

· 视 角 ·



首版《水运工程地下连续墙结构检测技术规程》 重点内容的分析探讨*

李俊毅^{1,2,3}

(1. 中交天津港湾工程研究院有限公司, 天津 300222; 2. 中交第一航务工程局有限公司, 天津 300461;
3. 天津港湾工程质量检测中心有限公司, 天津 300222)

摘要: 地下连续墙技术自诞生至今已超 100 年。我国港口工程地下连续墙技术发展近 50 年, 采用该技术建设码头已有 35 年以上, 码头从 1.5 万吨级发展到 20 万吨级, 建成了当前世界上最大吨级的地下连续墙码头。水运工程码头的现浇地下连续墙迎水面具有全生命周期永久隐蔽性的特点, 为保证其工程质量, 规范其检测技术, 我国首次编制了水运行业标准《水运工程地下连续墙结构检测技术规程》, 明确了成槽质量、墙段混凝土质量、钢筋笼长度等指标的检测方法, 提出分别采用声波反射法、声波透射法和磁测井法, 其中重点规定对永久性结构的地下连续墙成槽质量和有外露墙面墙段混凝土质量实施 100% 声波透射法检测, 以实现精准控制及精细管理, 助力提升“中国制造-地下连续墙码头”的品牌建设。

关键词: 水运工程; 地下连续墙; 板桩码头; 地连墙码头; 检测技术; 规程

中图分类号: U655.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2026)04-0001-15

Analysis and discussion on key contents of first edition of *Technical Specification for Testing of Diaphragm Wall Structure in Port and Waterway Engineering*

LI Junyi^{1,2,3}

(1. CCCC Tianjin Port Engineering Institute Co., Ltd., Tianjin 300222, China;

2. CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Tianjin 300461, China;

3. Tianjin Port Engineering Quality Inspection Center Co., Ltd., Tianjin 300222, China)

Abstract: The origin of diaphragm walls technology has been over 100 years. In China, the technology of diaphragm walls in ports has developed for nearly 50 years, and the construction of wharf using diaphragm walls technology has been over 35 years, evolving from 15,000 DWT to 200,000 DWT, the world's maximum tonnage wharf of diaphragm walls has been built. The cast-in-place diaphragm walls' water-side face of sheet pile in the port and waterway engineering wharf has the characteristic of permanent concealment throughout the entire life cycle, to ensure the quality of the project and standardize the inspection technology, the water transport industry has formulated the *Technical Specification for Testing of Diaphragm Wall Structure in Port and Waterway Engineering* for the first time. It mainly stipulates the application of the sonic reflection method, crosshole sonic logging method and magnetic logging method respectively for the inspection of the quality of the trench, the quality of the concrete of the wall section and the length of the steel cage in the inspection of diaphragm walls. It focuses on 100% crosshole sonic logging method testing for the trenching and the unit wall concrete of the exposed walls of the permanent structure diaphragm walls of the quality to achieve precise control and meticulous management, and help enhance the brand building of “Made in China-diaphragm wall wharf”.

Keywords: port and waterway engineering; diaphragm wall; sheet piled wharf; diaphragm wall wharf; testing technology; technical specification

收稿日期: 2025-10-24 录用日期: 2025-11-16

*基金项目: 交通运输部办公厅关于下达“2021年度新立项水运工程建设标准编制计划的通知”(交办水函[2021]929号)

作者简介: 李俊毅(1965—), 男, 硕士, 正高级工程师, 从事建筑材料科研及试验检测管理工作。

地下连续墙(简称“地连墙”)技术起源于欧洲,在德国1920年就有专利,是根据打井和石油钻井使用泥浆和水中浇筑混凝土的方法而发展起来的。意大利于1940—1950年开发了桩柱式地连墙,又于1954年开发了槽板式地连墙。此后,法国、美国及日本等国家使用了此项技术^[1]。我国于1958年在北京密云水库白河主坝进行了槽板式防渗墙试验施工。世界各国应用地连墙技术基本都是从水利工程的地下防渗墙开始,逐步推广到其他建筑领域,现已成为深基础工程中有效的施工技术。1976年7月28日河北唐山发生强烈地震,造成天津新河船厂船台护岸大滑坡。巨大的滑动土体,挤弯了水下滑道,威胁着9#船台的安全。为了修复滑道,保护船台,必须设法迅速挡住继续下滑的土体。当时余震不断,土体继续变形。在滑动土体上,不能再增加质量,更不能受到外力震动,因此不宜采用打预制板桩的方法拦住滑坡。经研究决定,采用地连墙解决滑坡问题。为此,原交通部第一航务工程局设计研究院钻二组经一年多的努力,研发具有我国特点的挖槽机即组合式多头潜水钻机,攻克了地连墙的接头难关,建成了1100m的地连墙^[2-3]。此外,于1977年开展地连墙坞墙结构设计计算方法的研究^[4]。这都为港口工程进一步应用地连墙打下了基础,以文献[3]中记载的时间为标志,我国港口工程应用地连墙至今已近50年。

1960年左右,法国勒阿弗尔港(Port Le Havre)首次采用地连墙技术建设码头^[5]。荷兰鹿特丹港(Port of Rotterdam)于2007年建成Euromax码头的第一个地连墙码头部分,其设计水深22m、长1975m,能靠泊装载量1.25万TEU集装箱船,该港于2010年开始建设的Maasvlakte II期项目的第一座码头采用相同的设计^[6]。英国于1988年出版的首版BS 6349-2:1988 *Maritime Structures; Part 2: Design of Quay Walls, Jetties and Dolphins*^[7](中文译

为《海工建筑物:码头、栈桥和系靠船墩设计》^[8];该标准后来才有了2010年版和2019年版的 *Maritime Works; Part 2: Code of Practice for the Design of Quay Walls, Jetties and Dolphins*)就有地连墙码头设计的相关内容。

我国河北唐山港自1989年开始建设并在国内率先采用挖入式港池的1.5万吨级地连墙码头^[9],至今已超35年。唐山港于1994年建设5#、6#泊位时,地连墙施工中采用了多头潜水钻机^[10],现已发展较为成熟的还有液压抓斗成槽机、冲击式钻机与液压抓斗组合等成槽设备^[11]。由于唐山港发展的需求,唐山港是地连墙码头结构研究与应用的大型基地^[12],采用不断创新和发展的地连墙码头的半遮帘式、全遮帘式、分离卸荷式及带肋板分离卸荷式等结构形式,进一步使我国地连墙码头的建设水平提升至20万吨级(京唐港36#通用散货泊位^[13],2025年京唐港区36#泊位成功完成首次25万吨级船舶减载靠泊作业^[14]),建成了世界上最大吨级采用我国设计标准的地连墙码头。地连墙码头已在河北唐山港和曹妃甸港、山东某港^[15]、江苏盐城港和南通港、广东广州南沙港^[16]、埃及塞得港^[17-18](Port of Said)和苏赫纳港^[19](Port of Sokhna,也有译为苏科纳港或苏赫奈泉港)、马尔代夫某港等的码头建设中得到创新发展和推广应用,相关技术成果“新型遮帘式地连墙板桩码头实验关键技术研究”“深水板桩码头新结构成套技术开发研究”“桩基码头T构地连墙组合新型结构设计施工关键技术研究”和“深水板桩码头新结构关键技术研究与应用”等曾获我国行业协会或国家科学技术进步奖^[20-27]。

为适应地连墙码头设计、施工及工程质量检验的需要,原交通部(2008年3月23日后为交通运输部)先后发布了含相关技术内容的JTJ 292—1998《板桩码头设计与施工规范》^[28]、JTJ 221—1998《港口工程质量检验评定标准》^[29]、JTJ 267—

1998《港口工程混凝土结构设计规范》^[30]、《京唐港地连墙码头工程质量检验评定标准》^[31](于2001年9月26日同日发布和实施)、JTJ 303—2003《港口工程地下连续墙结构设计与施工规程》^[32]、2004年8月1日实施的JTJ 221—1998《港口工程质量检验评定标准》局部修订^[33]、JTS 257—2008《水运工程质量检验标准》^[34]、JTS 167-3—2009《板桩码头设计与施工规范》^[35]、JTS 151—2011《水运工程混凝土结构设计规范》^[36]、JTS 239—2015《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》^[37]、JTS 167—2018《码头结构设计规范》^[38]及JTS 215—2018《码头结构施工规范》^[39]等标准,但目前仅JTS 257—2008《水运工程质量检验标准》、JTS 151—2011《水运工程混凝土结构设计规范》、JTS 239—2015《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》、JTS 167—2018《码头结构设计规范》及JTS 215—2018《码头结构施工规范》为现行行业标准,而这些标准对地连墙检测要求和规定还不充分。

为交通强国建设,质量是百年大计,必须坚持高标准、严要求,规范过程、确保结果,将水下、隐蔽环节施工的精准控制、精细管理作为水运工程施工标准化工作的重中之重。码头3大结构形式(重力、高桩、板桩)之一的板桩码头中地连墙码头^[40]是最具有中国特色的。地连墙码头迎水

面具有永久隐蔽性的特点,即从建设到报废的全寿命周期基本处于“隐蔽”的状态,其结构基本处于水下环境,尤其需要提升地连墙码头迎水面的地连墙质量的可靠性,减少地连墙质量通病的发生,以解决这个一直受业内专家高度关注的问题^[41-43],通过规范化的试验检测方法和步骤的实施,将助力提升“中国制造-地下连续墙码头”的品牌建设。为此,笔者正在编制的首版《水运工程地下连续墙结构检测技术规程》^[44](简称《规程》),于2025年4月24日通过部审,本文择选重点内容进行介绍。

1 检测项目、方法及数量的方案

交通运输部水运局组织有关单位,《规程》主编单位负责具体实施。通过深入调查研究,认真总结近年来国内外地连墙结构检测的经验,结合我国水运工程特点和发展需要,分析监督管理、建设、设计、施工、监理和检测等单位的意见,对地连墙墙体混凝土质量越来越受到重视,因此对合理确定检测项目、方法和数量的认识基本达成共识,现提出地连墙的检测项目、方法及数量的方案,见表1。

现就其中声波反射法(sonic reflection method)、CSL法和磁测井法(magnetic logging method)的主要检测技术要点进行简要分析和介绍如下^[45]。

表1 检测项目、方法和数量
Tab. 1 Test items, methods, and quantities

类别	检测项目	检测方法	检测数量		
			永久结构	临时结构	
成槽 质量 检测	▲槽深	声波反射法或测绳法		100%槽段	
	▲槽宽				
	▲垂直度	槽段 接头壁	声波反射法	100%槽段	20%槽段,且不少于10个槽段
	▲沉渣厚度	测锤法或视电阻率法			
	▲泥浆性能指标	相对密度计法、黏度计法、含砂率计法和pH值试纸比色法等			100%槽段

续表1

类别	检测项目	检测方法	检测数量		
			永久结构	临时结构	
墙体质量检测	▲混凝土质量	声波透射法 (crosshole sonic logging method, CSL 法)	100%墙段,但无外露面时可 20% 墙段,且不少于 3 个墙段	20%墙段,且不少于 3 个墙段	
		钻芯法			
		△孔内摄像法			
	钢筋笼长度	磁测井法	2%墙段,且不少于 3 个墙段		
	深度	钻芯法			
	沉渣厚度	钻芯法			
	▲混凝土抗压强度	钻芯法	2%墙段,且不少于 5 个墙段		
		▲保护层厚度	尺寸法、钻孔或剔凿尺寸法		☆
		混凝土强度和耐久性验证性检测	芯样电通量法或芯样快速氯离子迁移系数法	2%墙段,且不少于 3 个墙段	
		抗水渗透性能	芯样逐级加压法	■2%墙段,且不少于 3 个墙段	
		抗冻融性能	芯样气泡间距系数观测法	□2%墙段,且不少于 5 个墙段	
		芯样快速冻融法	□1%墙段,且不少于 3 个墙段		
	外观质量	▲鼓包、露筋、夹渣和空洞等缺陷	目测、摄录法和尺量法	100%墙段	
		▲渗漏水	目测、摄录法或调查检测法	100%水上墙段	
		▲平整度	靠尺和钢直尺或楔形塞尺测量法	20%墙段	
接头质量检测	混凝土质量	CSL 法	1%接头,且不少于 3 个接头	☆	
	外观质量	▲相邻墙段错位	钢直尺测量法		
		▲漏砂和空洞等缺陷	目测、摄录法和尺量法	100%接头	
		▲渗漏水	目测、摄录法或调查检测法	100%水上接头	

注：带“▲”检测项目和检测方法必选，其他为可选；带“△”检测方法为在混凝土质量检测时在钻孔基础上选做；带“☆”所对应检测项目可根据工程具体情况选做，检测数量可取永久结构检测数量或根据实际情况确定；带“■”检测数量为以同一抗渗等级混凝土配合比且同一年度施工墙段个数为基数的抽检数量；带“□”检测数量为以同一抗冻等级混凝土配合比且同一年度施工墙段个数为基数的抽检数量。

2 成槽质量检测的技术

2.1 检测技术

声波反射法：成槽时，通过探头发射并接收反射超声波，垂直连续测量各深度的槽宽（水平截面的短方向距离），绘制槽壁及接头壁形态图，对槽宽、槽深、垂直度及接头壁垂直度进行检测的方法。声波反射法成槽质量检测原理见图 1。

槽宽 d 为 l_1 、 d' 与 l_2 之和，按式(1)进行计算：

$$d = d' + \frac{v_s(t_1 + t_2)}{2} \quad (1)$$

式中： d 为实测槽宽，mm； d' 为两方向相反换能器的反射（接收）面之间的距离，mm； v_s 为超声波在泥浆中声速，km/s； t_1 、 t_2 分别为传感器两面的实测声时， μs 。

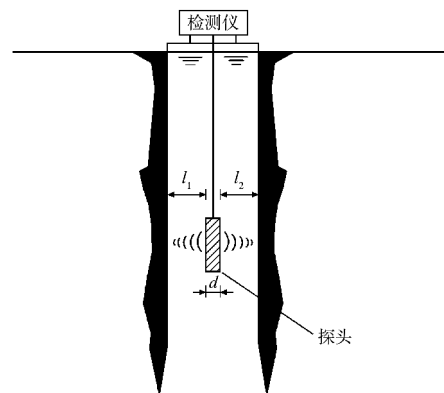


图 1 声波反射法成槽质量检测原理

Fig. 1 Principle of the trenching quality testing by sonic reflection method

成槽质量检测是地连墙施工过程中重要环节，现在声波反射法检测地连墙成槽质量的方法已经得到广泛应用，不仅可输出清晰的槽壁图像，而且减少工作时间、降低工程费用，有助于改善成

槽质量，从施工伊始，就切实达到精准控制、精细化管理。有关地连墙成槽质量检测的技术标准见表2。

表2 地连墙成槽质量检测技术标准
Tab.2 Technical standards for trench quality testing of diaphragm walls

标准名称、代号和编号	发布时间	实施时间	声波反射法章节
现行广西壮族自治区工程建设地方标准 DBJ/T 45-023—2016《地下连续墙检测技术规程》 ^[46]	2016年8月8日	2016年11月1日	4成槽质量检测
现行河南省工程建设地方标准 DBJ41/T 189—2017《地下连续墙检测技术规程》 ^[47]	2018年1月15日	2018年2月1日	4声波反射法
现行上海市工程建设规范 DG/TJ 08-218—2017《建筑地基与桩基检测技术规程》 ^[48]	2017年11月6日	2018年5月1日	附录B 地下连续墙成槽检测要点
现行中国工程建设标准化协会标准 T/CECS 597—2019《地下连续墙检测技术规程》 ^[49]	2019年6月26日	2019年12月1日	4成槽质量检测
现行山西省工程建设地方标准 DBJ04/T 394—2019《钻孔灌注桩成孔与地下连续墙成槽检测技术规程》 ^[50]	2019年12月21日	2020年3月1日	4超声波法
现行天津市工程建设地方标准 DB/T 29-112—2021《天津市钻孔灌注桩成孔、地下连续墙成槽检测技术规程》 ^[51]	2021年9月22日	2021年11月1日	4超声波法
现行江苏省地方标准 DB32/T 4115—2021《钻孔灌注桩成孔、地下连续墙成槽质量检测技术规程》 ^[52]	2021年9月16日	2022年3月1日	5超声波法
现行福建省工程建设地方标准 DBJ/T 13-224—2021《地下连续墙检测技术规程》 ^[53]	2021年12月29日	2022年3月1日	4成槽质量检测
现行江苏省地方标准 DB32/T 4629—2023《地下连续墙检测技术规程》 ^[54]	2023年12月28日	2024年6月18日	5成槽质量检测
现行交通运输部部门计量检定规程 JJG(交通)171—2021《超声式成孔质量检测仪》 ^[55]	2021年10月6日	2021年12月1日	全文

注：JJG(交通)171—2021《超声式成孔质量检测仪》的概述中指出超声式成孔质量检测仪是可用于地下连续墙成槽质量检测的设备。

根据2014年报导^[56]，唐山港曹妃甸区某杂货泊位工程采用T形地连墙码头结构形式，超声波检测仪的使用准确掌握了槽段的各项指标，并将各个槽段的独立测量数据联系在一起，指导了高质高效的施工，让相邻槽段错台尺寸及扭转偏差控制在标准规范允许的偏差值内，甚至更小的范围，保证相邻两槽段衔接处的有效墙段厚度和墙段扭转符合规范和设计要求，进而控制地连墙的整体质量。

此外，根据2025年1月22日的《关于发布中国水运建设行业协会2024年团体标准编制计划的通知》(中水协团标字[2025]4号)^[57]，《水运工程地基基础成孔、成槽检测技术规程》被列入计划。

2.2 行业管理

JTS 215—2018《码头结构施工规范》的第6.5.4.2款规定：成槽施工中应对墙体的垂直度、宽度和泥浆性能等进行检测。根据2018年4月4日的《交通运输部办公厅关于印发〈水运工程试验检

测仪器设备检定/校准指导手册〉的通知》(交办安监[2018]33号)^[58]，管理类别按仪器设备量值溯源方式分为3类，其中超声波成槽检测仪的管理类别当时属Ⅱ-2类(即无公开发布的国家或交通运输部部门计量检定规程)，由于现已有JJG(交通)171—2021《超声式成孔质量检测仪》，超声波成槽检测仪的管理类别升级为Ⅱ-1类(即有公开发布的交通运输部部门计量检定规程)。《规程》制定的内容将满足现行行业标准JT/T 1181—2018《公路水运工程试验检测等级管理要求》^[59]中试验检测代码“SYP 05005 地下连续墙成槽质量检测”对试验方法需求(SY代表水运工程，P代表工程实体与结构)。

2.3 检测数量

日本KODEN DM-684型超声波孔壁检测仪用于地连墙成槽质量检测^[60]，现在国产声波反射法成槽质量检测仪已普遍用于地连墙成槽质量检测，

不仅检测单位配备检测仪器, 施工单位也基本配备检测仪器。根据文献[42], 采用声波反射法对 100% 槽段实施成槽质量检测, 是防治地连墙质量通病的基本检测手段, 因此表 1 中规定声波反射法检测永久结构地连墙槽段成槽质量的检测数量是 100% 槽段。

3 墙段混凝土质量检测的技术

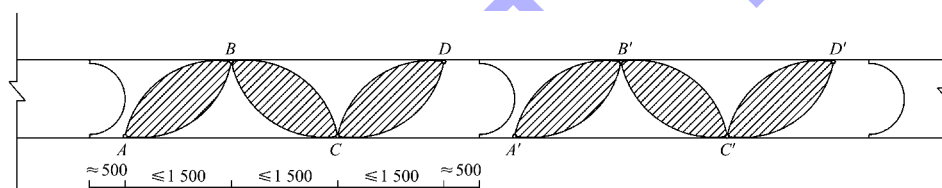
3.1 检测技术

对于桩基而言, 可选择低应变反射法、高应变法、CSL 法、钻芯法进行桩身完整性检测, 但对于地连墙而言, 低应变法、高应变法的原理不适用于地连墙, CSL 法和钻芯法检测的目的、范围等均有所区别, 两种方法不是完全相当的, 虽

然实际工程均有应用, 但钻芯法具有破损性而不宜多做, 因此主要选择 CSL 法对地连墙进行混凝土质量检测, 见表 1。CSL 法: 成墙后, 在预埋声测管之间跨孔发射并接收超声波, 通过实测声波在混凝土介质中传播的声时、幅值和频率等声学参数的相对变化, 对地连墙墙体质量进行检测的方法。采用 CSL 法时, 受检墙段应预埋声测管或成墙后钻孔作为检测通道, 建议声测管设置应符合下列规定。

1) 埋设声测管的声测线距离应根据地连墙结构实际情况确定, 且 ≤ 1.8 m。

2) 当地连墙截面为矩形时, 每受检墙段的预埋声测管 ≥ 4 个, 见图 2; 当墙段为异形(例如 T 形)时, 应适当增加预埋声测管个数。



注: A、B、C、D 为一个墙段预埋声测管位置, 检测剖面为 AB、BC、CD 剖面;
A'、B'、C'、D' 为另一个墙段预埋声测管位置, 检测剖面为 A'B'、B'C'、C'D' 剖面。

图 2 声测管设置(单位:mm)

Fig. 2 Sonic-testing tubes setup(unit: mm)

DG/TJ 08-218—2017《建筑地基与桩基检测技术规程》第 11 章超声波透射法的第 11.1.1 条中规定“本方法适用于桩径不小于 600 mm 的灌注桩的桩身完整性检测, 也适用于支护结构的灌注桩排桩、混凝土咬合桩和地连墙的桩身完整性或墙体质量的检测, 判断桩身或墙体缺陷的位置、范围和程度”及第 11.5.11 条中规定“以每幅墙内的每一个检测剖面为基本单元进行评定”。ASTM D6760-16 *Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing*^[61] 可拓展用于检查地连墙混凝土的均匀性和完整性。CSL 法检测的本质目的是对所检剖面发现缺陷的位置、范围及程度。由于水运工程地连墙码头中地连墙的特点, 不能简单等同采用桩基完整性评

价的概念, 因此提出仅对每墙段内每一个检测剖面为基本单元进行墙体混凝土质量评价的理念, 达到 CSL 法检测是发现对所检剖面可能存在缺陷的位置、范围及程度的目的, 指出有无问题, 掌控墙段混凝土质量, 判断是否正常或需要处理。墙体混凝土质量(diaphragm wall concrete homogeneity quality)是地下连续墙的结构尺寸、混凝土密实性和连续性的综合定性评价指标。

CSL 法检测的地连墙实际缺陷严重程度的判读需要结合实测声波在混凝土介质中传播的声时、幅值和频率等声学参数的相对变化的特征进行综合判断, 此外声波的接收波形变化程度见图 3, 根据检测剖面某部位声波接收波形的正常、轻微畸变、明显畸变或严重畸变的形态, 可分别判断检

测剖面某部位存在缺陷的严重程度为无缺陷、轻微缺陷、明显缺陷或严重缺陷。

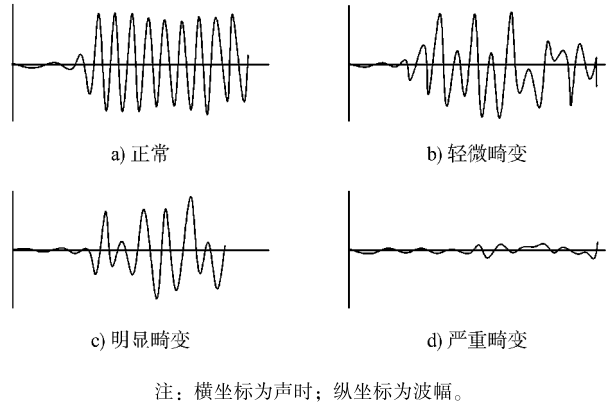


图3 声波的接收波形变化程度

Fig. 3 Variation degree of received waveform of sonic waves

全文强制的现行国家标准 GB 55003—2021《建筑与市政地基基础通用规范》^[62]的第7.4.9条规定“基坑工程施工验收检验时，地下连续墙应对混凝土强度、墙体完整性和深度进行检验”。JTS 257—2008《水运工程质量检验标准》中第2.5.1.1条规定“作为结构主体的地下连续墙在验收前应进行完整性检测”。有关地连墙墙段质量检测技术标准见表3。可以看出，JTS 239—2015《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》的“4.9地连墙混凝土缺陷检测”就有CSL法检测的规定，虽然内容相对简单，但开创了我国水运行业乃至其他建设行业实施地连墙实体混凝土质量CSL法检测与评价，并推动其发展。

表3 地连墙质量检测技术标准

Tab. 3 Technical standards for trench quality testing of diaphragm walls

标准名称、代号和编号	发布时间	实施时间	CSL法章节	钻芯法章节
JTS 239—2015《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》	2015年2月2日	2015年5月1日	4.9地连墙混凝土缺陷检测	4.9地连墙混凝土缺陷检测
DBJ/T 45-023—2016《地下连续墙检测技术规程》	2016年8月8日	2016年11月1日	5.1声波透射法	5.2钻芯法
DBJ41/T 189—2017《地下连续墙检测技术规程》	2018年1月15日	2018年2月1日	6声波透射法	7钻芯法
DG/TJ 08-218—2017《建筑地基与桩检测技术规程》 ^①	2017年11月6日	2018年5月1日	11超声波透射法	12钻孔取芯法
现行广东省标准 DBJ/T 15-60—2019《广东省建筑地基基础检测规范》 ^[63] ^②	2019年5月20日	2019年9月1日	12声波透射法	13钻芯法
T/CECS 597—2019《地下连续墙检测技术规程》	2019年6月26日	2019年12月1日	5.2声波透射法	5.3钻芯法
现行江苏省地方标准 DB32/T 3916—2020《建筑地基基础检测规程》 ^[64]	2020年12月21日	2021年5月1日	H.2墙体质量检测	H.2墙体质量检测
DBJ/T 13-224—2021《地下连续墙检测技术规程》	2021年12月29日	2022年3月1日	5.2声波透射法	5.3钻芯法
DB32/T 4629—2023《地下连续墙检测技术规程》	2023年12月28日	2024年6月18日	6.2声波透射法检测墙体质量	6.3钻芯法检测墙体质量
现行交通运输部部门计量检定规程 JJG(交通) 027—2015《水运工程 非金属声波检测仪》 ^[65]	2015年4月24日	2015年7月31日	仪器设备	-
ASTM D6760-16	2016年12月1日	-	全文	-

注：①该规程的表3.2.1指出CSL法和钻芯法可用于对地下连续墙混凝土质量的检测。

②该规范的第2.1.23条和第2.1.24条分别指出CSL法和钻芯法可用于对地下连续墙混凝土质量的检测。

3.2 行业管理

按文献[52]的规定，由于当时已有JJG(交通) 027—2015《超声式成孔质量检测仪》，非金属超声波检测仪的管理类别就属Ⅱ-1类。但国家计量检定规程JJG 990—2004《声波检测仪检定规程》^[66]至今有效，可否考虑也可以采用其进行检定/校准，

使非金属超声波检测仪的管理类别升级为Ⅰ类(即有公开发布的国家计量检定规程及校准规范)，或明确水运工程的非金属超声波检测仪仅能优先采用交通行业自有的交通运输部部门计量检定规程进行检定/校准。JT/T 1181—2018《公路水运工程试验检测等级管理要求》规定试验检测

代码“SYP 05003 基桩完整性”，而试验检测代码“SYP 05006 地下连续墙墙身质量”。《规程》制定的内容将满足 JT/T 1181—2018 中试验检测代码“SYP 05006 地下连续墙墙身质量”对试验方法要求的需求，不提对地连墙完整性检测，表明对地连墙墙身质量检测的概念是比较适宜的。

3.3 检测数量

表 1 中 CSL 法检测永久结构地连墙墙段混凝土质量的检测数量是参照现行北京市地方标准 DB11/T 1526—2018《地下连续墙施工技术规范》^[67] 中“11.2.1 实施声波透射法检测墙段数量不宜小于同等条件下总墙段数量的 20%，且不得少于 3 幅；对作为永久结构地连墙，应 100% 进行声波透射法对墙身混凝土质量进行检测”、T/CECS 597—2019《地下连续墙检测技术规范》中“5.1.3 采用声波透射法对墙体质量检测时，当地下连续墙作为永久结构时，每墙段均应进行声波透射法检测。其他受检墙段数量不应少于同条件下总墙段数的 10%，且不得少于 3 幅墙段”、DB32/T 3916—2020《建筑地基基础检测规程》中“H.2.3 采用声波透射法对墙体质量检测时，当地下连续墙作为永久结构时，每墙段均应进行声波透射法检测。其他受检墙段数量不应少于同条件下总墙段数的 20%，且不得少于 3 幅墙段”和 DB32/T 4629—2023《地下连续墙检测技术规范》中“6.2.3 采用声波透射法检测墙体质量时，用作临时结构的地下连续墙墙段检测数量应不少于总数的 20%，且不少于 4 幅，用作永久结构的地下连续墙墙段应 100% 检测”的有关内容而确定的。

以往实际工作中基本都采取类比灌注桩的检

测要求，一般仅对地连墙进行 20% 墙段 CSL 法检测，应提高对地连墙质量重要性认识，并采用 CSL 法对水运工程永久性有外露地面地连墙墙段进行 100% 检测，这是大势所趋，也是水运工程建设实现地连墙保证质量的手段之一。

此外，地连墙施工过程中，相邻两个墙段存在混凝土浇筑时间不同、地质条件变化等不确定因素，先行墙段和后继墙段的接头处可能成为结构的薄弱环节，接头处容易出现施工死角，混凝土不能有效填充，易出现夹砂、夹泥等情况，因此需要对接头混凝土质量进行检测，见表 1。

4 钢筋笼长度检测的技术

4.1 检测技术

钢筋笼长度检测的方法有：磁测井法、充电法以及瞬变电磁法，但国内主流的检测方法为磁测井法。该方法是在在地连墙中或其旁侧土体中成孔，通过测量磁场垂直分量沿孔深方向的变化，对墙体中钢筋笼长度进行检测的方法。它是一种地球物理测井方法，用以寻找测井周围磁性体并研究其分布和规模等的方法。地连墙质量涉及混凝土及钢筋两部分，除墙段混凝土质量外，墙段内的钢筋笼长度和保护层厚度是否符合要求，也关系地连墙整体质量的好坏。由于现浇地连墙表面平整度的影响，墙段保护层厚度的检测一般尺寸量法、钻孔或剔凿尺寸量法进行检测，见表 1。有关钢筋笼长度检测技术标准见表 4，虽然其中没有单独的地连墙内钢筋笼长度的技术标准，但磁测井法检测基桩和地连墙内钢筋笼长度的原理相通，因此它们的检测方法类同。

表 4 钢筋笼长度检测技术标准

Tab. 4 Technical standard for testing of reinforcement cage length

标准名称、代号和编号	发布时间	实施时间	磁测井法章节
现行浙江省工程建设标准 DB33/T 1094—2013《基桩钢筋笼长度磁测井法探测技术规程》 ^[68]	2013 年 11 月 25 日	2014 年 1 月 1 日	全文
现行广东省交通运输行业地方标准 GDJTG/T G01—2014《建设工程灌注桩钢筋长度检测技术指南(试行)》 ^[69]	2014 年 6 月 27 日	2014 年 6 月 27 日	4 磁测井法
现行天津市工程建设标准 DB/T 29-38—2015《建筑基桩检测技术规程》 ^[70]	2015 年 4 月 24 日	2015 年 7 月 1 日	附录 B 磁测井法检测钻孔灌注桩钢筋笼长度要点

续表4

标准名称、代号和编号	发布时间	实施时间	磁测井法章节
现行安徽省地方标准 DB34/T 5081—2018《基桩钢筋笼长度检测技术规程》 ^[71]	2018年5月31日	2018年10月1日	5 磁测井法
现行建工行业标准 JGJ/T 422—2018《既有建筑地基基础检测技术标准》 ^[72]	2018年3月19日	2018年11月1日	6.6 磁测桩法
现行建工行业标准 JGJ/T 152—2019《混凝土中钢筋检测技术标准》 ^[73]	2019年6月18日	2020年2月1日	9 基桩钢筋笼长度检测(第9.1.1条“基桩钢筋笼长度可采用磁测井法检测”)
现行山西省工程建设地方标准 DBJ04/T 395—2019《灌注桩钢筋笼长度磁测井法检测技术标准》 ^[74]	2019年12月21日	2020年3月1日	全文
现行河北省地方标准 DB13/T 5191—2020《公路桥梁基桩钢筋笼长度电磁法检测规程》 ^[75]	2020年6月28日	2020年7月28日	3 磁测井法
现行广西壮族自治区工程建设地方标准 DBJ/T 45-100—2020《磁测井法测试既有基桩钢筋笼长度技术规程》 ^[76]	2020年5月15日	2020年8月1日	全文
现行天津市地方标准 DB12/T 1122—2022《桥梁基桩检测技术规程》 ^[77]	2022年6月13日	2022年7月15日	14 磁测井法
现行江苏省地方标准 DB32/T 4397—2022《钢筋混凝土桩中钢筋笼长度检测技术规程》 ^[78]	2022年11月17日	2023年5月1日	5 磁测井法
现行福建省工程建设地方标准 DBJ/T 13-235—2024《福建省磁测井法检测基桩钢筋笼长度技术规程》 ^[79]	2024年12月9日	2025年4月1日	全文
现行交通运输部部门计量检定规程 JJG(交通)175—2021《钢筋笼长度磁法检测仪》 ^[80]	2021年10月6日	2021年12月1日	仪器设备

注：DBJ/T 13-235—2024 的条文说明第 1.0.2 条指出标准适用范围包括地下连续墙内钢筋笼长度的检测。

4.2 行业管理

按文献[58]的规定，由于现已有 JJG(交通)175—2021《钢筋笼长度磁法检测仪》，钢筋笼测定仪的管理类别应从 II-2 类升级为 II-1 类。《规程》制定的内容将满足 JT/T 1181—2018 中试验检测项目代码“SYP 05 基桩与地下连续墙”中试验检测代码“SYP 05007 钢筋笼长度”对试验方法要求的需求，同时表明对基桩与地连墙都要进行钢筋笼长度的检测。

4.3 检测数量

一般情况下，有 3 种情况但不限于此需要对地连墙中的钢筋笼长度进行检测：1) 需要复核和验证钢筋笼长度的地连墙；2) 施工记录缺失或不准确可能影响质量的地连墙；3) 施工质量有疑问的地连墙。

《规程》引入钢筋笼长度检测技术的相关要求，有备无患，对现浇地连墙将避免由于工后检测技术的缺失而可能成为偷工减料、瞒天过海的事件发生，按表 1 相关规定执行。

5 结语

1) 地连墙码头中的地连墙既不同于地基基础也不同于桩基，尤其前墙迎水面的永久隐蔽性，为保证其安全性、耐久性及使用性，不应简单的借鉴地基基础或桩基检测数量，而应从施工开始就应加大检测力度，具体见表 1 相关规定，着重对永久性结构的地下连续墙成槽质量和有外露面墙段混凝土质量进行 100% 的 CSL 法检测，做到精准控制，也是内外驱动力的必然结果。

2) 成槽质量检测、墙段混凝土质量检测和钢筋笼长度检测所用主要仪器设备均已分别有相应仪器设备的现行行业检定规程 JJG(交通)171—2021《超声式成孔质量检测仪》、JJG(交通)027—2015《水运工程 非金属声波检测仪》和 JJG(交通)175—2021《钢筋笼长度磁法检测仪》，仪器设备有了技术保障。

3) 《规程》提供了满足水运工程质量检测机构按 2024 年 8 月 1 日交通运输部办公厅公开的《关于做好公路水运工程质量检测机构资质评审有关

工作的通知》(交办安监函〔2024〕1432号)^[81]要求地连墙检测能力所需的试验检测方法。

4) 随着交通强国建设的发展,推进共建“一带一路”倡议的高质量实施,具有水运工程特点的工程再继续使用其他行业或地方标准的检测规定已不适宜,《规程》推荐了相关的检测项目、方法及数量,尤其对永久性结构的地连墙成槽质量和有外露墙段混凝土质量进行100%的检测,将有效从施工起步阶段开始至最终产品状态的质量控制,补充了我国水运行业地连墙检测技术标准,势必推进具有中国特色的“中国制造-地下连续墙码头”的品牌建设发展。

参考文献:

- [1] 刘树勋. 国外地下连续墙发展概况[J]. 港工技术通讯, 1981(S1): 64-78.
LIU S X. Overview of the development of diaphragm walls abroad[J]. Port engineering technology reporting, 1981(S1): 64-78.
- [2] 中交天津港湾工程研究院有限公司. 筑港科研五十年: 中交天津港湾工程研究院有限公司发展史 1959—2009[R]. 天津: 中交天津港湾工程研究院有限公司, 2009.
CCCC Tianjin Port Engineering Institute Co., Ltd. Fifty years of scientific research in port construction: history of CCCC Tianjin Port Engineering Institute Co., Ltd. from 1959 to 2009[R]. Tianjin: CCCC Tianjin Port Engineering Institute Co., Ltd., 2009.
- [3] 交通部第一航务工程局设计研究院钻二组. 我们是如何搞成地下连续墙的[J]. 港工技术通讯, 1977(5): 64-69.
Second Drilling Team of the Design and Research Institute of the First Navigation Engineering Bureau of the Ministry of Transportation. How did we make it diaphragm walls[J]. Port engineering technology reporting, 1977(5): 64-69.
- [4] 孙家明. 单锚式地下连续墙三种计算方法的比较[J]. 港工技术通讯, 1978(2): 72-81.
SUN J M. Comparison of three calculation methods for single-anchor diaphragm walls [J]. Port engineering technology reporting, 1978(2): 72-81.
- [5] DE GIJT. A history of quay wall design, techniques, types, costs and future [D]. Delft: Delft University of Technology, 2010.
- [6] WERNSEN J P. The Euromax quay wall: a durable construction[C]//12th Triannual International Conference Ports 2010: Building on the Past, Respecting the Future. Reston: ASCE, 2010: 357-364.
- [7] Maritime structures: part 2: design of quay walls, jetties and dolphins: BS 6349: part 2: 1988 [S]. London: BSI, 1988.
- [8] 中国港湾建设总公司. 海工建筑物 第二分册 码头、栈桥和系靠船墩设计[R]. 北京: 中国港湾建设总公司, 1991.
China Harbour Engineering Company. Maritime structures: part 2: design of quay walls, jetties and dolphins [R]. Beijing: China Harbour Engineering Company, 1991.
- [9] 王成环. 挖入式港池采用地连墙结构码头的施工实践[J]. 中国港湾建设, 2000(4): 6-14.
WANG C H. Practice of building wharves of diaphragm walling indug-in harbour basin [J]. China harbour engineering, 2000(4): 6-14.
- [10] 齐开珊. 多头潜水钻机在京唐港地下连续墙工程中的应用[J]. 港口工程, 1996(6): 45-47.
QI K S. The application of Multi-head submersible drilling rig in the diaphragm walls project of Jingtang Port[J]. Harbour engineering, 1996(6): 45-47.
- [11] 水运工程施工标准化示范创建工作指导组. 水运工程施工标准化建设指南 施工工艺篇(码头工程)[M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
Guidance Group for the Demonstration Creation of Standardization in Port & Waterway Engineering construction. Guidelines for standardized construction of port & waterway engineering construction technology section (wharf project) [M]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2018.
- [12] 王成环. 唐山港京唐港区是地连墙码头结构研究与应用的大型基地[J]. 港工技术, 2005(S1): 25-29.
WANG C H. Jingtang Port, large base for study & application of diaphragm wall wharf structure [J]. Port engineering technology, 2005(S1): 25-29.
- [13] 蔡正银, 侯伟, 周健, 等. 20万吨级卸荷式板桩码头数值分析[J]. 岩土工程学报, 2015, 37(2): 218-224.

- CAI Z Y, HOU W, ZHOU J, et al. Numerical analysis of 200000-tonnage sheet-pile wharf with relieving platform[J]. Chinese journal of geotechnical engineering, 2015, 37(2): 218-224.
- [14] 王雅丽. 京唐港区 36#泊位成功完成首次 25 万吨级船舶减载靠泊作业[EB/OL]. (2025-03-06) [2025-06-13]. https://tangshan.huanbohainews.com.cn/2025-03/06/content_50416049.html.
- WANG Y L. The No. 36 berth in Jingtang Port Area successfully completed the first unloading and berthing operation of a 250, 000-ton class vessel. [EB/OL]. (2025-06-13) [2025-03-06]. https://tangshan.huanbohainews.com.cn/2025-03/06/content_50416049.html.
- [15] 钟增泽. 深水地下连续墙板桩码头的施工技术[J]. 珠江水运, 2024(23): 145-147.
- ZHONG Z Z. Construction technology of deep water diaphragm walls piled wharf [J]. Zhujiang water transport, 2024(23): 145-147.
- [16] 张曰瑞. 地连墙结构码头施工工艺综述[J]. 中国水运, 2016, 16(7): 246-247.
- ZHANG Y R. A review of the construction technology of diaphragm walls structure wharf [J]. China water transport, 2016, 16(7): 246-247.
- [17] 焦绪学. T 型地下连续墙在码头结构中的应用[J]. 水运工程, 2010(6): 41-44, 48.
- JIAO X X. Application of T-shaped diaphragm wall in quay structure [J]. Port & waterway engineering, 2010(6): 41-44, 48.
- [18] 胡家顺, 李新国, 卢昭. 桩基地连墙码头结构新形式应用与研究[J]. 水运工程, 2011(9): 165-169.
- HU J S, LI X G, LU Z. On wharf structure with pile and diaphragm wall [J]. Port & waterway engineering, 2011(9): 165-169.
- [19] 龙吉君, 姚翔川, 蒋为杰. 大型地连墙板桩码头港池干开挖施工技术浅析[J]. 珠江水运, 2019(2): 73-75.
- LONG J J, YAO X C, JIANG W J. A brief analysis for dry excavation construction technology for large-scale harbor basin of underground diaphragm walls piled wharf[J]. Pearl River water transport, 2019(2): 73-75.
- [20] 刘永绣, 吴荔丹, 李元音. 一种新型码头结构型式: 半遮帘式深水板桩码头结构的推出[J]. 港工技术, 2002(1): 15-18.
- LIU Y X, WU L D, LI Y Y. A new type of wharf structure: the structure of semi-covered type of deep water sheet pile wharf[J]. Port engineering technology, 2002(1): 15-18.
- [21] 王成环, 董文才. 浅谈科技建港: 写在京唐港跻身国家大港行列之际[J]. 港工技术, 2002(1): 6-8.
- WANG C H, DONG W C. Simple talk on the scientific and technical construction of port: writing at the time of Jingtang Port ranking the large Port of our country[J]. Port engineering technology, 2002(1): 6-8.
- [22] 边超, 于连娜. 地连墙板桩码头结构研究探讨[J]. 中国水运, 2021(1): 93-95.
- BIAN C, YU L N. Research and discussion on the structure of diaphragm walls sheet pile wharf[J]. China water transport, 2021(1): 93-95.
- [23] 矫阳. 我国首创用板桩结构建 10 万吨级及以上码头技术[N]. 科技日报, 2013-05-13(12).
- JIAO Y. China has pioneered the technology of building 100, 000-ton and above wharves using sheet piled structures [N]. Science and technology daily, 2013-05-13(12).
- [24] 中国港口协会. 首届“中国港口协会科学技术奖”评审结果公告[J]. 港口科技, 2007(12): 3-7.
- China Ports & Harbours Association. Announcement of the results of the first “China Ports & Harbours Association Science and Technology award” review[J]. Port science & technology, 2007(12): 3-7.
- [25] 中国水运建设行业协会. 关于表彰 2011 年度中国水运建设行业协会科学技术奖获奖项目的决定: 中水协字[2011]153 号[R/OL]. (2011-10-30) [2025-06-13]. <https://www.cwtca.org.cn/site/content/19932.html>.
- China Water Transportation Construction Association. Decision on commending the award-winning projects of the 2011 China Water Transportation Construction Association science and technology award (submit a CWTCa letter[2011]No. 153) [R/OL]. (2011-10-30) [2025-06-13]. <https://www.cwtca.org.cn/site/content/19932.html>.
- [26] 蔡正银, 刘永绣, 关云飞, 等. 20 万吨级深水板桩码头结构开发[J]. 港口科技, 2016(2): 4-7, 19.
- CAI Z Y, LIU Y X, GUAN Y F, et al. Development of 200 000-tonnage sheet pile wharf structure [J]. Port

- science & technology, 2016(2): 4-7, 19.
- [27] 关云飞. 深水板桩码头新结构关键技术研究与应用: 获 2017 年度国家科学技术进步奖二等奖[J]. 水运工程学报, 2018(2): 120.
GUAN Y F. Research and application of key technologies for new structures of deep water sheet pile wharves- Won the second prize of the national science and technology progress award in 2017 [J]. Hydro-science and engineering, 2018(2): 120.
- [28] 板桩码头设计与施工规范: JTJ 292—1998[S]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
Code for design and construction for quay wall of sheet pile: JTJ 292-1998 [S]. Beijing: China Communications Press, 1998.
- [29] 港口工程质量检验评定标准: JTJ 221—1998[S]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
Standard for quality inspection and assessment of port engineering construction: JTJ 221-1998 [S]. Beijing: China Communications Press, 1998.
- [30] 港口工程混凝土结构设计规范: JTJ 267—1998[S]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
Design code for harbour engineering concrete structures: JTJ 267-1998 [S]. Beijing: China Communications Press, 1998.
- [31] 京唐港地连墙码头工程质量检验评定标准[S]. [出版地不详]: [出版者不详], 2001.
Standard of quality inspection and assessment for diaphragm wall quay construction of Jingtang Port [S]. [s. l.]: [s. n.], 2001.
- [32] 港口工程地下连续墙结构设计与施工规程: JTJ 303—2003[S]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
Design and construction technical code for diaphragm wall structure of port engineering: JTJ 303-2003 [S]. Beijing: China Communications Press, 2003.
- [33] 港口工程质量检验评定标准: JTJ 221—1998[S]. 局部修订版. 北京: 人民交通出版社, 2004.
Standard for quality inspection and assessment of port engineering construction: JTJ 221-1998 [S]. Supplement ed. Beijing: China Communications Press, 2004.
- [34] 水运工程质量检验标准: JTS 257—2008[S]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
Standard for quality inspection of port and waterway engineering construction: JTS 257-2008 [S]. Beijing: China Communications Press, 2008.
- [35] 板桩码头设计与施工规范: JTS 167-3—2009[S]. 北京: 人民交通出版社, 2009.
Code for design and construction for quay wall of sheet pile: JTS 167-3-2009[S]. Beijing: China Communications Press, 2009.
- [36] 水运工程混凝土结构设计规范: JTS 151—2011[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
Design code for concrete structures of port and waterway engineering: JTS 151-2011 [S]. Beijing: China Communications Press, 2011.
- [37] 水运工程混凝土结构实体检测技术规程: JTS 239—2015[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.
Technical specification for solid inspection of concrete structure in port and waterway engineering: JTS 239-2015 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2015.
- [38] 码头结构设计规范: JTS 167—2018[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
Design code for wharf structures: JTS 167-2018 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2018.
- [39] 码头结构施工规范: JTS 215—2018[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
Construction code for wharf structures: JTS 215-2018[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2018.
- [40] 刘永绣. 板桩和地下墙码头的设计理论和方法[M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.
LIU Y X. Design theories and methods for wharfs with sheet piles and diaphragms [M]. Beijing: China Communications Press, 2006.
- [41] 刘美山. 地连墙质量优化措施[J]. 水运工程, 2020(8): 213-216.
LIU M S. Optimization measures for quality of diaphragm wall[J]. Port & waterway engineering, 2020(8): 213-216.
- [42] 于泳, 葛兵. 深水地连墙板桩码头质量通病的防治[J]. 港工技术, 2017, 54(3): 80-82, 92.
YU Y, GE B. Prevention of deepwater sheet pile berth supported on concrete diaphragm wall from common quality defects[J]. Port engineering technology, 2017, 54(3): 80-82, 92.

- [43] 陆俊,胡少伟,范向前. 20万吨级深水板桩码头新结构质量检测技术[J]. 水运工程, 2015(9): 59-64.
LU J, HU S W, FAN X Q. Quality inspection technique for new structures of 200 000 DWT sheet pile wharf[J]. Port & waterway engineering, 2015(9): 59-64.
- [44] 交通运输部办公厅. 交通运输部办公厅关于下达2021年度新立项水运工程建设标准编制计划的通知: 交办水函〔2021〕929号〔R/OL〕. (2021-06-08) [2025-06-13]. https://xxgk.mot.gov.cn/jigou/syj/202106/t20210630_3610858.html.
General Office of the Ministry of Transport. Notice of the General Office of the Ministry of Transport on the allocation of the 2021 plan for the compilation of construction standards for newly approved port and waterway engineering projects: submit a water transport letter〔2021〕No. 929〔R/OL〕. (2021-06-08) [2025-06-13]. https://xxgk.mot.gov.cn/jigou/syj/202106/t20210630_3610858.html.
- [45] 李俊毅,刘佳东,毕文香,等. 水运工程地连墙检测项目及数量的建议[J]. 华北交通工程, 2023(3): 10-17.
LI J Y, LIU J D, BI W X, et al. Suggestions on the inspection items and quantities of diaphragm walls in port and waterway engineering [J]. North China transport engineering, 2023(3): 10-17.
- [46] 地下连续墙检测技术规程: DBJ/T 45-023—2016[S]. 南宁: 广西工程建设标准化协会, 2016.
Technical specification for testing of diaphragm wall: DBJ/T 45-023-2016[S]. Nanning: Guangxi Association for Engineering Construction Standardization, 2016.
- [47] 地下连续墙检测技术规程: DBJ41/T 189—2017[S]. 郑州: 黄河水利出版社, 2018.
Technical specification for testing of diaphragm wall: DBJ41/T 189-2017[S]. Zhengzhou: the Yellow River Water Conservancy Press, 2018.
- [48] 建筑地基与桩基检测技术规程: DG/TJ 08-218—2017[S]. 上海: 同济大学出版社, 2018.
Technical specifications for testing of building foundation and piles: DG/TJ 08-218-2017[S]. Shanghai: Tongji University Press, 2018.
- [49] 地下连续墙检测技术规程: T/CECS 597—2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
Technical specification for testing of diaphragm wall: T/CECS 597-2019[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019.
- [50] 钻孔灌注桩成孔与地下连续墙成槽检测技术规程: DBJ04/T 394—2019[S]. 北京: 中国建材工业出版社, 2020.
Technical specification for the testing of the drilling hole of cast-in-place pile and the groove of diaphragm wall: DBJ04/T 394-2019[S]. Beijing: China Building Materials Industry Press, 2020.
- [51] 天津市钻孔灌注桩成孔、地下连续墙成槽检测技术规程: DB/T 29-112—2021[S]. 天津: 天津市住房和城乡建设委员会, 2021.
Technical specification for the testing of the drilling hole of cast-in-place pile and the groove of diaphragm wall in Tianjin: DB/T 29-112-2021[S]. Tianjin: Tianjin Housing and Urban-Rural Construction Commission, 2021.
- [52] 钻孔灌注桩成孔、地下连续墙成槽质量检测技术规程: DB32/T 4115—2021[S]. 南京: 江苏凤凰科学技术出版社, 2021.
Technical specification for testing of boreholes of cast-in-place piles and diaphragm walls: DB32/T 4115-2021[S]. Nanjing: Jiangsu Phoenix Science and Technology Press, 2021.
- [53] 地下连续墙检测技术规程: DBJ/T 13-224—2021[S]. 福州: 福建省住房和城乡建设厅, 2021.
Standard for testing of diaphragm wall: DBJ/T 13-224-2021[S]. Fuzhou: Fujian Provincial Department of Housing and Urban-Rural Development, 2021.
- [54] 地下连续墙检测技术规程: DB32/T 4629—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2024.
Technical code of practice for testing of diaphragm wall: DB32/T 4629-2023[S]. Beijing: China Standards Press, 2024.
- [55] 超声式成孔质量检测仪: JJG(交通)171—2021[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2021.
Ultrasonic hole forming quality detector: JJG(transport) 171-2021[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2021.
- [56] 刘佳东,李良刚. 超声波检测仪在地下连续墙施工控制中的应用[J]. 港工技术, 2014, 51(2): 59-61.
LIU J D, LI L G. Application of Ultrasonic detector in

- control of elevation deviation between adjacent grooves of concrete diaphragm wall [J]. Port engineering technology, 2014, 51(2): 59-61.
- [57] 中国水运建设行业协会. 关于发布中国水运建设行业协会 2024 年团体标准编制计划的通知: 中水协团标字[2025]4 号[R]. 北京: 中国水运建设行业协会, 2025.
China Water Transportation Construction Association. Notice on issuing the 2024 group standard compilation plan of the China Water Transportation Construction Association: Zhongshuixie Tuanbiaozi [2025]No. 4 [R]. Beijing: China Water Transportation Construction Association, 2025.
- [58] 交通运输部办公厅. 交通运输部办公厅关于印发《水运工程试验检测仪器设备检定/校准指导手册》的通知: 交办安监[2018]33 号[R/OL]. (2018-04-04) [2025-06-13]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/aqyzjlglj/202006/t20200623_3316407.html#.
General Office of the Ministry of Transport. Notice of the General Office of the Ministry of Transport on printing and distributing the *Guidance Manual for Verification/Calibration of Port and Waterway Engineering Test and Inspection Instruments and Equipment*: submit a safety supervision letter[2018] No. 33 [R/OL]. (2018-04-04) [2025-06-13]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/aqyzjlglj/202006/t20200623_3316407.html#.
- [59] 公路水运工程试验检测等级管理要求: JT/T 1181—2018[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
Requirement of grade management for highway & waterway engineering testing and inspection: JT/T 1181-2018 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2018.
- [60] 刘华. KODEN DM-684 型超声波孔壁检测仪在地下连续墙施工中的应用[J]. 中国港湾建设, 2012(3): 60-61.
LIU H. Application of KODEN DM-684 ultrasonic borehole detector in underground diaphragm walls [J]. China harbour engineering, 2012(3): 60-61.
- [61] Standard test method for integrity testing of concrete deep foundations by ultrasonic crosshole testing: ASTM D6760-16[S]. West Conshohocken: ASTM, 2017.
- [62] 建筑与市政地基基础通用规范: GB 55003—2021[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.
General code for foundation engineering of building and municipal projects: GB 55003-2021 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2021.
- [63] 广东省建筑地基基础检测规范: DBJ/T 15-60—2019[S]. 北京: 中国城市出版社, 2019.
Code for testing of building foundation: DBJ/T 15-60-2019 [S]. Beijing: China City Press, 2019.
- [64] 建筑地基基础检测规程: DB32/T 3916—2020[S]. 南京: 江苏凤凰科学技术出版社, 2021.
Technical code for proof testing of foundations for building: DB32/T 3916-2020 [S]. Nanjing: Jiangsu Phoenix Science and Technology Press, 2021.
- [65] 水运工程 非金属声波检测仪: JJG(交通)027—2015[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.
Water transport engineering-nonmetal ultrasonic detector: JJG(transport)027-2015 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2015.
- [66] 声波检测仪检定规程: JJG 990—2004[S]. 北京: 中国计量出版社, 2005.
Verification regulation for acoustic detector: JJG 990-2004 [S]. Beijing: China Measurement Press, 2005.
- [67] 地下连续墙施工技术规程: DB11/T 1526—2018[S]. 北京: 北京市住房和城乡建设委员会, 2018.
Technical specifications for construction of diaphragm wall: DB11/T 1526-2018 [S]. Beijing: Beijing Municipal Commission of Housing and Urban-Rural Development, 2018.
- [68] 基桩钢筋笼长度磁测井法探测技术规程: DB33/T 1094—2013[S]. 杭州: 浙江省住房和城乡建设厅, 2013.
Technical code for magnetic logging prospecting and testing of reinforcement cage length in foundation pile: DB33/T 1094-2013 [S]. Hangzhou: Zhejiang Provincial Municipal Commission of Housing and Urban-Rural Development, 2013.
- [69] 建设工程灌注桩钢筋长度检测技术指南(试行): GDJTG/T G01—2014[S]. 广州: 广东省交通运输厅, 2014.
Technical guide for testing of reinforcement length in cast-in-situ reinforced concrete piles(trial implementation): GDJTG/T G01-2014 [S]. Guangzhou: Department of Transport of Guangdong Province, 2014.

- [70] 建筑基桩检测技术规程: DB/T 29-38—2015 [S]. 天津: 天津市住房和城乡建设委员会, 2015.
Technical specification for testing of building foundation piles: DB/T 29-38-2015 [S]. Tianjin: Tianjin Housing and Urban-Rural Construction Commission, 2015.
- [71] 基桩钢筋笼长度检测技术规程: DB34/T 5081—2018[S]. 合肥: 安徽省工程建设标准设计办公室, 2018.
Technical specification for length detection of reinforcement cage of pile: DB34/T 5081-2018 [S]. Hefei: Anhui Provincial Engineering Construction Standard Design Office, 2018.
- [72] 既有建筑地基基础检测技术标准: JGJ/T 422—2018[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
Technical standard for testing of existing building foundation: JGJ/T 422-2018[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2018.
- [73] 混凝土中钢筋检测技术标准: JGJ/T 152—2019 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
Technical standard for test of reinforcing steel bar in concrete: JGJ/T 152-2019 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019.
- [74] 灌注桩钢筋笼长度磁测井法检测技术标准: DBJ04/T 395—2019 [S]. 北京: 中国建材工业出版社, 2020.
Technical standard for detection of reinforcement cage length in cast-in-situ pile by magnetic logging method: DBJ04/T 395-2019 [S]. Beijing: China Building Materials Industry Press, 2020.
- [75] 公路桥梁基桩钢筋笼长度电磁法检测规程: DB13/T 5191—2020[S]. 石家庄: 河北省交通运输厅, 2020.
Specification for testing of reinforcement cage length in highway bridge foundation piles by electromagnetic method: DB13/T 5191-2020 [S]. Shijiazhuang: Department of Transportation of Hebei Province, 2020.
- [76] 磁测井法测试既有基桩钢筋笼长度技术规程: DBJ/T 45-100—2020[S]. 南宁: 广西壮族自治区住房和城乡建设厅, 2020.
Technical specification for testing of reinforcement cage length of existing foundation piles by magnetic logging method: DBJ/T 45-100-2020 [S]. Nanning: Guangxi Zhuang Autonomous Region Department of Housing and Urban-Rural Development, 2020.
- [77] 桥梁基桩检测技术规程: DB12/T 1122—2022 [S]. 天津: 天津市交通运输委员会, 2022.
Technical specifications for foundation piles testing of bridge engineering: DB12/T 1122-2022 [S]. Tianjin: Tianjin Municipal Transportation Commission, 2022.
- [78] 钢筋混凝土桩中钢筋笼长度检测技术规程: DB32/T 4397—2022[S]. 南京: 东南大学出版社, 2023.
Technical code for testing of reinforcement length in reinforced concrete piles: DB32/T 4397-2022[S]. Nanjing: Southeast University Press, 2023.
- [79] 福建省磁测井法测试基桩钢筋笼长度技术规程: DBJ/T 13-235—2024[S]. 福州: 福建省住房和城乡建设厅, 2024.
Technical specification for testing of reinforcement cage length of foundation piles by magnetic logging building in Fujian: DBJ/T 13-235-2024 [S]. Fuzhou: Fujian Provincial Department of Housing and Urban-Rural Development, 2024.
- [80] 钢筋笼长度磁法检测仪: JJG(交通)175—2021 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2021.
Magnetic method instrument for reinforcement cage length: JJG (transport) 175-2021 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2021.
- [81] 交通运输部办公厅. 交通运输部办公厅关于做好公路水运工程质量检测机构资质评审有关工作的通知: 交办安监函[2024]1432号 [R/OL]. (2024-08-01) [2025-06-13]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/aqyzjlglj/202408/t20240801_4145718.html.
General Office of the Ministry of Transport. Notice of the General Office of the Ministry of Transport on the qualification evaluation of highway and water transport engineering quality inspection institutions: submit a safety supervision letter [2024]: No. 1432 [R/OL]. (2024-08-01) [2025-06-13]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/aqyzjlglj/202408/t20240801_4145718.html.

(本文编辑 王璁)