

团 体 标 准

T/CAMET XXXXX—XXXX

城市轨道交通工程结构检测技术规范

Technical code for structural inspection of Urban Rail Transit Engineering

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国城市轨道交通协会 发布

目 次

前 言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 通则.....	3
4.1 通用要求.....	3
4.2 检测工作程序及内容.....	3
4.3 检测报告.....	4
5 明挖法.....	5
5.1 通用要求.....	5
5.2 支护结构.....	5
5.3 现浇混凝土结构.....	6
5.4 装配式混凝土结构.....	6
5.5 建筑限界.....	7
6 矿山法.....	7
6.1 通用要求.....	7
6.2 超前预支护.....	7
6.3 初期支护结构.....	7
6.4 主体结构.....	8
7 盾构法.....	8
7.1 通用要求.....	8
7.2 壁后注浆.....	8
7.3 成型隧道.....	8
8 沉管法.....	8
8.1 一般要求.....	8
8.2 隧道基槽.....	9
8.3 成型隧道.....	9
9 地层加固.....	10
9.1 通用要求.....	10
9.2 水泥石加固体.....	10
9.3 冻结.....	10
10 桥梁.....	11
10.1 通用要求.....	11
10.2 下部结构.....	11
10.3 支座.....	11
10.4 预应力混凝土梁桥上部结构.....	12
10.5 钢桥及钢混叠（组）合梁桥.....	13
10.6 拱桥.....	14

10.7 斜拉桥	14
10.8 悬索桥	14
10.9 附属结构	15
11 路基	15
11.1 通用要求	15
11.2 地基处理	15
11.3 路堤	16
11.4 基床	16
11.5 路堑	16
11.6 特殊土路基	17
11.7 路基支挡与防护	17
11.8 涵洞	17
附录 A (规范性) 结构检测方法	18
A.1 结构周围土体密实度探测	18
A.2 限界测量及隧道椭圆度	19
A.3 超声波法检测钻孔灌注桩成孔、地下连续墙成槽质量	20
A.4 接触式仪器组合法检测钻孔灌注桩成孔、地下连续墙成槽质量	20
A.5 止水帷幕渗漏水检测	22
参 考 文 献	27

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。

本文件由中国城市轨道交通协会工程建设专业委员会提出。

本文件由中国城市轨道交通协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：北京城建勘测设计研究院有限责任公司、北京环安工程检测有限责任公司、北京城建集团有限责任公司、北京城市快轨建设管理有限公司、北京市轨道交通建设管理有限公司、北京建筑大学、北京城建设计发展集团股份有限公司、重庆市轨道交通（集团）有限公司、广州地铁设计研究院股份有限公司、中铁第五勘察设计院集团有限公司、北京城建轨道交通建设工程有限公司、北京市勘察设计院有限公司、中航勘察设计院有限公司、中铁十六局集团地铁公司、南京帝坝工程科技有限公司、天津市地铁运营公司。

本文件主要起草人：张建全、孔祥利、张晋勋、王宁、赵斌、刘军、任干、刘永勤、鲁卫东、廖远国、秦清华、陈晓丹、谢昭晖、孙晓鹏、张辉、赵广强、戴兵、方成、高爱林、李芳凝、文菲菲、杜国平、王领、张振营、经纬、何翠香。

城市轨道交通工程结构检测技术规范

1 范围

本文件规定了城市轨道交通明挖法、矿山法、盾构法、沉管法、地层加固、桥梁及路基质量检测的技术要求和检测方法。

本文件适用于新建、改建、扩建城市轨道交通工程结构的质量检测。

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 1720 漆膜附着力测定法
- GB 9286 色漆和清漆、漆膜的划格试验
- GB 10433 电弧螺柱焊用圆柱头焊钉
- GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范
- GB 50202 建筑地基工程施工质量验收标准
- GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
- GB 50205 钢结构工程施工质量验收规范
- GB/T 50299 地下铁道工程施工质量验收标准
- GB/T 50621 钢结构现场检测技术标准
- GB/T 50308 城市轨道交通工程测量规范
- GB/T 50783 复合地基技术规范
- CJJ 2 城市桥梁工程施工与质量验收规范
- CJJ/T 290 城市轨道交通桥梁工程施工及验收规范
- JGJ 1 装配式混凝土结构技术规程
- JGJ/T 23 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程
- JGJ 79 地基处理技术规范
- JGJ 106 建筑基桩检测技术规范
- JGJ 120 建筑基坑支护技术规程
- JGJ/T 182 锚杆锚固质量无损检测技术规程
- JGJ 340 建筑地基检测技术规范
- JGJ/T 403 建筑基桩自平衡静载试验技术规程
- SL31 水利水电工程钻孔压水试验规程
- TBJ 214 铁路钢桥高强度螺栓连接施工规定
- TB 10102 铁路工程土工试验规程
- TB/T 2092 简支梁试验方法预应力混凝土梁静载弯曲试验

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

工程结构检测 inspection of Engineering structure

为评定城市轨道交通工程结构质量或性能所实施的检测工作。

3.2

检验批 inspection lot

按同一生产条件或按规定的方式汇总起来供检验用的，由一定数量样本组成的检验体。

3.3

明挖法 cut and cover method/open cut method

在地面开挖的基坑中修筑地下结构的施工方法。

[来源：GB/T 50833-2012，定义7.3.7]

3.4

车站结构 station structure

由车站的梁、柱、墙、板、拱等主要承重构件组成的结构物。

3.5

混凝土结构 concrete structure

以混凝土为主制成的结构，包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构，按施工方法可分为现浇混凝土结构和装配式混凝土结构。

3.6

地下连续墙 diaphragm wall

使用专用挖槽机具，开挖具有一定长度、宽度与深度的槽段，安放钢筋笼，灌注混凝土，连接各槽段，形成一道连续的地下钢筋混凝土墙体。

3.7

装配式混凝土构件 precast concrete element

在工厂或现场预制、可通过各种可靠连接方式直接装配形成结构的混凝土构件。

3.8

现浇混凝土结构 cast-in-situ concrete structure

在现场原位支模并整体浇筑而成的混凝土结构，简称现浇结构。

3.9

建筑限界 construction gauge

位于设备限界外考虑了沿线设备安装后的最小有效界限。

[来源：CJJ/T 96-2018，术语2.1.4]

3.10

矿山法 mining method

传统的矿山法是指用钻眼爆破的方法修筑隧道的暗挖施工方法，又称钻爆法，现代矿山法还包括机械开挖法、新奥法等施工方法。

[来源：GB/T 50833-2012，定义7.3.12]

3.11

盾构法 shield method

使用圆形钢壳结构保护、开挖、推进、拼装、衬砌和注浆等作业的暗挖施工方法。

[来源：GB/T 50833-2012，定义7.3.12，有修改]

3.12

椭圆度 ovality

圆形隧道管片衬砌拼装成环后隧道最大与最小直径的差值与隧道设计内径的比值，以千分比表示。

[来源：GB 50446-2017，术语2.0.18]

3.13

管片结构 segment structure/segmental lining

利用工厂预制，现场拼装的管片衬砌隧道的结构形式。

3.14

沉管法 immersed tube method/sunken tube method

采用预制管段沉埋修筑水底隧道的施工方法。

[来源：GB/T 50833-2012，定义7.3.19]

3.15

深孔注浆 deep boring grouting

从地面或隧道内对岩土体进行的注浆孔深度通常达到10m以上的注浆作业。

3.16

冻结法 freezing method

采用冷冻的方法固结地层土体，提高土体强度的施工方法。

3.17

路基 Subgrade

按照线路、位置和一定技术要求修筑的带状构筑物。

3.18

路堑 cutting

低于原地面的挖方路基。

3.19

边坡 side slope

为保证路基稳定，在路基两侧做成的具有一定坡度的坡面。

4 通则

4.1 通用要求

4.1.1 城市轨道交通工程结构质量检测根据施工方法、结构形式、现场环境条件等确定检测范围、内容、数量、方法及判定标准。

4.1.2 结构质量检测优先选用对结构或构件无损伤的检测方法。当选用局部破损的检测方法时，选择结构构件受力较小的部位，取样不能够损害结构的安全性。

4.1.3 结构质量检测按检测批进行抽样，抽样要符合随机性原则，样本数量较小的重要构件全数检测。

4.1.4 车辆段（场）、地面车站、变电所等房屋建筑结构的检测执行现行国家及行业相关标准。

4.2 检测工作程序及内容

4.2.1 城市轨道交通工程结构质量检测工作程序参见图 1。

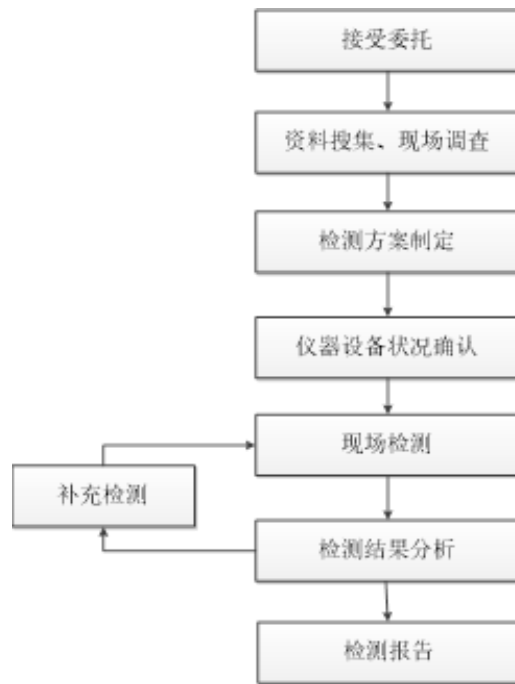


图1 检测工作程序框图

4.2.2 接受任务委托后需要开展资料收集、现场调查工作，资料收集、现场调查包括以下内容：

- a) 收集被检测工程的岩土工程勘察报告、设计图纸、施工资料等；
- b) 现场调查工程施工进度、环境条件、检测对象的状况、安全风险等。

4.2.3 检测工作开始前先要制定检测方案，检测方案主要包含以下内容：

- a) 工程概况，主要包括施工方法、结构类型、施工概况、设计、施工及监理单位等；
- b) 检测目的或委托要求；
- c) 检测依据，主要包括检测所依据的标准、有关技术资料及法律法规；
- d) 检测对象及项目、方法及抽样方案；
- e) 检测人员和仪器设备情况；
- f) 检测工作进度计划；
- g) 检测质量、安全及环保措施。

4.2.4 检测设备应满足以下要求：

- a) 在有效的检定/校准期内；
- b) 仪器设备的精度应满足检测项目的要求；
- c) 采用非标准的检测方法及仪器时，应满足相关规定。

4.2.5 现场检测应满足以下要求：

- a) 现场检测条件应满足检测方法要求；
- b) 原始记录应真实、完整，不得追记；
- c) 现场检测如遇异常，应及时记录。

4.2.6 如果发现检测数据数量不足或检测数据出现异常情况时，要进行补充检测。

4.3 检测报告

4.3.1 检测数据计算分析工作完成后，要及时编制检测报告。检测报告的用词要规范、文字简练、结论明确。

4.3.2 检测报告至少包括下列内容：

- a) 工程概况：工程名称、地址、施工方法、结构类型、规模、施工日期及现状等。
- b) 检测目的、内容、方法及依据的标准；
- c) 检测抽样方法、数量及位置；
- d) 检测设备：名称、编号、型号等；
- e) 检测结果：包括数据和汇总图表等；
- f) 检测结论及建议。

5 明挖法

5.1 通用要求

5.1.1 采用明挖法修建的车站、隧道、附属结构等工程结构质量检测工作应符合本章规定。

5.1.2 明挖法施工工程结构检测应包括支护结构、主体结构（现浇混凝土结构和装配式混凝土结构），以及地基基础的检测。

5.1.3 地基基础检测包括桩基础检测和地基处理检测，并应分别符合 JGJ106 和 JGJ79 的有关规定。

5.2 支护结构

5.2.1 支护结构质量检测应包括混凝土灌注桩、水泥土搅拌桩（墙）、地下连续墙、土钉墙、锚杆（索）、高压旋喷桩的质量检测。

5.2.2 混凝土灌注桩质量检测应包括灌注桩成孔质量和桩身完整性。

5.2.3 混凝土灌注桩成孔质量检测应包括垂直度、孔径、孔深、沉渣厚度。检测数量不应少于总桩孔数的 10%，且不少于 5 个，现场检测不合格的孔数大于抽检数量的 30% 时，应增加检测数量。试成孔槽及静载试验桩孔应 100% 进行成孔槽检测，可采用超声波法或接触式仪器组合法进行检测。判定标准应符合 GB 50202 的规定和设计要求。

5.2.4 混凝土灌注桩桩身完整性检测数量不应少于总桩数的 20%，且不少于 5 根。可采用低应变法、声波透射法、钻芯法等方法进行检测。桩身完整性的判定标准应符合 JGJ106 的有关规定。

5.2.5 水泥土搅拌桩（墙）质量检测应包括桩身完整性和桩身强度，检测数量不宜少于总桩数的 0.5%（引用 JGJ 340）且不应少于 3 根，可采用钻芯法检测。质量判定标准应符合 JGJ 340 的有关规定。

5.2.6 地下连续墙质量检测应包括成槽质量、墙体完整性和渗透性。

5.2.7 地下连续墙成槽质量检测应包括槽壁垂直度、宽度、深度、沉渣厚度。地下连续墙作为永久结构一部分时，成槽应 100% 检测，地下连续墙作为临时结构时可抽测总槽段数的 20%，但检测不应少于 15 个槽段，每个槽段检测数量不应少于三个断面。当不合格的槽数量大于抽检数量的 30% 时，应扩大检测。试成槽应 100% 进行成槽检测，可采用超声波法或接触式仪器组合法进行检测。判定标准应符合 GB 50202 的规定和设计要求。

5.2.8 地下连续墙墙体完整性检测墙段数量不宜少于同条件下总墙段数的 20%，且不少于 3 幅墙段，可采用声波透射法进行检测，当采用声波透射法判定的墙身完整性不合格时，应采用钻芯法进行验证，质量判定标准应符合 JGJ 106 的有关规定。

5.2.9 地下连续墙渗透性检测包括所有墙段及接缝，检测方法可采用充电法或声纳法，并符合附录 A5.1 的规定，渗透性判定标准应符合设计要求。

5.2.10 土钉墙应进行土钉抗拔承载力检测，同一条件下，检测数量不宜少于土钉总数的 1% 且不应少于 3 根。承载力的判定应符合 JGJ 120 的有关规定。

5.2.11 锚杆（索）应进行抗拔承载力检测，检测数量不应少于锚杆（索）总数的 5%，且不少于 3 根。承载力的判定应符合 JGJ 120 的有关规定。

5.2.12 高压旋喷桩止水帷幕应进行渗透性检测，检测要求应符合 5.2.9 给出的细节。

5.3 现浇混凝土结构

5.3.1 现浇混凝土结构质量检测应包括混凝土强度、保护层厚度的质量检测。

5.3.2 车站及附属结构梁、板、柱宜根据轴线进行构件划分，其他类型结构可按 6m 为 1 个检测构件进行划分，不足 6m 的构件记为 1 个构件。

5.3.3 混凝土强度检测宜选用回弹法或超声回弹综合法，应按检测批进行随机抽样，抽样数量应符合表 1 的规定。

表1 结构混凝土强度抽样检测的最小样本容量

检测批的容量	检测类别和样本最小容量			检测批的容量	检测类别和样本最小容量		
	A	B	C		A	B	C
2~8	2	2	3	501~1200	32	80	125
9~15	2	3	5	1201~3200	50	125	200
16~25	3	5	8	3201~10000	80	200	315
26~50	5	8	13	10001~35000	125	315	500
51~90	5	13	20	35001~150000	200	500	800
91~150	8	20	32	150001~500000	315	800	1250
150~280	13	32	50	>500000	500	1250	2000
281~500	20	50	80	--	--	--	--

^a 注：检测类别 A 适用于出入口、风道、联络通道等附属结构质量检测，检测类别 B 适用于车站主体、区间主体结构质量检测，检测类别 C 适用于结构质量或性能的严格检测或复检。

5.3.4 钢筋保护层厚度检测可采用非破损或局部破损的方法，也可采用非破损方法并用局部破损方法进行校准，检测误差不应大于 1mm。检测构件的选取应均匀分布，并应符合下列规定。

- 对非悬挑梁板类构件，应各抽取构件数量的 2% 且不少于 5 个构件进行检测，当非悬挑梁数量少于 5 个时，应全数检验；
- 对悬挑梁，应抽取构件数量的 5% 且不少于 10 个构件进行检验，当悬挑梁数量少于 10 个时，应全数检验；
- 对悬挑板，应抽取构件数量的 10% 且不少于 20 个构件进行检验，当悬挑板数量少于 20 个时，应全数检测。

5.3.5 混凝土强度、保护层厚度质量判定标准应符合 GB/T 50299 的有关规定。

5.4 装配式混凝土结构

5.4.1 装配式混凝土结构质量检测应包括梁板类简支受弯预制构件结构性能、焊接连接质量、高强螺栓连接质量。

5.4.2 梁板类简支受弯预制构件结构性能检测应包括承载力、挠度、裂缝宽度及抗裂性能，同一类型预制构件不超过 1000 个为一批，每批随机抽取 1 个构件进行结构性能荷载试验，质量判定标准应符合 GB50204 的有关规定。

5.4.3 焊接连接质量检测包括焊缝表面质量和内部缺陷，表面质量检测可采用磁粉法、渗透法，内部缺陷检测可采用超声波法、射线法，一级焊缝时应全数进行检测，二级焊缝时按照 20% 的探伤比例进行检测，质量判定标准应符合 GB/T 50621 的有关规定。

5.4.4 高强螺栓应对终拧扭矩进行全数检测，可采用扭矩法或转角法检测，质量判定标准应符合 JGJ

1 的有关规定。

5.5 建筑限界

5.5.1 明挖法车站、区间隧道建筑限界检测应包括结构横断面测量、结构底板纵断面测量。

5.5.2 结构横断面测量检测应符合下列规定：

- a) 在直线段和曲线段分别宜 6m、5m 布置 1 个测量断面，在结构断面变化段或施工偏差较大段应增加检测断面数量；
- b) 区间隧道应依据断面形式在拱顶、拱肩、拱腰、拱脚等特征位置选取检测点，检测点数量不应少于 10 个；
- c) 车站检测断面除了选取与区间隧道相同的检测点外，还应检测站台面与轨面的高度、站台边与轨道中心线的距离、屏蔽门与站台边或轨道中心线的距离。

5.5.3 结构底板纵断面测量检测应符合下列规定：

- a) 结构底板纵断面测量检测点布设应与结构横断面测量检测断面位置一致；
- b) 检测点应为线路中线点，各断面底板上的线路中线点形成底板纵断面。

5.5.4 明挖法车站、区间隧道结构建筑限界测量检测方法和质量判定标准应符合 GB/T 50308 的有关规定。

6 矿山法

6.1 通用要求

6.1.1 采用矿山法修建的车站、区间隧道、联络通道及其他附属结构的质量检测工作应符合本章规定。

6.1.2 矿山法工程结构质量检测应包括超前预支护、初期支护结构、主体结构、背后回填注浆密实度、边桩、中桩及建筑限界。

6.1.3 边桩和中桩的质量检测包括桩身完整性和承载力，桩身完整性检测应符合 JGJ 106 的有关规定，承载力检测应符合 GJ/T 403 的有关规定。

6.1.4 建筑限界检测应符合 5.6 给出的细节。

6.2 超前预支护

6.2.1 超前预支护应对超前小导管、超前锚杆、超前管棚施作质量进行检测。

6.2.2 超前小导管的质量检测应包括小导管长度、注浆密实度。宜每 10~50 循环抽检一次，每次抽检不宜少于 3 点，可采用声波反射法或取芯法进行检测。质量判定标准应符合 JGJ/T 182 的有关规定。

6.2.3 锚杆应进行拉拔力检测。同一批锚杆每 100 根应检测 3 根，不足 100 根时也应检测 3 根。质量判定标准应符合 GB/T 50299 的有关规定。

6.2.4 管棚质量检测应包括长度、注浆密实度。每 10~50 循环抽检一次，每次抽检 3 点。可采用声波反射法进行检测。质量判定标准应符合 JGJ/T 182 的有关规定。

6.3 初期支护结构

6.3.1 初期支护结构的质量检测应包括喷射混凝土厚度和强度、钢拱架间距、背后回填注浆密实度。

6.3.2 喷射混凝土厚度、钢拱架间距、背后回填注浆密实度宜采用地质雷达法进行检测。测线布置应符合下列规定：

- a) 测线应纵向布设，并应在隧道拱顶、左右拱肩、两侧边墙和仰拱中部各布设 1 条测线；
- b) 大断面隧道在拱顶部位应布设 3 条测线；
- c) 对隧道结构异常部位应加密测线。

6.3.3 当采用地质雷达法检测喷射混凝土厚度、背后回填注浆密实度检测结果存在异议时，可采用钻芯法进行验证。

6.3.4 喷射混凝土强度宜采用喷大板法或回弹法。

6.3.5 采用喷大板法检测喷射混凝土强度时，宜每 500m² 抽检一组，小于 500m² 时也不宜少于一组，每组不应少于 3 个试块，试块抗压强度应符合 GB 50086 的有关规定。

6.3.6 采用回弹法检测喷射混凝土强度时，沿隧道轴线方向每 6m 划分一个检测构件，按照表 1 进行 A 类抽样，除应符合 JGJ/T 23 测区布置及测面要求外，强度推定应进行钻芯修正，质量判定标准应符合设计要求。

6.4 主体结构

6.4.1 主体结构质量检测应包括钢筋保护层厚度、混凝土强度和衬砌厚度、衬砌背后空洞的质量检测。

6.4.2 主体结构的钢筋保护层厚度和混凝土强度的检测要求应符合 5.3 给出的细节。

6.4.3 二衬结构厚度和背后空洞检测要求应符合 6.3.2 和 6.3.3 给出的细节。

7 盾构法

7.1 通用要求

7.1.1 采用盾构法修建的车站、区间隧道的质量检测应符合本章规定。

7.1.2 盾构法工程应对隧道地层加固体、壁后注浆、成型隧道质量检测。

7.1.3 地层加固体质量检测应符合 9.2 给出的细节。

7.2 壁后注浆

7.2.1 盾构管片壁后注浆密实度宜采用地质雷达法进行检测。测线布置应符合下列规定：

- a) 测线应纵向布置，并应在隧道拱顶、左右拱肩、两侧边墙和隧底中部各布设 1 条测线；
- b) 大直径盾构隧道在拱顶部位应布设 3 条测线；
- c) 对隧道结构异常部位应加密测线。

7.2.2 当采用地质雷达法检测盾构管片壁后注浆密实度检测结果存在异议时，可采用打开管片注浆孔进行放水试验进行验证。

7.3 成型隧道

7.3.1 成型隧道质量检测应包括管片错台、椭圆度及建筑限界。

7.3.2 成型隧道管片应进行环内及环间错台检测，每 10 环应检测 1 环，每环应检测 4 点，可采用钢尺测量，允许偏差环内不应大于 10mm、环间不应大于 15mm。

7.3.3 盾构隧道衬砌环椭圆度应每 10 环检测 1 环，可采用全站仪、断面仪或三维激光扫描仪等方法进行检测，允许偏差不应大于±100mm。

7.3.4 建筑限界检测应符合 5.6 给出的细节。

8 沉管法

8.1 一般要求

8.1.1 采用沉管法修建的隧道结构质量检测应符合本章规定。

8.1.2 沉管法施工隧道结构质量检测包括隧道基槽和成型隧道质量检测。

8.2 隧道基槽

8.2.1 隧道基槽检测包括基槽地基承载力和基槽回淤物厚度检测。基槽地基承载力检测包括天然地基、地基处理后及复合地基承载力检测。

8.2.2 天然地基或地基处理后承载力检测可采用平板荷载试验法、贯入仪法或动力触探法。采用平板荷载试验时，每 500m² 不应少于 1 个点，且不得少于 3 点；采用贯入仪或动力触探时，检测点间距应不大于 4m。承载力判定标准应符合设计要求。

8.2.3 复合地基承载力检测可采用平板荷载试验进行检测，检测数量不应少于总桩数 0.5~1%，且不得少于 3 处。质量判定标准应符合设计要求。

8.2.4 砂石桩、振冲碎石桩复合地基还应检测桩体及桩间土密实度。桩体密实度检测数量不应少于总桩数 2%，且不得少于 6 根。桩间土密实度检测数量不应少于总桩数 1%，且不得少于 3 处。检测方法可采用标准贯入法或动力触探法。质量判定标准应符合设计要求。

8.2.5 搅拌桩、旋喷桩和 CFG 桩复合地基还应检测桩身完整性。当采用钻芯法检测搅拌桩、旋喷桩桩身完整性时不应少于总桩数 0.5%，且不得少于 3 根；当采用低应变法检测 CFG 桩桩身完整性时不应少于总桩数 10%，且不得少于 10 根。质量判定标准应符合设计要求。

8.2.6 管节沉放前应对回淤物厚度进行检测，可采用双频测深仪或密度仪进行检测，回淤物厚度不应大于 100mm。

8.3 成型隧道

8.3.1 沉管隧道的质量检测应包括管节回填覆盖层标高、管节接头错位及建筑限界。

8.3.2 隧道回填覆盖层标高检测应沿隧道纵向布设检测断面，断面间距宜 5m~10m，每个断面由中线向两侧宜 2m~5m 布设一个检测点。可采用全站仪或卫星定位系统配合多波速测深仪进行检测。检测结果应符合表 2 要求。

表2 回填覆盖层厚度检测项目及标准

序号	检测项目	材料	允许偏差 (mm)
1	覆盖层顶轮廓线（或外边线）标高	10kg~100kg 块石	±400
2		100kg~200kg 块石	±500
3		300kg~500kg 块石	±700
4	一般回填顶轮廓线（或外边线）标高	10kg~100kg 块石	±400
5		碎石	±300
6		砂砾	±100

8.3.3 沉管隧道应对每处管节接头的错位进行检测，每处检测不应少于 8 个点，可采用钢尺和水准仪进行量测，成型隧道最终接头允许偏差应满足表 3 的要求。

表3 成型隧道最终接头允许偏差

序号	项目	允许偏差 (mm)
1	管节间纵轴线偏差	50
2	管节间轴线处标高偏差	20
3	管节间底板横倾相对偏差	5

8.3.4 成型隧道建筑限界检测包括结构净高、净宽及底板标高。检测断面布设应符合下列规定：

- a) 断面沿纵向布设，间距不应大于 20m，管节接口两侧应各布设 1 个检测断面，轴向曲线段应加密检测断面；

b) 矩形隧道每个断面测点数量不得少于 8 个（每边不少于两个），非矩形断面应增加测点数量。

8.3.5 成型隧道建筑限界可采用全站仪和水准仪进行测量检测，建筑限界允许偏差应满足表 4 的要求。

表4 隧道建筑限界允许偏差（mm）

序号	工程部位	中轴线平面	中轴线高程	长度
1	衔接段	±20	±20	±20
2	沉管段	±50	±20	±20

9 地层加固

9.1 通用要求

9.1.1 采用注浆法、旋喷法、搅拌桩法、冻结法等施工工艺形成的地层加固体质量检测应符合本章规定。

9.1.2 注浆法、旋喷法、搅拌桩法等水泥石土加固体质量检测应包括加固体范围、强度、密实程度、渗透系数检测。

9.1.3 冻结法加固体检测应包括冻结孔成孔质量和冻结壁质量检测。

9.2 水泥石土加固体

9.2.1 水泥石土加固体的范围检测可采用地质雷达配合布设格网测线的方法进行检测，必要时可采用钻芯法进行验证。

9.2.2 水泥石土加固体的强度、密实程度及渗透系数检测宜采用钻探取芯配合室内试验的方法，检测孔的数量不宜少于注浆孔或钻孔数的 3%，每孔不宜少于 3 组。加固工程芯样强度不宜小于 0.5MPa，止水工程芯样无侧限抗压强度不宜小于 0.3MPa。

9.2.3 水泥石土加固体的密实程度也可采用地质雷达配合布设格网测线的方法进行检测，通过对比加固作业前后成果图像差异，判定加固体密实程度。

9.2.4 地层加固体渗透系数的检测可采用注水试验法，每个加固段检测数量不宜少于 3 处。并应符合 SL31 的有关规定。

9.3 冻结

9.3.1 冻结孔成孔质量检测应包括开孔孔位、成孔偏斜及孔深检测。

9.3.2 冻结孔开孔位置误差不得大于冻结孔允许最大偏斜值，并不宜大于 100mm，冻结孔开孔间距误差不得大于 150mm。

9.3.3 成孔偏斜测量可采用经纬仪灯光或水平陀螺测斜仪测斜。对于深度小于 30m 的冻结孔可采用经纬仪灯光测斜，对于深度大于 30m 的冻结孔可采用水平陀螺测斜仪测斜。成孔偏斜精度应符合表 5 的要求。

表5 冻结孔偏斜精度要求

冻结孔类型	水平或倾斜冻结孔		
冻结孔深度 H(m)	≤10	10~20	20~30
冻结孔最大偏斜率（%）	≤1	≤1.2	≤1.5

9.3.4 成孔深度可用测绳或直尺测量，冻结管下入地层深度不得小于设计深度，且不宜大于设计深度 0.5m。

9.3.5 冻结壁质量检测应包括冻结壁厚度、强度及冻结壁平均温度。冻结壁厚度、强度宜根据平均温度进行推算，平均温度可采用图乘法、成冰公式或其他被广泛接受的计算方法进行计算，具体技术要求应符合表6的规定。

表6 冻结壁质量检测测点布置、检测数量及计算要求

检测项目	检测数量	测点位置布置	备注
厚度	测温孔不得少于2个	在冻结壁内、外设计边界上应各布置1个测温孔，孔深应不小于2m，每个孔应有2处检测点。测温孔应选取不存在冻结孔的冻结壁区域。	冻结壁厚度应根据测温数据进行推算，冻结壁厚度应每3~5米进尺计算一次。
厚度的探孔复核	不少于4处，冻结壁内外侧各2处	选取不存在冻结孔的冻结壁区域。	/
平均温度	测温孔不宜少于4个	在冻结壁内、外设计边界和冻结壁中部均应布置测温孔。在冻结壁的上、下设计边界上均应布置1个以上测温孔，深度应不小于2m。在集水井中部应布置1个以上测温孔，深度应与附近的冻结孔深度一致。	可采用图乘法、成冰公式或其他被广泛接受的计算方法进行计算。

9.3.6 冻结壁厚度也可采用地质雷达法进行探测，测线布置宜垂直于冻结壁。采用温度数据计算的冻结壁厚或雷达探测的冻结壁厚均应进行探孔法验证。

10 桥梁

10.1 通用要求

10.1.1 城市轨道交通桥梁工程质量检测应符合本章的规定。

10.1.2 桥梁工程结构质量检测应包括基础、下部结构、支座、上部结构、桥面系及附属设施。

10.1.3 1桥梁工程的基础检测应符合CJJ/T 290的有关规定。

10.2 下部结构

10.2.1 城市轨道交通桥梁工程下部结构检测包括墩台、桥塔、台帽和盖梁的混凝土强度及钢筋保护厚度。

10.2.2 混凝土强度质量检测可采用回弹法，应在混凝土强度有代表性的部位进行检测，并应符合5.3给出的细节。

10.2.3 混凝土钢筋保护厚度检测可采用电磁感应法，每个墩台、桥塔、台帽与盖梁不少于3处，每处不少于10点。判定标准应符合CJJ/T 290的有关规定。

10.2.4 钢结构的质量检测应包括焊缝质量、涂层厚度的检测，并依据GB/T 50261的规定执行。

10.3 支座

10.3.1 支座垫石应进行混凝土强度检测，可采用回弹法，按检测批进行随机抽样，抽检数量应符合表1A类抽样执行，质量判定标准符合设计要求。

10.3.2 支座与梁底及垫石间必须密贴无空隙，可采用观察法和塞尺测量法进行，质量判定标准应符合设计要求。

10.3.3 支座上、下座板必须水平安装，可采用水平尺法进行测量，质量判定标准应符合设计要求。

10.3.4 支座安装质量检测项目、数量、方法及判定标准应符合表7规定。

表7 支座安装质量检测要求

序号	项目		判定标准 (mmm)	检验数量	检测方法
1	支座下座板 中心与墩台 纵向偏差	墩台高度<30m	20	全数检查	水准仪、 经纬仪、 钢尺量。
		墩台高度≥30m	15		
2	支座下座板 中心与墩台 横向偏差	墩台高度<30m	15		
		墩台高度≥30m	10		
3	同端支座中 心横向距离	偏差与桥梁设计中心对称时	+30 -10		
		偏差与桥梁设计中心不对称时	+15 -10		
4	板式橡胶支 座	同一梁端两支座相对高差	1		
		每一支座板的边缘高差	2		
		上下座板十字线扭转	2		
		活动支座横向位移偏差	±3		
		活动支座的纵向偏差（按设计安装温度定位后）	±3		
5	盆式橡胶支 座	支座板四角高差	1		
		上下座板中心十字线扭转	1		
		同一梁端两支座高差	1		
		一孔箱梁四个支座中，一个支座不平整限值	3		
		固定支座上下座板及中线的纵、横错动量	1		
		活动支座横向位移偏差	±3		
		活动支座纵向位移偏差（按设计气温定位后）	±3		
6	球形支座	支座高程允许偏差	±5		
		支座偏位允许偏差	3		
7	钢支座	下座板中心十字线偏转	下座板尺寸<2000mm	1	
			下座板尺寸≥2000mm	1%边宽	
		固定支座十字线中心与 全桥贯通测量后墩台中 心线纵向偏差	连续梁或跨度 60m 以 上简支梁	20	
			跨度小于 60m 简支梁	10	
		固定支座上下座板中心线的纵横错动量	3		
		活动支座中心线的纵向错动量（按设计气温定位 后）	3		
		支座底板四角相对高差	2		
		活动支座的横向错动量	3		
上下座板及摇轴、辊轴之间的偏转	1				

10.4 预应力混凝土梁桥上部结构

10.4.1 钢筋混凝土与预应力混凝土梁桥上部结构检测应包括混凝土强度、钢筋保护层厚度，预应力混凝土梁桥上部结构检测还应包括静载弯曲试验。

10.4.2 混凝土强度、钢筋保护层厚度检测应符合 10.2.3 给出的细节。

10.4.3 预制梁首件及同一规格的梁每 30 片抽取一片应进行静载弯曲试验，并应符合 TB/T 2092 的有关规定。

10.5 钢桥及钢混叠（组）合梁桥

10.5.1 钢桥质量检测包括高强螺栓、焊缝、挠度、涂层厚度、涂层附着力。钢桥的高强度螺栓连接应符合 TBJ 214 的有关规定。

10.5.2 钢混叠（组）合梁质量检测除包括 10.5.1 规定的内容外，还包括剪力钉焊接质量、高强螺栓终拧扭矩、混凝土强度。

10.5.3 钢桥及钢混叠合梁桥焊缝质量检测可采用超声波法或射线探伤。超声波法检测数量为全数检测，射线探伤检测数量应符合设计文件的规定，并不应小于 10%。焊缝探伤检测应符合表 8 和表 9 的要求。

表8 焊缝超声波探伤内部质量等级

项目	质量等级	适用范围
对接焊缝	I	主要杆件受拉横向、纵向对接焊缝
	II	主要杆件受压横向、纵向对接焊缝
全熔透角焊缝	I	设计明确要求的熔透焊缝
角焊缝	II	主要角焊缝

表9 焊缝超声波探伤范围和检验等级

项目	探伤数量	探伤部位 (mm)	板厚 (mm)	检验等级
I、II 级横向对接焊缝	全部焊缝	全长	10~80	B
I 级纵向对接焊缝		焊缝两端各 1000		
II 级纵向对接焊缝		全长		
I 级全熔透角焊缝				
II 级角焊缝		两端螺栓孔部位并延长 500, 板梁主梁及纵、横梁跨中加探 1000	10~46	A
			46~80	B

10.5.4 钢桥现场涂装应符合 CJJ 2 的有关规定。

10.5.5 钢混叠合梁钢筋混凝土、预应力混凝土工程质量检测应符合 10.2.3 给出的细节。

10.5.6 钢混叠合梁高强螺栓应进行终拧扭矩检测，检测数量为 5%，且不少于 2 个。判定标准应符合 GB 50205 的有关规定。

10.5.7 钢梁涂层厚度可用干漆膜测厚仪进行检测，每 10m² 测 3~5 处，每处的数值为 3 个相距 50mm 测点涂层干漆膜厚度的平均值，总干膜厚度应符合设计要求，当设计无要求时应符合 GB50205 的有关规定。

10.5.8 涂层附着力检测方法按 GB 1720 或 GB 9286 执行，按构件数抽查 1%，且不应少于 3 件，每件测 3 处，当涂层完整程度达到 70% 以上时，涂层附着力达到合格质量标准的要求。

10.5.9 剪力钉焊接件应进行拉拔力试验，按量抽检 1%，且不少于 10 件，试验方法及判定标准应符合 GB 10433 的有关规定。

10.5.10 剪力钉焊接后应进行弯曲试验，每批同类构件抽查 10%，且不应少于 10 件，被抽查构件中，每件检查焊钉数量的 1%，但不应少于 1 个。试验可用手锤打击（或使用套管压），使其弯曲 30 试后用

角尺和观察检查，其焊缝和热影响区不应有肉眼可见裂纹。使用套管进行试验时，套管下段距焊肉上端的距离不得小于 1d。

10.6 拱桥

- 10.6.1 拱桥上部结构质量检测包括混凝土拱圈、装配式混凝土、拱上部结构、钢管混凝土拱肋。
- 10.6.2 混凝土拱圈、装配式混凝土拱部结构应进行混凝土强度检测，并应符合 10.2.2 给出的细节。
- 10.6.3 拱桥上部结构吊杆、系杆应进行索力及涂层厚度检测。索力检测可采用余弦振频率法，检测数量为全数检测。防护涂层厚度可采用涂层厚度仪进行检测，每批构件抽查 10%，且同类构件不少于 3 件，质量判定标准应符合设计要求。
- 10.6.4 钢管混凝土拱肋应进行脱粘（角度）率和脱粘空隙厚度检测，可采用超声波与人工敲击相结合的方法检测，检测数量为全数检测。脱粘（角度）率不应大于 20%，脱粘空隙厚度不应大于 3mm。
- 10.6.5 钢管混凝土拱肋还应进行节段焊接质量检测。所有焊缝均应进行全数无损探伤检测，两条焊缝交叉点须进行射线探伤检测。

10.7 斜拉桥

- 10.7.1 斜拉桥上部结构检测包括混凝土悬臂（现浇、拼装）、墩顶梁段及拉索。
- 10.7.2 混凝土悬臂应进行混凝土强度、钢筋保护层厚度检测，并应符合 10.2 给出的细节。
- 10.7.3 混凝土拼装悬臂结构检测包括焊接连接质量及高强螺栓连接质量检测，应符合 5.4.3 和 5.4.4 给出的细节。
- 10.7.4 斜拉索应进行索力及索长检测，应符合表 10 的规定。

表10 斜拉索的索力检测方法及要求

序号	项目	允许偏差 (mm)	检测数量	检测方法	
1	索力	±5%或设计允许偏差值	100%	索力仪测试	
2	索长	L≤100	±20	10%，且不少于 5 根。	尺量检查
		L>100	±0.0002L	10%，且不少于 5 根。	

10.8 悬索桥

- 10.8.1 悬索桥上部结构检测包括锚碇、预应力构件、塔、梁混凝土结构、主索鞍及散索鞍、主缆缠丝及锚头、索夹。
- 10.8.2 混凝土结构应进行混凝土强度、钢筋保护层厚度检测，并应符合 10.2.3 给出的细节。
- 10.8.3 锚碇还应进行地基承载力检测，并应符合 CJJ/T 290 的有关规定。
- 10.8.4 主索鞍、散索鞍应进行防护涂层厚度检测，可采用涂层测厚仪法，每个检测面抽检 10 个点，质量判定标准应符合设计要求。
- 10.8.5 主缆缠丝张力、防护层厚度检测应符合表 11 的规定。

表11 主缆防护检测项目及要

检查项目	规定值或允许偏差	检测方法和频率
缠丝张力(kN)	±0.3	标定检测：每盘测一次
防护层厚度(μm)	满足设计要求	涂层采用贴片法，密封剂采用切片法：每缆每 100m 测一处，每缆每跨不少于 3 处

- 10.8.6 锚头、索夹应进行喷锌厚度检测，可采用测厚仪法，每件应检测 1 点，质量判定标准应符合设计要求。

10.9 附属结构

10.9.1 附属结构检测包含伸缩装置、防落梁装置、接触网基础、声屏障、栏杆、电缆槽盖板。

10.9.2 伸缩装置质量检测包括焊接质量、锚固部位混凝土强度。

10.9.3 伸缩装置的焊缝（含伸缩装置与钢梁连接处的焊缝）质量检测可采用超声波法进行全数检测，质量判定标准应符合 GB 50205 的有关规定。

10.9.4 伸缩装置锚固区混凝土强度检测可采用回弹法进行全数检测，质量判定标准应符合设计要求。

10.9.5 接触网基础、混凝土护栏应进行混凝土强度、钢筋保护层厚度检测，按 6 米进行单个构件划分，混凝土强度可采用回弹法按照 A 类抽样检测，保护层厚度检测应符合 5.3.4 给出的细节，质量判定标准符合设计要求。

10.9.6 金属栏杆、防护网应进行涂层厚度检测，可采用涂层测厚仪检测，检测数量不应少于 5%。质量判定标准符合设计要求。

10.9.7 电缆槽盖板质量检测包括盖板承载能力、抗裂性。承载能力检测数量应不少于 0.1%，抗裂性检测数量应不少于 1%，盖板数量不足 100 件时，同类型产品按一批计。质量判定标准符合设计要求。

10.9.8 金属栏杆应进行杆件焊接质量检测，可采用超声波法，按照接头形式进行分类，同类焊缝抽查 1%，且不应少于 3 条，质量判定标准应符合 GB50205 的有关规定。

10.9.9 栏杆抗水平荷载性能检测可采用栏杆水平推力试验，每 50 米抽检 1 点，护栏最大的相对水平位移值、扶手的相对挠度及卸载 1min 后扶手的残余挠度均应满足设计要求，且不出现弛或脱落现象。

11 路基

11.1 通用要求

11.1.1 区间、车辆基地地面路基工程的质量检测应符合本章规定。

11.1.2 路基工程质量检测应包括地基处理、路堤、基床、路堑、路基、路基支挡与防护、涵洞。

11.2 地基处理

11.2.1 当路堤高度小于 2.5m 时，地基压实质量检测数量宜每 100m 等间距检查 4 个点，检测方法应符合 TB 10102 的规定；地基压实质量应符合设计要求，设计无明确要求时，其检测标准应符合表 12 的规定。

表12 路基基床检测标准

层位	填料类别	细粒土和 粘砂、粉砂	细砂、中砂、 粗砂、砾砂	砾石类	碎石类	块石类混合料
	压实指数					
表层 (0~0.4m)	压实度 K_h	91	—	—	—	—
	地基系数 K_{30} (MPa/cm)	0.9	1.0	1.2	1.2	—
	相对密度 D_r	—	0.75	—	—	—
	孔隙率 $n(\%)$	—	—	33	33	—
底层 (0.4~1.5m)	压实度 K_h	89	—	—	—	—
	地基系数 K_{30} (MPa/m)	0.8	0.8	1.0	1.0	1.2

	相对密度 D_r	—	0.7	—	—	—
	孔隙率 $n(\%)$	—	—	35	35	—
注：1 K_h 为重型击实试验对应的压实度； 2 K_{30} 为 30cm 直径荷载板试验得出的地基系数，一般取下沉量为 0.125cm 的荷载强度。						

11.2.2 换填地基的压实质量检测应符合 11.2.1 给出的细节。

11.2.3 砂、碎石垫层的压实质量应符合设计要求，其检测数量和方法应符合本标准 11.3.1 给出的细节。

11.2.4 强夯加固地基和重锤夯实加固地基应进行地基承载力检测，检测数量宜每 100m 等间距检查 3 个断面，每个断面左、中、右各 1 点。可采用动力触探和静力触探试验共同进行检测，每断面动力触探 2 个点静力触探试验 1 个点。对于贯入深度小于 4m 的一般粘性土或粘性素填土采用 N10，砂土或碎石土采用 N63.5。承载力应符合设计要求。

11.3 路堤

11.3.1 路堤的压实质量检测应每填高 0.9m 检测一次，纵向每 100m 应不少于 2 个断面 4 个检测点。每一填筑全宽采用同一种填料时，压实质量应符合设计要求。不同种类填料（除块石类混合料外）应采用双指标控制，并符合下列规定：

- 细粒土和砂类土中的粘砂土、粉砂土，应采用压实度和地基系数；
- 砂类土（粘砂土、粉砂土除外），应采用相对密度和地基系数；
- 砾石类土和碎石类土，应采用孔隙率和地基系数；
- 块石类混合料，应采用地基系数；
- 检测方法应符合 TB 10102 的规定，压实质量应符合设计要求。

11.3.2 路堤边坡压实质量检测每 100m 等间距应不少于 4 个检测点。检测方法应符合 11.3.1 给出的细节，压实质量应符合设计要求。

11.3.3 过渡段基床表层、基床底层及基床以下路堤均应进行填筑压实质量检测，检测数量为每个桥台、涵洞的每填筑压实层检测 2 点，检测方法应符合 11.2.3 给出的细节，压实质量应符合设计要求。

11.4 基床

11.4.1 路堤基床压实质量检测每填高 0.9m，纵向每 100m 应不少于 2 个断面 4 个检测点。检测方法应符合 11.2.1 给出的细节，压实质量应符合设计要求。不同种类填料（除块石类混合料外）应采用双指标控制，并应符合下列规定：

- 细粒土和粘砂土，应采用压实度和地基系数；
- 砂类土（粘砂土除外），应采用相对密度和地基系数；
- 砾石类土和碎石类土，应采用孔隙率和地基系数；
- 块石类混合料，应采用地基系数。

11.4.2 基床底层边坡的质量检测应符合 11.3.2 给出的细节。

11.4.3 基床表层采用级配碎石、级配砂砾石的填料时，应进行抽样检测，每 10000m³ 检验一组。检验方法符合 TB10102 的有关规定，质量判定标准符合设计要求。

11.4.4 路堤基床表层的填筑层压实质量及检验应符合 11.4.1 给出的细节。

11.5 路堑

11.5.1 路堑基床换填应进行压实质量检测，检测数量每 100m 应不少于 2 个检测点并符合 11.4.1 给出的细节。

11.5.2 基床表层的压实质量检测应符合本标准 11.4.1 给出的细节。

11.6 特殊土路基

11.6.1 软土路基地基处理、复合地基承载力检测及桩身质量检测应符合 JGJ 79、GB/T 50783 和 GB 50202 的有关规定。

11.6.2 湿陷性黄土路基压实度检测每层每 1000m² 不应少于 3 个检测点。可采用环刀法或灌砂法进行检测，并应符合表 13 的规定。

表13 湿陷性黄土检测方法、标准及数量

项目	检测标准	检测数量				
		范围(m)	点数			
夯点累计，夯沉量	不小于试夯时确定夯沉量的 95%	200	路宽(m)	<9	2	
				9~15	4	
				>15	6	
湿陷系数	符合设计要求		200	路宽(m)	<9	2
					9~15	4
					>15	6

注：隔 7~10d，在设计有效加固深度内，每隔 50~100cm 取土样测定土的压实度、湿陷性系数等指标。

11.7 路基支挡与防护

11.7.1 路堤边坡的压实度检测应符合 11.3 给出的细节。

11.7.2 路堤边坡地基承载力检测每道挡土墙基槽检测数量不应少于 3 点，可采用原位试验方法进行检测，地基承载力应符合设计要求。

11.7.3 现浇混凝土挡土墙质量检测应符合 5.3 给出的细节。

11.7.4 装配式混凝土挡土墙质量检测应符合 5.4 给出的细节。

11.7.5 加筋挡土墙填土压实度检测每预制挡板后方每层检测数量不应少于 1 点；可采用灌砂法或环刀法进行检测，压实度应符合设计要求。

11.7.6 土质基坑地基承载力可采用动力触探 (N63.5) 进行检测，检测数量和质量标准应符合设计要求。

11.7.7 换填基础应进行压实质量检测，检测数量每层不应少于 8 个点。可根据填料类别采用动力触探 (N10, N63.5) 或设计指定的其他方法进行检测，压实质量符合设计要求。

11.7.8 支挡与防护结构应进行混凝土强度和保护层厚度检测。宜根据材料性能、变形缝的间距每 6m 为 1 个检测构件进行抽样检测，或根据混凝土龄期划分检测批，抽样数量应符合 5.3.3 给出的细节。

11.8 涵洞

11.8.1 涵洞地基质量检测应包括承载力和压实度检测，检测数量每个涵洞不应少于 3 点。可采用触 (钎) 探法和灌砂法，承载力和压实度应符合设计要求。

11.8.2 现浇混凝土结构质量检测应符合 5.3 给出的细节。

11.8.3 装配式混凝土结构质量检测应符合 5.4 给出的细节。

附 录 A
(规范性)
结构检测方法

A.1 结构周围土体密实度探测

A.1.1 衬砌质量及背后土体密实性探测：应纵向布线，必要时可横向布线。纵向布线的位置应在隧道拱顶、仰拱、左右拱腰和左右边墙各布置1条测线。横向布线线距8~12m。采用点测时每断面不少于6个点。大断面及三线隧道应在拱顶部位增加2条测线。车站应根据施工工法及车站断面类型在每个导洞的拱腰及拱顶各布置1条测线。检测中发现不合格地段应加密测线或测点。

A.1.2 道床与底板剥离、路基密实性探测：应在轨中及两轨外侧各布置1条测线。

A.1.3 工前工后空洞普查：基本沿线路走向方向布置测线。明挖工程在基坑边缘外1m及4m各布置1条测线，暗挖区间及附属工程在隧道中线及中线左右4m各布置1条测线。暗挖车站在线路正上方每隔4m布置1条测线，直至车站边缘外扩4m范围内。

A.1.4 介质参数的标定应符合下列规定：

- a) 检测前应对衬砌混凝土的介电常数或电磁波速做现场标定，且每个单项工程应不少于1处，每处实测不少于3次，取平均值为该单项工程的介电常数或电磁波速。当衬砌材料或含水量发生较大变化时，适当增加标定点数；
- b) 标定可采用下列方法：
 - 1) 在已知厚度部位或材料与隧道相同的其他预制件上测量；
 - 2) 在已知地质剖面位置或通过钻孔剖面，用实测图像经标定获得。
- c) 标定结果应按下式计算：

$$\varepsilon_r = \left(\frac{0.3t}{2d} \right)^2$$

$$v = \frac{2d}{t} \times 10^9$$

式中 ε_r —相对介电常数；

v —电磁波速 (m/s)；

t —双程旅行时间 (ns)；

d —标定目标体厚度或距离 (m)。

A.1.5 探测分辨率、探测距离或深度的估算应符合下列规定：

- a) 宜取波长的1/4作为垂向分辨率，取第一菲涅尔带半径作为横向分辨率；第一菲涅尔带半径 r_f 应按下式计算：

$$r_f = \sqrt{\lambda h / 2}$$

式中： r_f ——第一菲涅尔带半径(m)；

λ ——雷达波波长(m)；

h ——目标体埋深或距离(m)。

- b) 探测距离或深度可用雷达方程估算，也可利用获得的介质电磁波速度和目标体双程走时换算。

A.1.6 衬砌内部钢架、钢筋位置分布的主要判定特征应符合下列要求：

- a) 钢架：分散的月牙形强反射信号；
- b) 钢筋：连续的小双曲线形强反射信号。

A.1.7 地下土体密实性解释应符合下列要求：

- a) 根据现场记录和调查，剔除干扰异常；
- a) 根据信号的能量、同相轴、相位和频率等特征提取探地雷达异常并进行解释；
- b) 宜结合地下管线类型和运行状况、路面裂缝、沉陷、修补或历史塌陷等资料进行解释；
- c) 雷达剖面图像上应标出目标反射波的位置或反射波组；
- d) 宜结合相邻测线探测结果确定地下病害的位置和范围。

A. 1. 8 成果图应包括雷达测线布置图、雷达剖面图像、成果解释剖面图。

A. 2 限界测量及隧道椭圆度

A. 2. 1 建筑限界测量方法可采用全站仪、水准仪、三维激光扫描仪及摄影测量仪器等。

A. 2. 2 横断面测量可采用不低于II级全站仪或断面仪等测量设备进行限界控制点测量，横断面里程中误差不应超过 $\pm 50\text{mm}$ ，断面限界控制点与线路中线法距的测量中误差不应超过 $\pm 10\text{mm}$ ，除横断面底板上的线路中线点外，其他限界控制点高程的测量中误差不应超过 $\pm 20\text{mm}$ 。

A. 2. 3 纵断面上线路中线点高程测量应使用不低于DS3级水准仪测量，里程中误差不应超过 $\pm 50\text{mm}$ ，高程测量中误差不应超过 $\pm 10\text{mm}$ 。

A. 2. 4 地面建筑限界测量应符合下列规定：

- a) 区间断面间距直线段宜为 12m 曲线段宜为 10m。断面上限界点位置由设计确定或根据建筑形状和限界紧张的部位；
- b) 车站站台侧的限界点位置应包括站台面与轨面的高度、站台沿与轨道中心线的距离、屏蔽门与站台沿或轨道中心线的距离；
- c) 断面测量宜采用全站仪极坐标法。

A. 2. 5 地下隧道与车站建筑限界测量应符合下列规定：

- a) 直线段每 6m、曲线段每 5m 测量一个建筑限界断面，结构横断面变化段和施工偏差较大段应加测断面；
- b) 区间横断面上测量点的位置应为依据断面形式确定的建筑限界测量点或由设计指定位置的测量点。对于既有结构，当由断面形式确定时，圆形断面不低于 9 个测量点，马蹄形断面不低于 15 个测量点，矩形断面不低于 10 个测量点；
- c) 车站站台侧的断面点位置应包括站台面与轨面的高度、站台沿与轨道中心线的距离、屏蔽门与站台沿或轨道中心线的距离，其余部位应按本条第 2 款的规定执行。对于既有结构，当由断面形式确定时，车站断面不低于 10 个测量点；
- d) 横断面底板上的限界控制点应为线路中线点，各个横断面底板上的线路中线点形成底板纵断面；既有结构横断面底板上的限界控制点应为轨面；
- e) 断面测量可采用可采用全站仪极坐标法、断面仪法、支距法、三维激光扫描法及摄影测量等。

A. 2. 6 高架结构建筑限界测量应符合下列规定：

- a) 建筑限界横断面应垂直于线路中线，断面间距直线段宜为 12m，曲线段宜为 10m；
- b) 区间建筑限界横断面上测量点的位置应由结构形状或由设计确定，对于既有结构，当由断面形式确定时，高架断面不低于 10 个测量点；
- c) 车站站台侧的建筑限界横断面点测量内容应包括站台面与轨面的高度、站台沿与轨道中心线的距离、屏蔽门与站台沿或轨道中心线的距离以及设计指定的项目；
- d) 横断面底板上的限界控制点为线路中线点，各个横断面底板上的线路中线点形成底板纵断面；
- e) 可采用全站仪极坐标法、断面仪法、支距法、三维激光扫描法及摄影测量等。

A. 2. 7 盾构隧道椭圆度测量应符合以下规定：

- a) 直线段每 6m、曲线段每 5m 测量一个断面，结构横断面变化段和施工偏差较大段应加测断面；

- b) 断面测量可采用全站仪极坐标法、断面仪法、三维激光扫描法及摄影测量等;
 - c) 采用全站仪或断面仪测量时,断面测量点数量不低于 13 个,并且均匀分布。
- A. 2. 8 断面测量完成后,应对结构断面测量成果进行校核,限界尺寸紧张的断面应进行复测。
- A. 2. 9 建筑限界测量完成后,应提供断面测量成果表,并绘制断面图。
- A. 2. 10 新建结构建筑限界测量完成后,应按照设计要求提供断面测量成果表以及断面图。
- A. 2. 11 建筑限界结果应按照设计要求或CJJ96进行评价。
- A. 2. 12 盾构隧道椭圆度检测结果应按照GB 50446进行评价。
- A. 3 超声波法检测钻孔灌注桩成孔、地下连续墙成槽质量**
- A. 3. 1 本方法适用于检测泥浆护壁钻孔混凝土灌注桩孔及地下连续墙槽段的垂直度、孔径(槽宽)及孔(槽)深。
- A. 3. 2 被检测孔径(槽宽)应不大于5.0m。
- A. 3. 3 检测中应采取有效措施,保证检测信号清晰有效。
- A. 3. 4 检测中探头升降速度不宜大于10m/min。
- A. 3. 5 超声波法检测仪器设备应符合下列规定:
- a) 检测精度应不低于 0.2%FS;
 - b) 测量系统为超声波脉冲系统,发射频率 88kHz,发射功率不小于 5W;
 - c) 检测通道至少为二通道;
 - d) 记录方式为模拟式或数字式;
 - e) 绞车悬挂下来的传感器在遇到护筒(槽壁)或孔(槽)底时应自动控制停机,也有紧急返回功能。
- A. 3. 6 超声波法现场检测应符合下列规定:
- a) 超声波法检测前,应利用护筒直径或导墙的宽度作为标准距离标定仪器系统。标定应至少进行 2 次;
 - b) 标定完成后,应及时锁定标定旋钮,在该孔(槽)的检测过程中不得变动;
 - c) 超声波法检测,应在清孔(槽)完毕后,孔(槽)中泥浆内气泡基本消散后进行;
 - d) 仪器探头宜对准护筒(导墙)中心轴线;
 - e) 宜正交 X-X'、Y-Y'二方向检测,直径大于 4m 的桩孔、支盘桩孔、试成孔及静载荷试桩孔应增加检测方位;
 - f) 应标明检测剖面 X-X'、Y-Y'走向与实际方位的关系;
 - g) 连续跟踪监测时间宜为 12h,每间隔 3~4h 监测一次,比较数次实测孔径(槽宽)曲线、孔(槽)深等参数的变化,得出合理的结论;
 - h) 现场检测的图像应清晰、准确。当不满足要求时,应降低泥浆中的砂子和泥土的比重后,重新检测。
- A. 3. 7 现场检测记录图应满足分析精度需要,并包括下列信息:
- a) 有明显的刻度标记,能准确显示任何深度截面的孔径(槽宽)及孔(槽)壁的形状;
 - b) 标记检测时间、设计孔径(槽宽)、检测方向及孔(槽)底深度。
- A. 4 接触式仪器组合法检测钻孔灌注桩成孔、地下连续墙成槽质量**
- A. 4. 1 本方法适用于检测钻孔灌注桩成孔的孔径、孔深、垂直度,及钻孔灌注桩成孔、地下连续墙成槽的沉渣厚度。

- A. 4.2 检测设备由孔径检测系统、高精度测斜仪和沉渣测定仪组成。
- A. 4.3 接触式仪器组合法采用的各种仪器设备，应具备标定装置。标定装置应经国家法定计量检测机构检定合格。
- A. 4.4 接触式仪器组合法的一般要求：
- 电缆拉力不小于 0.35t；（拉断力不小于 0.65t）
 - 工作温度：测量探管 0℃~50℃
 - 地面仪器 -10℃~45℃
 - 绝缘性能不小于 100MΩ/500V，在潮湿情况下不小于 2MΩ/500V。
- A. 4.5 孔径检测系统应符合下列规定：
- 被测孔径小于 1.5m 时，孔径检测误差 $\leq\pm 15$ mm；被测孔径大于等于 1.5m 时，孔径检测误差 $\leq\pm 25$ mm；
 - 孔深检测误差 $\leq 1\%$ ；
 - 灵敏度 $\geq 100\text{mV}/10\text{ cm}$ 。
- A. 4.6 沉渣测定仪应符合下列规定：
- 电极间距 0.02m \pm 0.5 mm；
 - 电阻率测量误差 $\leq 5\%$ 。
- A. 4.7 高精度测斜仪应符合下列规定：
- 测量范围 0°~10°；
 - 分辨率 0.05°；
 - 测量误差 $\leq\pm 0.1^\circ$
- A. 4.8 钻孔灌注桩成孔孔径检测应符合下列规定：
- 钻孔灌注桩成孔孔径检测，应在钻孔清孔完毕后进行；
 - 孔径检测系统进入现场检测前应进行标定。标定完毕后恒定电流源电流和量程，或仪器参数及起始孔径在检测过程中不得变动；
 - 孔径检测应自孔底向孔口连续进行。检测中探头应匀速上提，提升速度应不大于 10m/min。孔径变化较大处，应降低探头提升速度；
 - 检测结束时，应根据孔口护筒直径的检测结果，检查仪器的测量误差，必要时应重新标定后再次检测。
- A. 4.9 孔径记录图应满足下列要求：
- 有明显孔径及深度的刻度标记，能准确显示任意深度截面的孔径；
 - 有设计孔径基准线、基准零线及同步记录深度标记；
 - 记录图纵横比例尺，应根据设计孔径及孔深合理设定，并应满足分析精度要求。
- A. 4.10 钻孔灌注桩成孔垂直度检测应符合下列要求：
- 钻孔灌注桩成孔垂直度检测应采用顶角测量方法；
 - 成孔垂直度检测通常可在钻孔清孔完毕后，未提钻的钻具内进行。高精度测斜仪外加扶正器时，也可在孔径检测完成后直接在孔内进行成孔垂直度检测，扶正器的直径应根据设计孔径的大小合理选择，并满足测量精度要求；
 - 成孔垂直度检测应避免明显扩径段。
 - 成孔垂直度检测应避免明显扩径段；
 - 检测前应进行孔口校零，检测应自孔口向下分段进行，测点间距不宜大于 5m，在顶角变化较大处加密检测点数。必要时应重复检测；
 - 成孔垂直度检测结果以偏心距或测点顶角度表示。

A. 4. 11 沉渣厚度检测应符合下列要求:

- a) 钻孔灌注桩成孔、地下连续墙成槽的沉渣厚度检测, 宜在清孔(槽)完毕后, 灌注混凝土前进行;
- b) 沉渣厚度检测宜采用电阻率法检测;
- c) 沉渣测定仪应能绘出孔深~泥浆视电阻率曲线;
- d) 沉渣厚度检测应至少进行 3 次, 取 3 次检测数据的平均值为该成孔(槽)的沉渣厚度值。

A. 5 止水帷幕渗漏水检测

A. 5. 1 止水帷幕渗漏水的检测宜在基坑开挖前进行, 并应对补强加固后的修补位置的止水效果进行验证性复测, 直到检测无异常后, 方能进行土方开挖。

A. 5. 2 止水帷幕渗漏水的检测可根据测试条件选择充电法或声纳法。

A. 5. 3 充电法探测渗漏水应具备以下条件:

- a) 距离止水帷幕 5 米以内的区域地表相对平坦, 无石块、金属等异物, 电极接地条件良好或采取措施可以改善;
- b) 需探测的止水帷幕上部无覆土, 防止探测信号从止水帷幕上部进入检测区域;
- c) 基坑外钻孔布设探测系统供电极, 钻孔直径不小于 80mm, 深度不小于最大目标检测深度, 可以借用基坑外的钢制观测井。根据探测区域范围确定负极放置位置, 可以借用基坑内的降水井;
- d) 采集数据期间现场不可有电焊机工作, 无强电磁干扰。

A. 5. 4 仪器设备应满足下列要求

- a) 仪器系统工作温度为-20℃~50℃, 夏天工作时避免阳光直射, 冬天工作时注意保温;
- b) 电法测量系统: 电压控制器、数据采集器、电极、正极多路器、负极多路器、参考电极多路器、参考电极数据显示及存储终端、数据分析软件; 仪器主要技术指标除应符合《城市工程地球物理探测标准》CJJ/T 7 的规定外, 还应要求系统分辨率不低于: $\pm 0.05 \text{ mV}$;
- c) 电极器件应具有密封结构设计, 应耐油污污染、防腐蚀、防水、防潮、防静电干扰等, 保证在可控的环境条件下正常运行;
- d) 测量电极宜使用不极化电极。

A. 5. 5 充电法可根据需要选择使用电位法或梯度法测量方式, 现场工作布置应符合下列规定:

- a) 供电电极正极宜布在止水帷幕外, 负极宜布在止水帷幕内。同一剖面分段观测时候, 连接处应有重叠, 重叠点不应少于 3 个;
- b) 无穷远供电电极与测区的距离不宜小于测区对角线长度的 5 倍;
- c) 梯度法测量时, 应保持电极顺序, 距离一致; 电极间距宜为 0.5m-5m;
- d) 电位法测量时, 测量电极应布置在无穷远电极的相反方向;
- e) 电位法测量因接地条件影响而需改变测量电极位置时, 可沿垂直测线方向上移动, 但移动距离不得超过点距的 1/10。

A. 5. 6 充电法数据采集应符合下列规定:

- a) 应在供电电流稳定时进行电位差测量, 并宜每次测量前后各观测一次供电电流, 电流变化不得大于 2%;
- b) 现场充电电极宜为正极, 且宜保持测区内供电电极的极性不变;
- c) 测区内测量电极接线应一致, 并应记录观测值的正负;
- d) 电位法与梯度法应单独进行, 不得采用换算值;
- e) 每个探测段宜使用 2 个探测系统进行探测, 通过更换正极、负极、参考电极的位置或深度达到多次探测以提高探测准确度。

A. 5.7 充电法的重复观测可改变电流，但不得改变接地位置，重复观测在参加统计的一组观测值中，最大值与最小值之差相对二者平均值应满足下式中的规定：

$$2 \left(\frac{\Delta U_{\max} - \Delta U_{\min}}{\Delta U_{\max} + \Delta U_{\min}} \right) \times 100\% \leq \sqrt{2n} \times 5\%$$

式中： ΔU —观测的电位差值或其经对应供电电流归算后的数值（mV）；
 n —重复观测次数（不包括舍去超差数据的次数）。

A. 5.8 质量评价的最大均方差 δ_M 不得大于50%，并按下列公式计算：

$$\delta_M = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta_i}{T_i} \right)^2}{2n}} \times 100\%$$

$$\delta = \left(\frac{\Delta U}{I} \right) - \frac{\Delta U'}{I'}$$

$$T = \frac{\left(\frac{\Delta U}{I} \right) + \frac{\Delta U'}{I'}}{2}$$

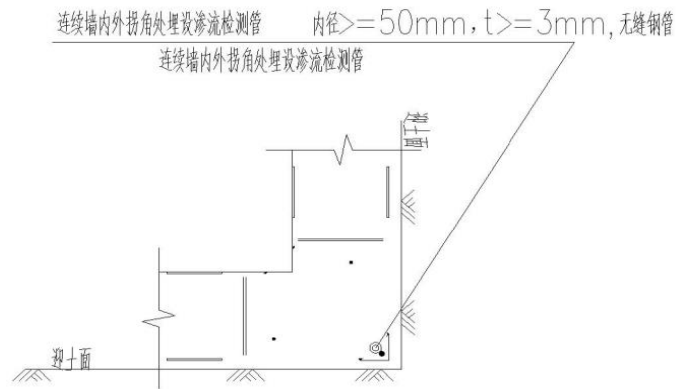
式中： ΔU 、 $\Delta U'$ —分别为原始观测和检查观测的电位差（mV）；
 I 、 I' —分别为原始观测和检查观测的供电电流（mA）；
 n —参加统计的检查点数

A. 5.9 根据观测值异常判断渗漏水可疑范围，渗漏水检测的结果宜分为三类：

- a) 无异常；
- b) 注意观察；
- c) 建议修补。

A. 5.10 声纳法探测渗漏水应具备以下条件：

- a) 声纳法现场检测前应进行坑内降水作业，水位降至开挖底板以下 2m；
- b) 在止水结构上预埋无缝钢管，内径 $\geq 50\text{mm}$ ，壁厚 $\geq 3\text{mm}$ ；埋管位置应放在迎水面一侧；埋管深度与地连墙同深；特殊位置的声纳渗流检测孔埋设位置可按图 a~f 布设；
- c) 预埋管接头应对接良好，无缝隙，接头牢固、密封，浇筑的混凝土不得进入管内，无破损，无堵塞，保证渗流检测管充水后，不漏水；
- d) 封堵预埋管底部，顶部管口拧紧顶盖，保持渗流管通畅、垂直，管顶高出表层支护面 200mm，在预埋管管口段用混凝土墩子固定，保证管口段的稳定性；
- e) 当止水结构不具备预埋管条件时，可选择在基坑迎水面的外侧钻孔埋管检测；
- f) 采集数据期间现场不可有振动干扰。



图A.1 坑拐角迎水面侧面埋管检测

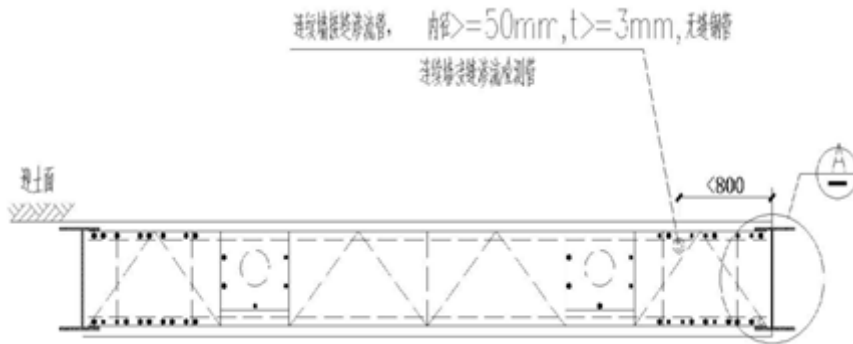
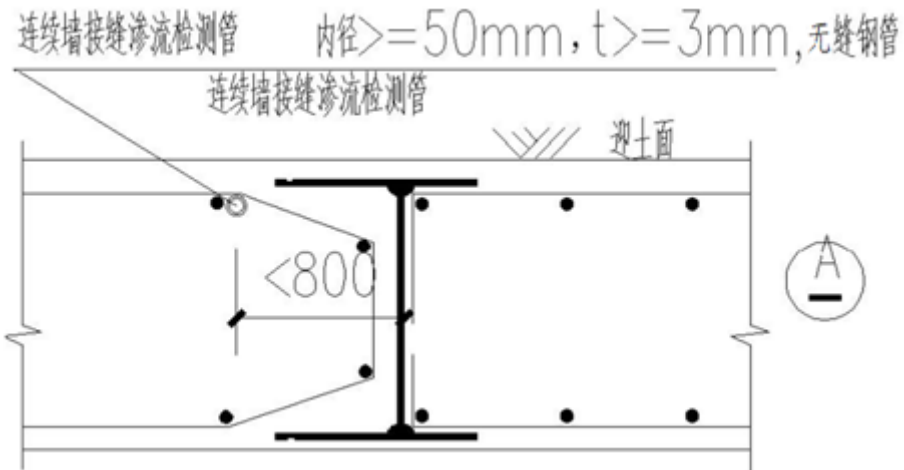
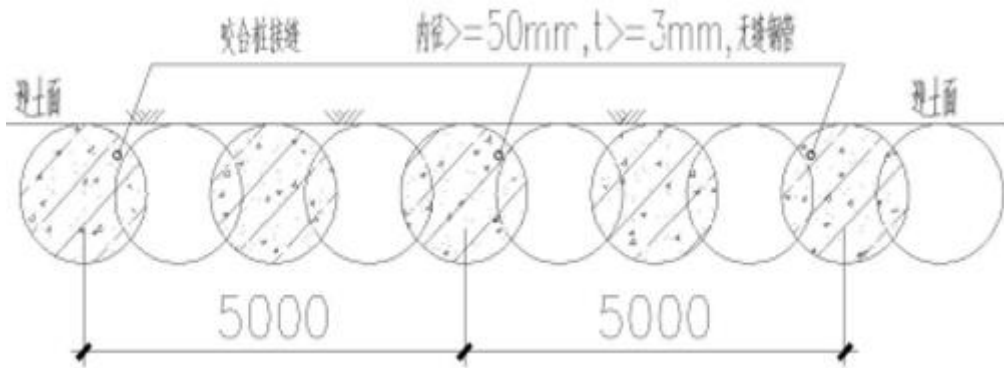


图 A.2 地连墙钢筋笼工字钢接头渗流检测无缝钢管布置平面图



图A.3 地连墙钢筋笼工字钢接头渗流检测无缝钢管布置平面图



图A.4 咬合桩钢筋笼接头渗流检测无缝钢管布置平面图

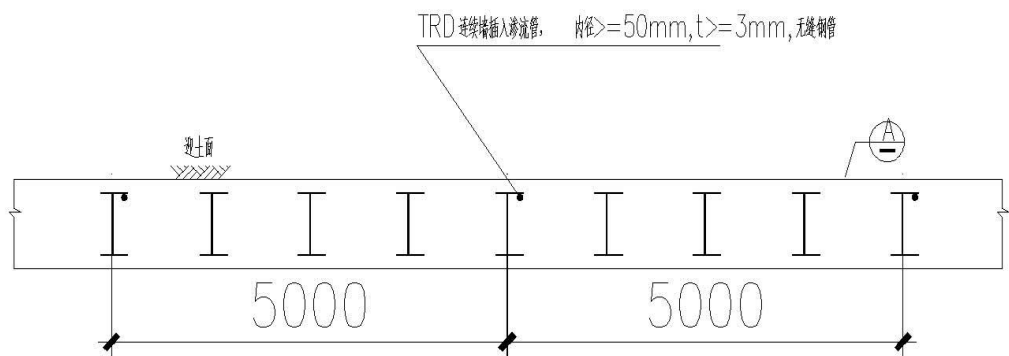


图 A.5 TRD 等厚地连墙插管检测

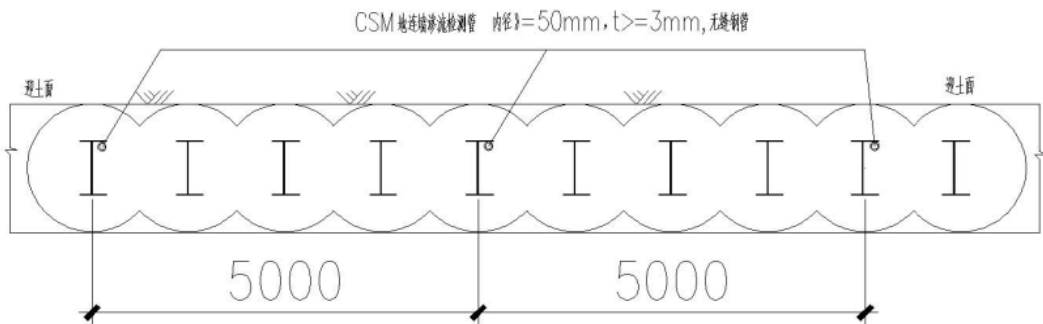


图 A.6 CSM 等厚地连墙外钻孔埋管检测

A. 5. 11 声纳法检测仪器设备应满足下列要求:

- 正常工作条件环境温度 $-10^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$;
- 声纳测量系统: 测量探头、电缆、数据采集单元、数据显示及存储终端、数据分析软件;
- GPS 定位系统, 定位允许误差为 $\pm 0.5\text{m}$; 坐标水下深度测量允许误差为 $\pm 0.07\%$;
- 仪器应直观显示声纳测量数据; 测量流速精度应达到 $1.0\text{E}-8\text{cm/s}$, 流向测量允许误差为 $\pm 0.4^{\circ}$ 。

A. 5. 12 声纳法数据采集应符合下列规定:

- 测量时应避开环境噪声, 如无法避开, 应进行噪声影响区内外声源条件检测对比试验, 并在数据处理时进行声源过滤处理;
- 通过预埋好的渗流检测管, 将带电缆的探头从管道口下放, 自上而下每隔 1m 测量 1 次, 直到探头测量到孔底为止;
- 测量探头放到底部时, 测线应保持松弛状态;

- d) 当渗漏检测异常时，应加大测点的密度，依据前次测点的指示方向跟踪渗漏的准确位置；
- e) 检测到疑似渗漏点位置时应进行 3 次重复测量；
- f) 被测量到渗漏点位置流速应与同条件的正常位置对比，且对比点数不应小于 3 个；
- g) 测量时间应至少 1 分钟。

A. 5. 13 声纳法探测数据的质量评价：

- a) 基坑内的声纳渗流检测值应小于 $1.0E-04\text{cm/s}$ 的流速安全值；
- b) 基坑内的声纳渗流检测值在 $1.0E-03\text{cm/s}\sim 1.0E-04\text{cm/s}$ 之间，应急处置流速值；
- c) 基坑形成渗漏通道流速 $\geq 1.0E-03\text{cm/s}$ ，需补强加固。

A. 5. 14 声纳法评定结果分为三类：

- a) 安全；
- b) 应急处置；
- c) 建议补强加固。

A. 5. 15 成果报告应包括以下内容：

- a) 工程名称、工程概况；
- b) 检测任务来源和检测目的；
- c) 检测依据，检测工作量，检测方法；
- d) 检测仪器设备型号、特性参数及检测情况；
- e) 检测施工图，相关的工程照片；
- f) 检测结果，包括整理后的数据和图表以及需要说明的事项；
- g) 检测结论。

参 考 文 献

- [1] GB 50010-2010 混凝土结构设计规范
 - [2] GB 50307-2012 城市轨道交通岩土工程勘察规范
 - [3] GB/T 50833 城市轨道交通工程基本术语标准
 - [4] GB/T 51310-2018 地下铁道工程施工标准
 - [5] CJJ/T 202-2013 城市轨道交通结构安全保护技术规范
 - [6] DB11/ 1444-2017 城市轨道交通隧道工程注浆技术规程
-