

# 水运工程地连墙检测项目及数量的建议

李俊毅<sup>1,2,3</sup>, 刘佳东<sup>4</sup>, 毕文香<sup>5</sup>, 郑建民<sup>6,7</sup>, 李晓明<sup>2</sup>

(1. 中交天津港湾工程研究院有限公司; 2. 中交第一航务工程局有限公司; 3. 天津港湾工程质量检测中心有限公司;  
4. 河北省水运工程质量安全监督局; 5. 唐山港兴工程管理有限公司; 6. 中交第一航务工程勘察设计院有限公司;  
7. 天津深基工程有限公司)

**摘要:** 地下连续墙技术起源至今已 100 余 a, 我国港口地下连续墙起步近 50 a, 采用地下连续墙技术建设板桩码头约 35 a, 从 1.5 万吨级发展到 20 万吨级。为适应地下连续墙板桩码头设计、施工及工程质量检验的需要, 交通运输部先后发布了诸多相关规范, 但对检测要求的规定不够充分。水运工程码头及岸壁的现浇地下连续墙板桩码头迎水面具有永久隐蔽性的特点, 将其通过标准化的试验检测方法和步骤来实施检测, 主要对永久性地下连续墙成槽质量及墙段混凝土质量进行 100% 的检测, 实现精准控制及精细管理, 为建设成经得起考验的百年工程护航, 促进水运建设高质量可持续发展, 提升“中国制造——地下连续墙板桩码头”的品牌建设。

**关键词:** 水运工程; 地下连续墙; 检测项目; 检测数量

## 0 引言

地下连续墙技术起源于欧洲, 1920 年德国就出现根据打井和石油钻井使用泥浆和水中浇注混凝土的方法而发展起来的专利。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<sup>[1]</sup>。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。世界各国基本一样, 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的, 现成为地下工程和深基础施工中有效的技术。

1976 年 7 月 28 日河北唐山发生强烈地震, 造成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, 威胁着九号船台的安全。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来拦住滑坡。经研究决定, 采用地连墙来解决滑坡问题。为此, 交通部第一航务工程局设计研究院钻探二组经一年多的努力, 创造了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, 做成了 1 100 m 的地连墙<sup>[2]</sup>, 且于 1977 年开展了地连墙墙结构设计计算方法的研究<sup>[3]</sup>, 为港口工程进一步应用地连墙打下了初步基础。

自 1989 年河北唐山港在挖入式港池中率先开

始建设了地连墙板桩码头<sup>[4]</sup>, 从 1.5 万吨级起步。唐山港于 1994 年建设 5 号、6 号泊位时, 地连墙施工中采用了多头潜水钻机<sup>[5]</sup>, 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<sup>[6]</sup>。由于唐山港发展的需求, 不断创新和发展了地连墙码头的半遮帘式、全遮帘式、分离卸荷式及带肋板的分离卸荷式等结构形式, 使我国地连墙板桩码头的建设水平提升至 20 万吨级, 建成了世界上最大吨级的地连墙码头。地连墙码头已在河北唐山港、曹妃甸港、江苏盐城港及马尔代夫某港的港口建设中得到推广应用, 截止至 2017 年底, 仅在唐山港和曹妃甸港就已建成 57 个 5 万~20 万吨级地连墙码头深水泊位, 其岸线长度达 14.7 km<sup>[7-10]</sup>。

为适应地连墙板桩码头设计、施工及工程质量检验的需要, 交通运输部先后发布了含相关技术内容的 JTJ 292—98《板桩码头设计与施工规范》、JTJ 221—98《港口工程质量检验评定标准》、JTJ 267—98《港口工程混凝土结构设计规范》、交水发〔2001〕560 号《京唐港地连墙码头工程质量检验评定标准》<sup>[11]</sup>、JTJ 303—2003《港口工程地下连续墙结构与施工规程》、2004 年 8 月 1 日实施的 JTJ 221—98 局部修订、JTS 257—2008《水运工程质量检验标准》、JTS 167—3—2009《板桩码头设计与施工规范》、JTS 151—2011《水运工程混凝土结构设计规范》、JTS 239—2015《水运工程混

混凝土结构实体检测技术规程》<sup>[12]</sup>、JTS 167—2018《码头结构设计规范》及 JTS 215—2018《码头结构施工规范》等标准,但目前仅 JTS 257—2008、JTS 151—2011、JTS 239—2015、JTS 167—2018 及 JTS 215—2018 为现行行业标准,但对检测要求规定不够充分。

为建设交通强国,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<sup>[9]</sup>。水运工程码头及岸壁的地连墙板桩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一直处于“隐蔽”的状态,其中地连墙板桩码头的挖入式港池可比喻为“终身不见天日开挖面迎水的地连墙结构超大超深基坑”,其结构处于水下环境,尤其需要提升地连墙板桩码头迎水面的水下外观质量及耐久性。因此,为解决地连墙质量这个一直受业内专

家高度关注的问题<sup>[13]</sup>,现将看不见、讲不清、验不了的部位、环节,通过标准化的试验检测方法和步骤来检测。为满足水运工程相关试验检测的迫切需要,依据“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)的要求,正在制定《水运工程地下连续墙结构检测技术规程》(以下简称《规程》)。本文就拟推荐的水运工程地连墙检测项目及抽样数量进行重点分析,以供参考及商榷。

### 1 检测项目、方法及数量的推荐方案

2023年2月28日,《规程》主编单位在河北省唐山市组织召开了由河北省的监督管理、建设、施工、监理、检测及《规程》参编等单位参加的专题征询研讨会,对地连墙墙体混凝土质量越来越受到关注而需提高抽检数量的认识基本达成共识。现提出地连墙的检测项目、方法及数量的推荐方案见表1,实际工程中未涉及检测项目不检测。

表1 检测项目、方法及数量

类别	检测/监测项目		检测方法	检测数量		
				永久结构	临时结构	
成槽质量检测	▲△槽深		测绳法	100%槽段	≥80%槽段	
	▲槽宽		声波反射法		20%槽段,且不少于10个槽段	
	▲垂直度	槽段				
		接头壁				
	▲△沉渣厚度		测锤法 电阻率法		100%槽段	
▲泥浆性能指标		相对密度计法、黏度计法、含砂率计法及pH值试纸比色法等				
墙体质量检测	墙段质量检测	▲混凝土质量		▲声波透射法	100%墙段,但无外露面时可10%墙段,且不少于3个墙段	10%墙段,且不少于3个墙段
				▲钻芯法	1%墙段,且不少于3个墙段	☆
		钢筋笼长度		孔内摄像法		
		墙段深度		磁测井法		
		墙底沉渣厚度		钻芯法		
		墙段混凝土强度及耐久性验证性检测	▲混凝土抗压强度		取芯法	
	▲保护层厚度		尺量法、钻孔或剔凿尺量法	2%墙段,且不少于3个墙段		
	抗氯离子渗透性能		芯样电通量法或RCM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			
	抗冻融性能		芯样气泡间距系数观测法 芯样快速冻融法	□2%墙段,且不少于5个墙段 □1%墙段,且不少于3个墙段		
	▲外观质量	平整度		靠尺和钢直尺、楔形塞尺测量法	100%墙段	
		鼓包、露筋、夹渣和空洞等缺陷		目测、摄录法及尺量法		
		渗漏水		目测、摄录法及调查检测法		
接头质量检测	混凝土质量		声波透射法	1%接头,且不少于3个接头	☆	

续表

类别	检测/监测项目		检测方法	检测数量	
				永久结构	临时结构
	▲ 外观质量	相邻墙段错位	钢直尺测量法	100%接头	
		漏砂和空洞等缺陷	目测、摄录法及尺量法		
		渗漏水	目测、摄录法及调查检测法		
★墙段变位、 应力及拉杆应 力监测	▲ 墙段变位	墙顶水平位移	编制墙段变位、应力及拉杆应 力监测方案	1%墙段,且不少于3个墙段	
		墙顶垂直位移			
		墙段深层水平位移		1%墙段,且不少于3个墙段	
		应力			
拉杆应力	不少于5个装配拉杆				
注: 1) 带“▲”检测项目及检测方法是必选的,其他为可选的; 2) 带“△”检测项目有两种检测方法,可根据实际情况选择之一,也可相互验证; 3) 带“☆”所对应检测项目也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; 4) 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; 5) 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; 6) 带“★”类别指板桩码头及岸地连墙结构,翻车机房地连墙按现行标准 JTS/T 234—2020《水运工程施工监控技术规程》、 GB 50497—2019《建筑基坑工程监测技术规范》及 JGJ 120—2012《建筑基坑支护技术规程》的有关规定执行。					

## 2 成槽质量检测的技术

### 2.1 检测技术

成槽质量检测是工程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,还能减少工作时间、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、精细管理。

例如 2014 年,唐山港曹妃甸区某杂货泊位工

程采用 T 形地连墙板桩码头结构形式,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,保证了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,进而控制了地连墙的整体质量<sup>[4]</sup>。地连墙成槽质量检测技术规程发展概况见表 2。

表 2 成槽质量检测技术规程概况

规程名称及代号	相关技术内容	发布时间	实施时间	代替历次版本
福建省地方标准 DBJ/T 13-224—2015《福建省地下连续墙检测技术规程》	4 成槽质量检测	2015-06-08	2015-08-01	—
广西壮族自治区地方标准 DBJ/T 45-023—2016《地下连续墙检测技术规程》		2016-08-08	2016-11-01	
河南省地方标准 DBJ41/T 189—2017《地下连续墙检测技术规程》	4 声波反射法、5 电阻率法	2018-01-15	2018-02-01	—
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》 <sup>[15]</sup>	附录 B 地下连续墙成槽检测要点	2017-11-06	2018-05-01	DGJ 08-218—2003
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》	4 成槽质量检测	2019-06-26	2019-12-01	—
山西省地方标准 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》	4 超声波法、5 接触式仪器检测法	2019-12-21	2020-03-01	—
天津市地方标准 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》	4 超声波法、5 接触式仪器法	2021-09-22	2021-11-01	DB 29-112—2004、 DB/T 29-112—2010
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》	5 超声波法、6 机械接触法	2021-09-16	2022-03-01	DB 32/TJ 117—2011
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》	相关仪器设备	2021-10-06	2021-12-01	—

注: 1) DG/TJ 08-218—2017 在其历次版本中首次列入“附录 B 地下连续墙成槽检测要点”;  
 2) JJG(交通)171—2021 中概述规定: 超声式成孔质量检测仪是用于钻孔灌注桩和地下连续墙成孔成槽质量检测的设备。

声波反射法(sonic reflection method):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,有的还可对槽底沉渣厚度进行测试。声波反射法成槽质量检测原理示意图见图1。槽段在该断面的槽宽 $d$ 即为 $d=l_1+d'+l_2$ ,实际测试时按式(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, $\mu\text{s}$ 。

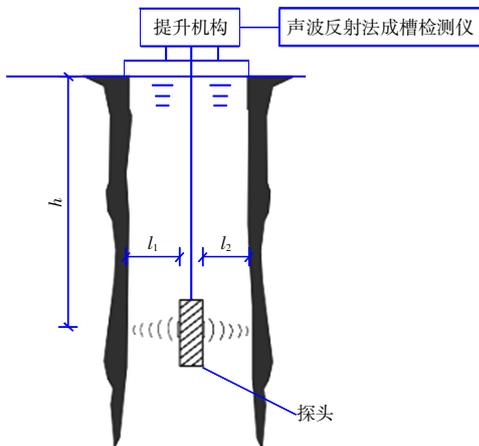


图1 声波反射法成槽质量检测原理示意图

## 2.2 行业管理

JTS 215—2018《码头结构施工规范》中第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。

2018年4月4日,交通运输部办公厅通知印发了《水运工程试验检测仪器设备检定/校准指导手册》<sup>[16]</sup>(交办安监〔2018〕33号),管理类别按仪器设备量值溯源方式分为3类,其中超声波成孔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,超声波成孔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交通运输部部门计量检定规程)。

《规程》制定的内容将满足交通运输行业标准JT/T 1181—2018《公路水运工程试验检测等级管理要求》<sup>[17]</sup>中试验检测代码“SYP05005 地下连续墙成槽质量检测”对试验方法要求的需求,其中代码

SY代表公路水运工程试验检测专业的水运工程,P代表公路水运工程试验检测领域的工程实体与结构。

## 2.3 检测数量

由于用于地连墙成槽质量检测国有声波反射法成槽质量检测仪产品的普遍使用,专业施工单位都基本配备了相应检测仪器。2017年,采用声波反射法业已基本对100%槽段实施了成槽质量检测<sup>[18]</sup>,这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。施工单位自检达到100%,受委托检测单位检测数量需根据建设方要求确定,或施工单位不检测,建设方委托检测单位进行跟踪全检。

## 3 墙段混凝土质量检测的技术

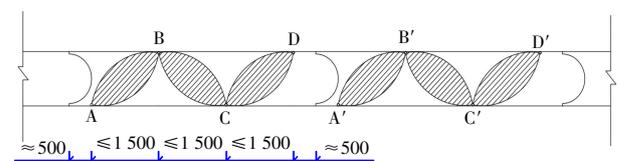
### 3.1 检测技术

对于桩基而言,可选择低应变反射法、超声波透射法及折射法、钻芯法、高应变法进行桩身完整性检测,但对于地连墙而言,低应变法、高应变法基本不适用,钻芯法具有破损性且不宜多做,超声波折射法仅是钻芯法的辅助验证检测手段,因此选择超声波透射法对地连墙进行混凝土质量检测。

声波透射法(crosshole sonic logging method):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、频率和相对波幅值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,简称CSL法。采用声波透射法时,受检墙段应预埋声测管或成墙后钻孔作为检测通道,其中声测管设置应符合以下规定:

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 $\leq 1.8\text{ m}$ 。

2) 当地连墙截面为矩形时,每受检墙段的预埋声测管 $\geq 4$ 个(图2);当墙段为异形时,应适当增加预埋声测管个数。



注:声测管编号按顺时针方向编号,A、C声测管所在墙面较B、D声测管所在墙面远离同一工程外露面。

图2 声测管设置示意图(mm)

2022年某港口码头T形地连墙配筋设计图中给出了声测管的位置,见图3,与上述建议相符。

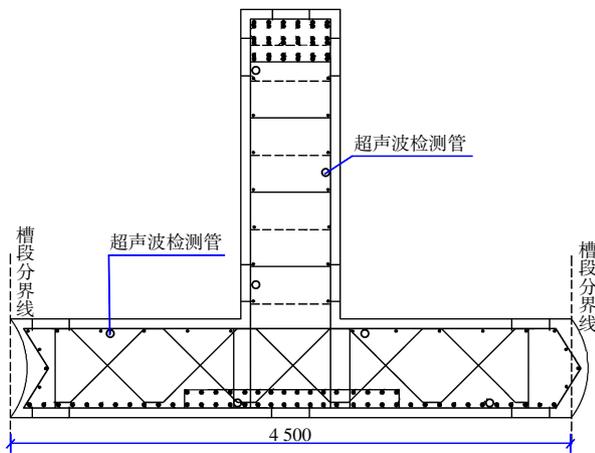


图3 T形地连墙配筋示意图(mm)

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<sup>[9]</sup>的“1.8限制”中指出声波透射法检测只给出缺陷存在的情况。声波透射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板桩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,达到利用声波透射法检测发现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,判断是否可按程序正常进行或需要处理,以便后续工作的进行。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。

现行国家标准GB 55003—2021《建筑与市政地基基础通用规范》中第7.4.9条规定了“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”的要求。地连墙墙段质量检测技术规程发展概况见表3。

表3 墙段质量检测技术规程概况

规程名称及代号	相关技术内容			发布时间	实施时间
	声波透射法	钻芯法	孔内摄像法		
JTS 239—2015《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》	4.9 地连墙混凝土缺陷检测			2015-02-02	2015-05-01
DBJ/T 13-224—2015《福建省地下连续墙检测技术规程》	5.1 声波透射法	5.2 钻芯法	—	2015-06-08	2015-08-01
DBJ/T 13-28—2016《福建省基础工程钻芯法检测技术规程》	—	全文		2016-05-06	2016-08-01
DBJ/T 45-023—2016《地下连续墙检测技术规程》	5.1 声波透射法	5.2 钻芯法	5.3 孔内摄像检测法	2016-08-08	2016-11-01
DB 33/T 1127—2016 浙江省地方标准《浙江省桩基完整性检测技术规程》	—		8孔中摄像法	2016-11-15	2017-01-01
DBJ 41/T 189—2017《地下连续墙检测技术规程》	6 声波透射法	7 钻芯法	—	2018-01-15	2018-02-01
DG/TJ 08-218—2017《建筑地基与桩基检测技术规程》	11 超声波透射法	12 钻孔取芯法	13 孔内摄像法	2017-11-06	2018-05-01
DBJ/T 15-60—2019 广东省地方标准《广东省建筑地基基础检测规范》	12 声波透射法	13 钻芯法	附录H 孔内摄像法	2019-05-20	2019-09-01
T/CECS 597—2019《地下连续墙检测技术规程》	5.2 声波透射法	5.3 钻芯法	—	2019-06-26	2019-12-01
DB32/T 3916—2020《建筑地基基础检测规程》	H.2 墙体质量检测		附录G 孔内成像技术检查混凝土桩(墙)质量要点	2020-12-21	2021-05-01
安徽地方标准 DB 34/T 4051—2021《混凝土孔内电视成像检测规程》	—		全文	2021-09-30	2021-10-30
T/CECS 253—2022《地基基础孔内成像检测标准》				2022-04-28	2022-09-01
JJG(交通)027—2015《水运工程 非金属声波检测仪》		相关仪器设备		2015-04-24	2015-07-31
JT/T 576—2015《水运工程 非金属声波检测仪》				2016-09-09	2017-01-01
JTS 238—2016《水运工程试验检测仪器设备技术标准》					
ASTM D6760—16《Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing》	全文			2016-12-01	—

续表

规程名称及代号	相关技术内容			发布时间	实施时间
	声波透射法	钻芯法	孔内摄像法		
注: 1) DBJ/T 13-28—2016 中规定:“1.0.2 本规程适用于民用建筑和市政基础工程, 各类混凝土灌注桩、地下连续墙和竖向增强体的检测与质量评定”, DBJ/T 13-28—2016 取代 DBJ 13-28—1999《桩基钻芯法检测技术规程》;					
2) DG/TJ 08-218—2017 中规定:“1.0.2 本规程适用于本市建筑工程地基承载力、桩基承载力和桩身完整性的检测与评价, 以及支护结构桩身(墙体)质量的检测与评价”, 这是在其历次版本中首次提出对墙体质量进行检测与评价;					
3) DBJ/T 15-60—2019 中“12 声波透射法”及“13 钻芯法”规定其适用于地下连续墙质量检测; 在其历次版本中首次列入“附录 H 孔内摄像法”; DBJ/T 15-60—2019 取代 DBJ 15-60—2008, DBJ 15-60—2008 取代 DBJ 15-28—2001《桩基和地下连续墙钻芯检验技术规程》;					
4) T/CECS 253—2022 取代 CECS 253: 2009《桩基孔内摄像检测技术规程》;					
5) JIG(交通)027—2015 取代 JIG(交通)027—2004;					
6) JT/T 576—2015 取代 JT/T 576—2004;					
7) JTS 238—2016 中第 7.3.3 条规定了桩基超声波检测仪技术参数;					
8) ASTM D6760—16 取代 ASTM D6760—14、ASTM D6760—08、ASTM D6760—02, 这是美国材料与试验学会标准, 从 ASTM D6760—02 开始, 其适用范围就指出声波透射法可用于对地下连续墙混凝土均匀性和完整性的检测。					

由表 3 可见, JTS 239—2015《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》中“4.9 地连墙混凝土缺陷检测”就有声波透射法检测的规定<sup>[12]</sup>, 在制定相关技术的标准规范层面上, 虽然内容相对简单, 但开创并推动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声波透射法检测与评价的发展, 该规程获 2017 年中国水运建设行业协会科学技术奖三等奖(证书编号: SG 17-3-16-01)。

### 3.2 行业管理

JTS 257—2008《水运工程质量检验标准》中第 2.5.1.1 款规定: 作为主体结构的地下连续墙在验收前应进行完整性检测。

按文献[16]的规定, 由于当时已有 JIG(交通)027—2015, 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》至今有效, 可否考虑也采用其进行检定/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》中规定试验检测代码“SYP05003 桩基完整性”、试验检测代码“SYP05006 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“SYP05006 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 中声波透射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北京市地方标准 DB11/T 1526—2018《地下连续墙施工技术规程》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 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”及 DB32/T 3916—2020 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”的有关内容确定的。

铁路行业标准 TB 10128—2019《铁路工程桩基检测技术规程》中第 5.1.2 条规定: 桩径  $\geq 2$  m 或桩长  $> 40$  m 或特殊结构物或复杂地质条件下的桩基应采用声波透射法检测。DG/TJ 08-218—2017 中第 3.2.13 条规定“桩墙合一”灌注桩排桩检测数量及方法: 桩身完整性检测比例应为 100%, 其中声波透射法检测比例应不低于 20%。JTS 257—2008“附录 C 主要材料试验和现场检验抽样组批原则及检验项目”中对灌注桩提出进行 100%完整性检测的要求, 其可采用低应变、声波透射法等实现。

低应变检测技术能够实现对现浇排桩形地连墙结构的 100%检测, 但低应变检测技术暂时还不适用于矩形和异形的地连墙结构, 无法采用低应变检测技术对矩形和异形的地连墙结构进行墙体质量的普测。尤其水运工程码头及岸壁的地连墙

结构迎水面具有永久隐蔽性的特点，因此就需要对地连墙结构从施工阶段进行墙段质量的检测，掌握地连墙结构的质量状态，促进地连墙结构质量的提高。综合研判，在板桩码头结构中前墙的现浇地连墙对比一般的钢板桩或预制钢筋混凝土板桩而言，可视为大型或超大型板桩，其单个墙段体量较大，具有部分桩及地基梁<sup>[20]</sup>等的特性，与灌注桩相比至少同等重要，甚至应更为重要，也应该实现 100%地连墙墙段混凝土质量的检测，在目前无其他可优选较经济且适用的检测技术下，确定采用声波透射法对水运工程有外露面永久性地连墙墙段进行 100%检测。以往由于缺乏针对性规定，实际工作中基本都采取类比灌注桩的检测要求，对地连墙一般提出仅对 20%墙段进行声波透射法检测，这是对地连墙质量重要性认识不足，这种类比也有些牵强附会、实不可取。随着时代进步，2022 年就有设计方对唐山港曹妃甸港区某港池多用途泊位工程 600 m 长度共计 135 个前墙墙段混凝土质量提出进行 100%墙段声波透射法检

测的要求，这是大势所趋，也是水运工程建设实现地连墙高质量目标的手段之一。

#### 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是利用磁测井法对钢筋笼长度进行检测。磁测井法 (magnetic method)：在地下连续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，对墙体内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。该方法的检测结果还在一定范围内反映了地连墙的墙深。

地连墙板桩码头的现浇地连墙墙段是大型或超大型钢筋混凝土构件，其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是否符合要求，也关系地连墙整体质量，有条件或必要时可选做钢筋笼长度检测。钢筋笼长度检测技术规程发展概况见表 4。

表 4 钢筋笼长度检测技术规程概况

规程名称及代号	发布时间	实施时间	代替历次版本
DB33/T 1094—2013《基桩钢筋笼长度磁测井法探测技术规程》	2013-11-25	2014-01-01	—
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)》	2014-06-27	2014-06-27	
DB/T 29-38—2015《建筑基桩检测技术规程》	2015-04-24	2015-07-01	DB 29-38—2002
DBJ/T 13-235—2016《福建省磁测井法测试基桩钢筋笼长度技术规程》	2016-04-18	2016-07-01	—
DB34/T 5081—2018《基桩钢筋笼长度检测技术规程》	2018-05-31	2018-10-01	
JGJ/T 422—2018《既有建筑地基基础检测技术标准》	2018-03-19	2018-11-01	
JGJ/T 152—2019《混凝土中钢筋检测技术标准》	2019-06-18	2020-02-01	JGJ/T 152—2008
DBJ04/T 395—2019《灌注桩钢筋笼长度磁测井法检测技术标准》	2019-12-21	2020-03-01	—
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》	2020-06-28	2020-07-28	
DBJ/T 45-100—2020《磁测井法测试既有基桩钢筋笼长度技术规程》	2020-05-15	2020-08-01	
天津市地方标准 DB12/T 1122—2022《桥梁基桩检测技术规程》	2022-06-13	2022-07-15	
DB32/T 4397—2022《钢筋混凝土桩中钢筋笼长度检测技术规程》	2022-11-17	2023-05-01	DGJ 32/TJ 60—2007
JJG(交通) 175—2021《钢筋笼长度磁法检测仪》	2021-10-06	2021-12-01	—

注：①DB/T 29-38—2015 在其历次版本中首次列入“附录 B 磁测井法检测钻孔灌注桩钢筋笼长度要点”；  
 ②JGJ/T 422—2018 中列入“6.6 磁测桩法”；  
 ③JGJ/T 152—2019 在其历次版本中首次列入“9 基桩钢筋笼长度检测”；  
 ④DB 12/T 1122—2022 中列入“14 磁测井法”；  
 ⑤DGJ 32/TJ 60—2007 名称为《灌注桩钢筋笼长度检测技术规程》。

#### 4.2 行业管理

按文献[16]中规定，由于现已有 JJG(交通) 175—2021，钢筋笼测定仪的管理类别已从 II-2 类升级为 II-1 类。《规程》制定的内容将满足 JT/T

1181—2018 试验检测项目代码“SYP05 基桩与地下连续墙”中试验检测代码“SYP05007 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,需要对地连墙中的钢筋笼长度进行检测有但不限于: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的主要对象之一。

## 5 结语

地连墙板桩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抽样数量,而应从施工开始就加大检测力度,做到精准控制。随着交通强国建设的发展,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》现推荐了相关的检测项目、方法及数量,其中对永久性结构地连墙成槽质量采用声波反射法及外露永久性结构墙段混凝土质量采用声波透射法都进行100%的检测,将掌控施工起步关键阶段及最终产品质量,以便《规程》拟规定的相关内容更趋合理。

### 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(Z1): 64-78.
- [2] 钻二组. 我们是怎样搞成地下连续墙的[J]. 港工技术通讯, 1977(5): 64-69.
- [3] 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.
- [4] 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, 20(4): 6-14.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 刘永绣, 吴荔丹, 李元音. 一种新型码头结构型式一半遮帘式深水板桩码头结构的推出[J]. 港工技术, 2002(1): 15-18.
- [8] 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.
- [9] 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]. 水利水电工程学报, 2018(2): 120.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] JTS 239—2015, 水运工程混凝土结构实体检测技术规程[S].
- [13] 刘美山. 地连墙质量优化措施[J]. 水运工程, 2020(8): 213-216.
- [14] 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(2): 59-61.
- [15] DG/TJ 08-218—2017, 建筑地基与桩基检测技术规程[S].
- [16] 中华人民共和国交通运输部. 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[EB/OL]. (2020-06-23)[2023-03-15] [https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/aqyzjlgj/202006/t20200623\\_3316407.html](https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/aqyzjlgj/202006/t20200623_3316407.html).
- [17] JT/T 1181—2018, 公路水运工程试验检测等级管理要求[S].
- [18] 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.
- [19] ASTM D6760—16, Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing[S].
- [20] 别社安, 孙家明, 柴信众, 等. 板桩墙结构计算的改进竖向地基梁法[J]. 中国港湾建设, 2002, 22(2): 24-27.