沸并泡于水中;
- 试验用水:可采用经过滤的现场地下水,或自来水、纯净水。

7.3.2 试验步骤

- 7.3.2.1 在底座上依次放置透水石、滤纸、试件、滤纸、透水石及透水试帽。
- 7.3.2.2 将橡皮膜套在试件外部,用橡皮圈将橡皮膜分别扎紧在压力室底座和试件帽上。
- 7.3.2.3 装上压力室罩,向渗透压力室注满水,待水位漫过压力室顶部时,关闭出水孔,拧紧螺丝。
- 7.3.2.4 打开周围压力阀,施加较小的周围压力,打开压力室上、下部的排气阀,排出管线及试件套膜中的气泡,关闭压力室下部的排气阀。
- 7.3.2.5 关闭压力室上游渗透压力阀,依次施加周围压力和上游渗透压力,并使上游渗透压力始终小于周围压力 30 kPa~50 kPa。
- 7.3.2.6 打开上、下游渗透压力阀,记录下游渗透压力量管的初始读数,如果在一定时间内读数变化较小,宜增加周围压力和上游渗透压力。
- 7.3.2.7 每隔一定时间段读取下游渗透压力量管的读数,并记录水温。
- 7.3.2.8 每个试件至少测量 6 次,当由渗水量计算的渗透系数变化值不大于 2×10^{-n} cm/s 时,可结束试验。取最后 1 次测量结果计算渗透系数。
- 7.3.2.9 测试完毕,依次关闭上下游渗透压力阀和周围压力阀,使相应的压力值调到零;再打开出水孔,排出压力室的水,取出试件。
- 7.3.2.10 芯样试件室内渗透试验可参照表 C.14 进行记录。

7.3.3 数据处理

- 7.3.3.1 按照式(17)和式(18)计算水温 T °C 时水泥土渗透系数,按照式(19)换算成标准温度下的渗透系数。
- 7.3.3.2 取每组 3 个芯样试件中渗透系数最大测值作为渗透系数试验结果(修约间隔为 0.01×10^{-n} cm/s)。

7.4 钻孔注水试验

7.4.1 仪器设备

- 7.4.1.1 钻孔注水试验仪器设备包括造孔设备、供水设备、止水设备、测试设备等,应符合下列规定。
- 造孔设备宜采用液压操纵的高速工程地质钻机,应符合 5.4.1.2 的要求。
 - 供水设备采用水箱和水泵时,水箱容积不应小于 2 m^3 ;水泵类型应根据试验段渗透性大小选择,且能在 1 MPa 压力下流量保持 100 L/min。
 - 止水设备包括套管和止水栓塞,止水栓塞应采用气压式或水压式栓塞,塞长应不小于 7 倍钻孔直径。
 - 测试设备应包括容积计、流量计、秒表、米尺、水位计、温度计等,设备的量测和精度应符合 SL/T 31.2 的规定。
- 7.4.1.2 水位观测宜使用电测水位计或水位自动记录仪,精确至 1 cm。

7.4.2 试验步骤

- 7.4.2.1 清除水泥土搅拌桩防渗墙上部覆盖层,暴露墙顶,进行试验造孔,造孔应符合下列规定。
- 钻孔时,将钻头垂直对准墙体中心,墙体厚度方向钻孔位置允许偏差 0.5 cm,垂直度偏差不应大于 0.5%;试验孔应采用薄壁合金钻头或金刚钻头钻进,孔内松动的水泥土应清理干净,孔壁应清洗,孔口应保护。
 - 孔底应高于防渗墙底 0.5 m~1.0 m,钻孔最大深度不宜超过 10 m。
- 7.4.2.2 宜选用清水脉动循环法、活塞洗孔法或压缩空气法对试验段进行清洗。

7.4.2.3 注水试验前,应观测防渗墙上、下游的地下水位,观测间隔宜为 5 min;当连续 2 次观测数据变幅小于 10 cm 时,可结束地下水位量测工作,采用最后一次观测值作为地下水位计算值。

7.4.2.4 钻孔注水试验应符合下列规定。

- a) 试验段注入清水后,保持 24 h 水位稳定使之饱和。
- b) 常水头注水试验时,使孔口水位高出地下水位一定高度,用量筒(桶)注入水量,并保持孔口水位固定不变。量测经过时间和注入水量,开始每 30 min 量测 1 次,连续量测 5 次;以后每 2 h 量测 1 次。当连续 2 次注入水量之差不大于最后一次注入水量 10% 时,可结束试验。
- c) 降水头注水试验时,使孔口水位高出地下水位一定高度,将孔口水位作为初始水位值。试验开始后,按 5 min、10 min、30 min、60 min、2 h、4 h……观测孔内水位,结束降水头注水试验应符合下列规定:

1) 当地下水位位于钻孔底部以下时,以 $\left(\frac{1}{H_2} - \frac{1}{H_1}\right)$ 为纵坐标,时间 t 为横坐标,绘制

$\left(\frac{1}{H_2} - \frac{1}{H_1}\right) - t$ 关系曲线,呈线性时终止试验;

2) 当地下水位位于钻孔底部以上时,以 $\ln \frac{(H_2 + h_{z0})(H_1 - h_{z0})}{(H_2 - h_{z0})(H_1 + h_{z0})}$ 为纵坐标,时间 t 为横坐标,绘制

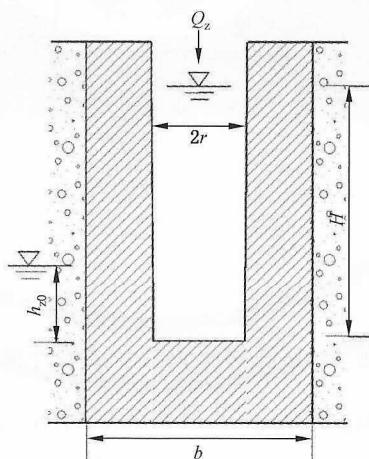
$\ln \frac{(H_2 + h_{z0})(H_1 - h_{z0})}{(H_2 - h_{z0})(H_1 + h_{z0})} - t$ 关系曲线,呈线性时终止试验。

注: H_1 为孔口开始水位, H_2 为孔口结束水位, h_{z0} 为地下水位至孔底距离。

7.4.2.5 钻孔常水头注水试验可参照表 C.15 进行记录;钻孔降水头注水试验可参照表 C.16 进行记录。

7.4.3 数据处理

7.4.3.1 钻孔常水头注水试验计算简图见图 3,水温 $T^\circ\text{C}$ 时的渗透系数按式(20)计算:



标引符号说明:

Q_z —— 注水试验稳定渗透流量;

r —— 钻孔半径;

H —— 孔口水位至孔底距离;

h_{z0} —— 地下水位至孔底距离;

b —— 防渗墙平均厚度。

图 3 钻孔常水头注水试验简图

$$k_T = \frac{Q_z \ln[2b/(\pi r)]}{\pi(H^2 - h_{z0}^2)} \quad \dots\dots\dots(20)$$

$$b = (d + T_{\min})/2 \quad \dots\dots\dots(21)$$

式中:

k_T ——水温 $T^\circ\text{C}$ 时水泥土渗透系数,单位为厘米每秒(cm/s),精确至 $0.01 \times 10^{-n} \text{ cm/s}$;

Q_z ——注水试验稳定渗透流量,单位为立方厘米每秒(cm^3/s);

b ——防渗墙平均厚度,单位为厘米(cm),按式(21)计算;

r ——钻孔半径,单位为厘米(cm);

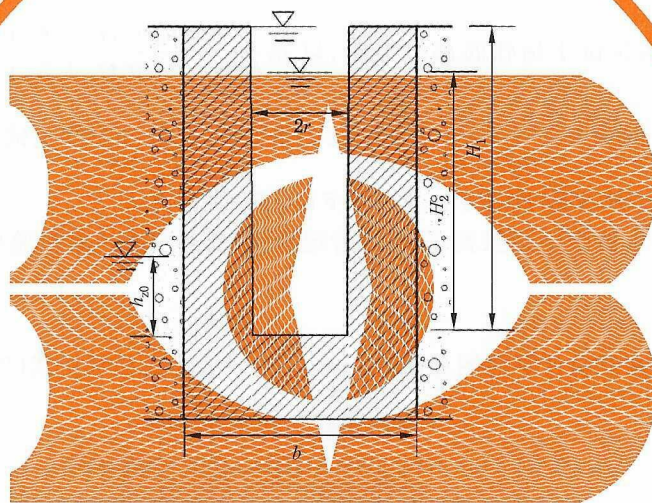
H ——孔口水位至孔底距离,单位为厘米(cm);

h_{z0} ——地下水位至孔底距离,单位为厘米(cm),当地下水位低于孔底时 h_{z0} 取 0;

d ——桩体直径,单位为厘米(cm);

$T_{\min}$ ——防渗墙厚度代表值,单位为厘米(cm)。

7.4.3.2 钻孔降水头注水试验计算简图见图 4,水温 $T^\circ\text{C}$ 时的渗透系数按下列情况分别计算:



标引符号说明:

r ——钻孔半径;

H_1 ——孔口开始水位;

H_2 ——孔口结束水位;

h_{z0} ——地下水位至孔底距离;

b ——防渗墙平均厚度。

图 4 钻孔降水头注水试验计算简图

a) 墙外地下水位不高于试验孔底高程,即墙外无水时($h_{z0} \leq 0$)时,按式(22)计算:

$$k_T = \left(\frac{1}{H_2} - \frac{1}{H_1} \right) \times \frac{r^2 \ln[2b/(\pi r)]}{t_2 - t_1} \quad \dots\dots\dots(22)$$

式中:

H_2 ——孔口结束水位,单位为厘米(cm);

H_1 ——孔口开始水位,单位为厘米(cm);

t_2 ——试验结束时间,单位为秒(s);

t_1 ——试验开始时间,单位为秒(s)。

b) 墙外地下水位高于试验孔底高程,即墙外有水时($h_{z0} > 0$)时,按式(23)计算:

$$k_T = \ln \frac{(H_2 + h_{z0})(H_1 - h_{z0})}{(H_2 - h_{z0})(H_1 + h_{z0})} \times \frac{r^2 \ln[2b/(\pi r)]}{2h_0(t_2 - t_1)} \dots\dots\dots (23)$$

7.4.3.3 取最后 2 次测值的平均值作为防渗墙渗透系数试验结果(修约间隔为 0.01×10^{-n} cm/s)。

7.5 围井试验

7.5.1 仪器设备

7.5.1.1 围井井内开挖法试验设备应符合下列规定:

- a) 钢直尺:量程不小于 1000 mm,分度值不大于 1 mm;
- b) 温度计:分度值不大于 0.5 °C;
- c) 其他:水箱、水泵、流量计、量筒、防雨布等。

7.5.1.2 围井井内钻孔法试验设备应符合下列规定:

- a) 钻机:应符合 5.4.1.2 的要求;
- b) 钢卷尺:分度值不大于 1 mm;
- c) 温度计:分度值不大于 0.5 °C;
- d) 水位计:分度值不大于 1 mm;
- e) 其他:过滤套管、PVC 测压管、水箱、水泵、流量计、量筒、防雨布等。

7.5.2 试验步骤

7.5.2.1 根据选定的施工参数和施工工艺进行围井施工,围井面积不宜小于 4.5 m²。

7.5.2.2 悬挂式防渗墙围井底部应进行封闭,采用井内开挖法注水;围井底部有相对隔水层时,采用井内开挖法注水或井中心钻孔下滤管注水。

7.5.2.3 井内开挖法采用井壁安置钢直尺测读水位;井中心钻孔法采用孔内水位计测读水位。

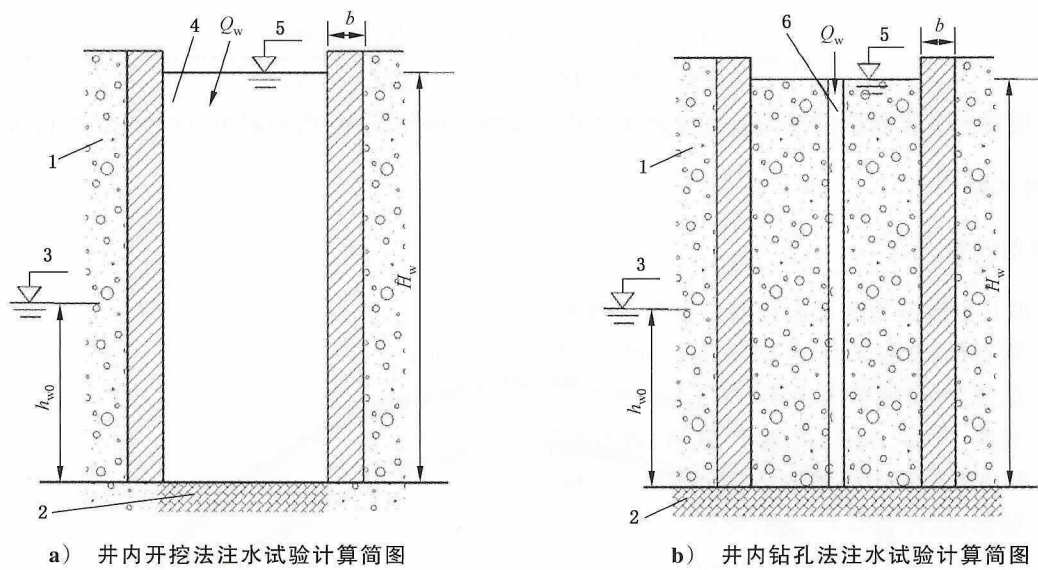
7.5.2.4 观测应在围井内注水 24 h 后进行。当水位下降 5 mm 时,记录时间,再注水至原水位位置,量测注入水量,至少连续测 6 组数据,当连续 2 次注入水量之差小于最后一次注入水量的 10% 时,可结束试验。

7.5.2.5 试验过程中,观测围井外侧地下水位和水面蒸发量。

7.5.2.6 围井常水头注水试验可参照表 C.17 进行记录。

7.5.3 数据处理

7.5.3.1 围井常水头注水试验计算简图如图 5 所示,水温 T °C 时的渗透系数按式(23)计算:



标引序号说明:

- 1 —— 围井;
- 2 —— 相对隔水层;
- 3 —— 地下水位;
- 4 —— 井内开挖;
- 5 —— 注水稳定水位;
- 6 —— 钻孔;

Q_w ——围井试验稳定渗透流量;
 H_w ——围井内试验水位至井底距离;
 h_{w0} ——地下水位至围井底距离;
 b —— 防渗墙平均厚度。

图 5 围井注水试验计算简图

$$k_T = 2bQ_w / [L(H_w^2 - h_{w0}^2)] \quad \dots\dots\dots (24)$$

式中:

- k_T —— 水温 $T^\circ\text{C}$ 时水泥土渗透系数, 单位为厘米每秒 (cm/s), 精确至 0.01×10^{-n} cm/s;
- b —— 防渗墙平均厚度, 单位为厘米 (cm);
- Q_w —— 稳定渗透流量 (扣除了蒸发量), 单位为立方厘米每秒 (cm³/s);
- L —— 围井周边防渗墙轴线周长, 单位为厘米 (cm);
- H_w —— 围井内试验水位至井底距离, 单位为厘米 (cm);
- h_{w0} —— 地下水位至围井底距离, 单位为厘米 (cm), 当地下水位低于围井底部时 h_{w0} 取 0。

7.5.3.2 取最后 2 次测值的平均值作为防渗墙渗透系数试验成果 (修约间隔为 0.01×10^{-n} cm/s)。

附录 A

(规范性)

水泥土实验室试件制备方法

A.1 本附录给出了水泥土实验室试件制备方法。

A.2 水泥土无侧限抗压强度试验、压缩试验、剪切试验和渗透试验用试件可采用现场施工完成尚未凝固的水泥土制作,水泥土的取样应有代表性。试件数量应符合下列要求:

- a) 无侧限抗压强度试验每组 6 个试件;
- b) 压缩试验每组 3 个试件;
- c) 直剪试验每组 12 个试件;
- d) 渗透试验每组 3 个试件。

A.3 试件制备仪器设备主要包括试模、振动台、环刀、游标卡尺和捣棒等,性能指标符合下列要求。

- a) 试模材料宜为不锈钢,应具备足够刚度,内表面应光滑、不渗水,便于拆卸。试模类型应符合表 A.1 的规定,试模技术要求应符合下列规定。
 - 1) 立方体试模,尺寸为 70.7 mm×70.7 mm×70.7 mm,内表面不平整度不应超过 0.1 mm,垂直度允许偏差应为±0.5°。
 - 2) 圆柱体试模,尺寸为:内径 39.1 mm,高度 80 mm;内径 61.8 mm,高度 100 mm;内径 101 mm,高度 150 mm。内表面不平整度不应超过 0.1 mm,垂直度允许偏差应为±0.5°。
 - 3) 截头圆锥形试模,上口内径为 70 mm,下口内径为 80 mm,高度 30 mm。

表 A.1 试验用试模类型

试验内容	抗压强度试验	压缩试验	直剪试验	渗透试验
试模类型	立方体试模或圆柱体试模	立方体试模	立方体试模	截头圆锥形试模

- b) 环刀应采用不锈钢材料制成,内径为 61.8 mm,高度为 20 mm 或 40 mm。
- c) 游标卡尺量程不小于 150 mm,分度值宜不大于 0.02 mm。
- d) 捣棒直径为 10 mm,端部磨圆,表面光滑。

A.4 试件的成型应符合下列要求。

- a) 试验室环境条件:温度(20±5)℃,相对湿度不低于 50%。
- b) 成型前试模内表面应涂一薄层矿物油或其他与水泥土不发生反应的脱模剂。
- c) 水泥土宜分 2 层装入试模内,每层装料高度宜相等。
- d) 每层按螺旋方向从边缘向中心均匀插捣 5 次。在插捣底层水泥土时,捣棒应达到试模底部,插捣上层时,捣棒应贯穿该层后插入下一层 5 mm~15 mm,插捣时捣棒应保持竖直,插捣后用油灰刀或刮刀沿试模内壁插拔数次。
- e) 压缩试验和直剪试验试件,应在插捣后的立方体试件中徐徐压入环刀,环刀顶沿应低于水泥土试模沿口 5 mm 以上。环刀高度应满足下列要求:
 - 1) 压缩试件采用高度为 20 mm 的环刀;
 - 2) 直剪试件根据试验仪器的规格选取高度为 20 mm 或 40 mm 的环刀。
- f) 试模顶部多余水泥土应刮除,抹平后应覆盖塑料薄膜。

A.5 试件拆模与养护应符合下列要求。

- a) 抗压强度试件成型后在试验室静置不宜少于 48 h 后拆模,编号后养护。拆模时应检查试件外观,不应有肉眼可见的裂纹、缺棱掉角、倾斜及变形。
- b) 压缩试验和直剪试验试件在试验室静置 24 h 后拆模,拆模后应将环刀外侧及上下两端的水泥土削除,编号后带环刀养护。
- c) 渗透试验试件成型后在试验室静置不宜少于 24 h,编号后带试模养护。
- d) 试验室试件宜采用温度为 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$,相对湿度不小于 95% 的标准养护箱养护。



附录 B

(规范性)

水泥石芯样试件制备方法

B.1 本附录给出了水泥石芯样试件的制备方法。

B.2 仪器设备应包括下列几种：

- a) 切割机、磨平机、补平等；
- b) 游标卡尺：分度值不大于 0.02 mm；
- c) 钢直尺：分度值不大于 1 mm；
- d) 游标量角器：分度值不大于 0.1°；
- e) 塞尺：最小叶片厚度不小于 0.02 mm。

B.3 水泥石芯样的流转符合下列规定：

- a) 防渗墙现场钻芯取样应符合 5.4 的要求；
- b) 芯样搬运和运输过程中应防止扰动和挤压；
- c) 芯样应在取出 3 d 内及时完成室内芯样试样的制备，当芯样受到扰动或质量不符合规定时，不应用于制备试件。

B.4 加工时应将芯样固定，锯切平面应垂直于芯样轴线。锯切过程中应控制进刀速度，并淋水冷却金刚石圆锯片。

B.5 锯切后的芯样试件两端平整度允许偏差应不大于 0.1 mm，端面与试件轴线垂直度允许偏差应不大于 0.5°。平整度或垂直度不满足要求时，宜在磨平机上磨平，或用水泥净浆在专用补平器上补平。水泥净浆的补平厚度不宜大于 1.5 mm。补平层应与芯样结合牢固。

B.6 芯样试件加工完成后，应对几何尺寸做如下测量：

- a) 平均直径：用游标卡尺在芯样高度的中间和上、下各 1/4 高度处，按两个垂直方向测量 3 对数值，取平均值，精确至 0.1 mm；
- b) 芯样高度：用游标卡尺沿高度方向对称测量 4 个数值，取平均值，精确至 0.1 mm；
- c) 垂直度：用游标量角器测量两个端面与母线的夹角，精确至 0.1°；
- d) 平整度：用钢直尺紧靠芯样端面，转动钢直尺，同时用塞尺测量钢直尺与芯样端面之间的缝隙。

B.7 用于抗压强度试验的试件每组 3 个，高径比宜为 0.95~1.05。

B.8 用于渗透试验的试件每组 3 个，不应使用修补过的试件。采用圆柱体试件时，试件高度不宜超过 50 mm。采用圆柱体试件制作截头圆锥形试件时，填充圆柱体试件和试模之间空隙的封堵材料渗透系数应小于水泥石试件的渗透系数。

B.9 未到试验龄期的试件宜放入温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，相对湿度不小于 95% 的标准养护箱中养护。

附 录 C
(资料性)
检测记录用表

表 C.1~表 C.17 给出了水泥土搅拌桩防渗墙质量检测过程中的检测记录用表样表。

表 C.1 轻型动力触探检测记录表

工程名称	_____	任务单号	_____
委托单位	_____	检测日期	_____
检测依据	_____	检测环境	_____
检测仪器设备及编号 _____			

参 数 信 息					
桩号/孔号		施工日期		水泥掺入量 %	
水泥土龄期 d		孔口标高 m		设计墙顶高程 m	
地下水位 m		探杆直径 mm		落锤质量 kg	
检 测 数 据					
序号	触探杆长度 m	触探高程 m	贯入深度 cm	锤击数	备注
单孔深度与锤击数关系曲线：					

试验：_____ 计算：_____ 校核：_____

表 C.2 浅部开挖法检测水泥土搅拌桩防渗墙厚度记录表

工程名称

任务单号

委托单位

检测日期

检测依据

检测环境

检测仪器设备及编号

参 数 信 息								
施工日期			成墙方法			水泥掺入量 %		
设计墙顶高程 m			设计墙深 m			设计墙厚 mm		
检 测 数 据								
桩号	探坑号	探坑尺寸 m	相邻桩 编号	桩心距 mm	桩径 mm	搭接处成墙厚度 mm	防渗墙厚度代表值 mm	备注
			1-2					
			2-3					
			3-4					
			4-5					
			5-6					
			1-2					
			2-3					
			3-4					
			4-5					
			5-6					
			1-2					
			2-3					
			3-4					
			4-5					
			5-6					
探坑内墙体侧面情况描述：								

试验：

计算：

校核：

表 C.3 芯样标签

工 程 名 称	
施工单位/标段	
里 程 号	
桩 号	
检测孔编号	
取 样 深 度	
芯 样 名 称	
颜 色	
状 态	
施 工 日 期	
取 样 时 间	

表 C.4 芯样信息牌

工 程 名 称	
施工单位/标段	
里 程 号	
桩 号	
设计桩长	
施 工 日 期	
取 样 时 间	
检 测 单 位	

表 C.5 水泥土搅拌桩防渗墙现场取芯检测记录表

工程名称	任务单号
委托单位	检测日期
检测依据	检测环境
检测仪器设备及编号	

参 数 信 息											
桩号				施工日期				检查孔编号			
水泥掺入量 %				水泥土龄期 d				设计墙顶高程 m			
设计墙深 m				钻头外径 mm				起钻高程 m			
检 测 数 据											
钻芯取样数据											
土层号	土层分 部高程 m	钻芯 高程 m	钻芯 深度 m	芯样 长度 cm	芯样描述					备注	
					外观	气味	性质	颜色	状态		
标准贯入试验											
土层号	土层分 部高程 m	标准 贯入 高程 m	标准 贯入 深度 cm	预打阶段		试验阶段			实际 贯入度 $\Delta S/cm$	标准贯 入击数 N_{30}	备注
				贯入 深度 cm	锤击 数	每贯入 10 cm 锤击数					
						0~10	10~20	20~30			
本次钻芯总深度：_____				实测桩长：_____				取芯率计算：_____			
试验：				计算：				校核：			

表 C.6 孔内成像法检测记录表

工程名称 _____ 任务单号 _____
委托单位 _____ 检测日期 _____
检测依据 _____ 检测环境 _____
检测仪器设备及编号 _____

参 数 信 息					
桩号		检查孔编号		施工日期	
水泥掺入量 %		水泥土龄期 d		设计墙顶高程 m	
设计墙深 m		孔口高程 m		孔口直径 mm	
孔深 m		探头直径 mm		提升方式	手动 ☐ 自动 ☐
检 测 数 据					
操作流程	测量时间	测量高程范围 m	保存文件号	备注	
下放探头					
上提探头					
检测过程描述					

试验： _____ 计算： _____ 校核： _____

表 C.7 探地雷达法检测水泥土搅拌桩防渗墙完整性记录表

工程名称

任务单号

委托单位

检测日期

检测依据

检测环境

检测仪器设备及编号

参 数 信 息							
施工日期		成墙方式		水泥掺入量			
				%			
水泥土龄期		地下水位		测面高程			
d		m		m			
设计墙顶高程		设计墙底高程		天线类型			
m		m					
天线中心频率		采样率		探测方式			
f_c/Hz		$\Delta t/\text{ns}$					
检 测 数 据							
桩号	测线编号	电磁波 平均速度 m/ns	异常区域			异常判别	备注
			位置	水平方向 m	垂直方向 m		

试验：

计算：

校核：

表 C.10 芯样试件抗压强度试验记录表

工程名称

任务单号

委托单位

检测日期

检测依据

检测环境

检测仪器设备编号

参 数 信 息										
施工日期			取芯日期			水泥掺入量 %				
水泥土龄期 d			设计抗压强度 MPa			试件外观				
检 测 数 据										
桩号	芯样 高程	芯样 编号	试件尺寸 mm		承压 面积 A/mm²	破坏 荷载 P/N	抗压强度 f _{cu} /MPa		28 d 抗压强度 折算值 MPa	备注
			平均 直径	高度			单值	试验结果		

试验：

计算：

校核：

表 C.11 水泥土压缩试验记录表

工程名称

任务单号

委托单位

检测日期

检测依据

检测环境

检测仪器设备及编号

参 数 信 息												
桩号				试件组编号				制样日期				
取样高程 m				水泥掺入量 %				水泥土龄期 d				
试件直径 mm				试件外观								
检 测 数 据												
试件 编号	初始 高度 mm	分级 压力 kPa	百分表读数 mm		试件高 度变化 $\Delta h_i/\text{mm}$	初始 含水量 $\omega_0/\%$	水泥土 密度 $\rho_0/(\text{g}/\text{cm}^3)$	水泥土 相对密度 G_s	初始 孔隙比 e_0	孔隙比 e_i	备注	
			初始值	变形后								
		50										
		100										
		200										
		400										
		50										
		100										
		200										
		400										
		50										
		100										
		200										
		400										
试验结果计算												
参数	压力等级 kPa				参数	压力范围 kPa			参数	压力范围 kPa		
	50	100	200	400		50~ 100	100~200	200~ 400		50~100	100~200	200~400
孔隙 比					压缩 系数 MPa^{-1}				压缩 模量 MPa			

试验：

计算：

校核：

表 C.12 水泥土快剪试验记录表

工程名称

任务单号

委托单位

检测日期

检测依据

检测环境

检测仪器设备及编号

参 数 信 息								
桩号		制样日期		取样高程 m				
水泥掺入量 %		水泥土龄期 d		试件尺寸 mm				
测力计率定系数 C/(N/0.01mm)		试件外观						
检 测 数 据								
试件 编号	横截面积 A/cm²	时间 s	垂直压力 kPa	测力计读数 R/0.01mm	水平位移计读 数 mm	剪应力 τ/kPa	抗剪强度 MPa	备注
			100					
			200					
			300					
			400					
剪应力与剪切位移关系曲线					抗剪强度与垂直压力关系曲线			
摩擦角：					黏聚力：			

试验：

计算：

校核：

表 C.13 水泥土试验室成型试件室内渗透试验记录表

工程名称

任务单号

委托单位

检测日期

检测依据

检测环境

检测仪器设备及编号

参 数 信 息												
桩号		制样日期			取样高程 m							
水泥掺入量 %		水泥土龄期 d			试件高度/渗径 h/cm							
试件中部横截面积 A_1/cm^2		设计渗透系数 cm/s			试件外观							
检 测 数 据												
试件号	测量次数	试验时间		历时 t/s	渗透压力 p_s/MPa	渗出水量 q/mL	水温 $^{\circ}\text{C}$	渗透系数 cm/s			试验结果 k_{20}	备注
		开始时间	结束时间					单次测值 k_T	单块测值 k_T	单块测值 k_{20}		
	1											
	2											
	3											
	4											
	5											
	6											
	1											
	2											
	3											
	4											
	5											
	6											
	1											
	2											
	3											
	4											
	5											
	6											

试验：

计算：

校核：

表 C.14 芯样试件室内渗透试验记录表

工程名称 _____ 任务单号 _____
委托单位 _____ 检测日期 _____
检测依据 _____ 检测环境 _____
检测仪器设备及编号 _____

参 数 信 息												
施工日期				取样日期				制样日期				
水泥掺入量 %				水泥土龄期 d				取样高程 m				
设计渗透系数 cm/s				试件平均直径 mm				试件中部横截面积 A_1/cm^2				
试件高度/渗径 h/cm				试件外观								
检 测 数 据												
试件 编号	测量 次数	试验时间			渗透 压力 p_s/MPa	周围 压力 MPa	渗出 水量 q/mL	水温 $^\circ\text{C}$	渗透系数 cm/s			备注
		开始 时间	结束 时间	历时 t/s					单次测值 k_T	单块测值 k_{20}	试验结果 k_{20}	
	1											
	2											
	3											
	4											
	5											
	6											
	1											
	2											
	3											
	4											
	5											
	6											
	1											
	2											
	3											
	4											
	5											
	6											

试验： _____ 计算： _____ 校核： _____

表 C.15 水泥土搅拌桩防渗墙钻孔常水头试验记录表

工程名称

任务单号

委托单位

检测日期

检测依据

检测环境

检测仪器设备编号

参 数 信 息													
桩号						试验孔编号				施工日期			
水泥土龄期 d						水泥掺入量 %				设计渗透系数 cm/s			
初始地下水位 m						墙体深度 m				墙体平均厚度 b/mm			
试验段高程 m						试验段长度 m				试验孔直径 mm			
检 测 数 据													
试验 段号	测读 次数	试验时间				试验 水位 cm	地下 水位 cm	注入 水量 cm ³	稳定渗透 流量 Q _z /(cm ³ /s)	水温 ℃	渗透系数 k _T /(cm/s)		备注
		日	时	分	持续 时间 min						测值	试验结果	
	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												
	7												
	8												
	9												
	10												
	11												
	12												
	13												
	14												
	15												

试验：

计算：

校核：

表 C.16 水泥土搅拌桩防渗墙钻孔降水头试验记录表

工程名称

任务单号

委托单位

检测日期

检测依据

检测环境

检测仪器设备及编号

参 数 信 息												
桩号				试验孔编号				施工日期				
水泥土龄期 d				水泥掺入量 %				设计渗透系数 cm/s				
初始地下水位 m				墙体深度 m				墙体平均厚度 b/mm				
试验段高程 m				试验段长度 m				试验孔直径 mm				
检 测 数 据												
试验 段号	测读 次数	试验时间			开始 水位 H_1 /cm	结束 水位 H_2 /cm	地下 水位 高程 cm	地下水位 至孔底 深度 h_x /cm	水温 ℃	渗透系数 k_r /(cm/s)		备注
		日	时	分						持续 时间 min	测值	
	1											
	2											
	3											
	4											
	5											
	6											
	7											
	8											
	9											
	10											
	11											
	12											
	13											
	14											
	15											

试验：

计算：

校核：

表 C.17 水泥土搅拌桩防渗墙围井常水头试验记录表

工程名称 _____ 任务单号 _____
 委托单位 _____ 检测日期 _____
 检测依据 _____ 检测环境 _____
 检测仪器设备及编号 _____

参 数 信 息												
桩号		施工日期		成墙施工工艺								
水泥土龄期 d		水泥掺入量 %		设计渗透系数 cm/s								
设计桩径 mm		防渗墙平均厚度 b/mm		围井轴线长度 m								
围井深度 m		地下水位 m		注水饱和时间								
试验地层情况		围井底密闭情况										
检 测 数 据												
试验 序号	试验时间				试验水位 至井底 深度 H_w/m	地下水至 围井底 深度 h_{w0}/m	注水量 cm^3/s	蒸发量 cm^3/s	水温 $^{\circ}C$	渗透系数 $k_T/(cm/s)$		备注
	日	时	分	持续 时间						测值	试验结果	
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												

试验: _____ 计算: _____ 校核: _____

参 考 文 献

- [1] GB 50021 岩土工程勘察规范
 - [2] GB 50202 建筑地基基础工程施工质量验收标准
 - [3] GB 50487 水利水电工程地质勘察规范
 - [4] DL/T 5200—2019 水电水利工程高压喷射灌浆技术规范
 - [5] DL/T 5425 深层搅拌法地基处理技术规范
 - [6] JG/T 245 混凝土试验用振动台
 - [7] JGJ 106 建筑基桩检测技术规范
 - [8] JGJ/T 233 水泥土配合比设计规程
 - [9] JGJ 340—2015 建筑地基检测技术规范
 - [10] NB/T 35104 水电工程钻孔注水试验规程
 - [11] SL/T 260 堤防工程施工规范
 - [12] SL/T 291 水利水电工程钻探规程
 - [13] SL/T 291.1—2021 水利水电工程勘探规程 第1部分:物探
 - [10] SL/T 291.3 水利水电工程勘探规程 第3部分:坑探
 - [11] SL/T 631.3 水利水电工程单元工程施工质量验收标准 第3部分:地基处理与基础工程
 - [12] SL 734 水利工程质量检测技术规程
 - [13] YBJ 225 软土地基深层搅拌技术规程
 - [14] T/CECS 253 地基基础孔内成像检测标准
 - [15] T/CECS 597 地下连续墙检测技术规程
 - [16] T/CECS 822 变截面双向搅拌桩技术规程
 - [17] T/CECS 1533 数字化微扰动搅拌桩(DMP工法)技术规程
 - [18] T/CECS 1633 等厚度水泥土连续墙检测标准
-

中国科技产业化促进会
团 体 标 准
水利工程混凝土搅拌桩防渗墙质量检测
技术规程

T/CSPSTC 194—2025

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
网址 www.spc.net.cn

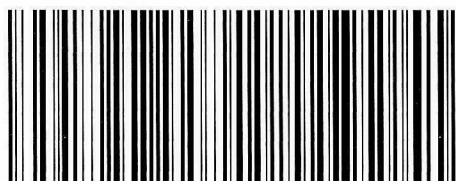
总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238
读者服务部:(010)68523946
北京联兴盛业印刷股份有限公司印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 3.5 字数 88 千字
2026年5月第1版 2026年5月第1次印刷

*

书号:155066·5-20654 定价 105.00 元



T/CSPSTC 194-2025

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107