

桥梁预应力管道压浆密实度检测技术规范

Technical specification for grouting density detection of bridge prestressed pipeline

2025 - 07 - 29 发布

2025 - 08 - 29 实施

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体要求 2

5 检测 3

 5.1 通用要求 3

 5.2 抽检 4

 5.3 现场检测 4

6 数据处理 5

 6.1 一般规定 5

 6.2 定性检测评价指数计算 5

 6.3 定位检测评价指数计算 5

7 质量评定 7

 7.1 评定标准 7

 7.2 验证 7

8 报告编制 7

附录 A（资料性） 桥梁预应力管道压浆密实度检测现场记录表 9

 A.1 冲击回波定性检测现场记录表 9

 A.2 冲击回波定位检测现场记录表 10

 A.3 内窥镜法检测现场记录表 11

附录 B（规范性） 桥梁预应力管道压浆密实度内窥镜法 12

 B.1 检测设备 12

 B.2 现场检测 12

 B.3 检测数据判定 12

参考文献 13

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。

本文件由山东省交通运输厅提出并组织实施。

本文件由山东省交通运输标准化技术委员会归口。

桥梁预应力管道压浆密实度检测技术规范

1 范围

本文件规定了桥梁预应力管道压浆密实度在检测、数据处理、质量评定及报告编制方面的技术要求，描述了其证实方法。

本文件适用于后张法预应力混凝土桥梁管道压浆密实度的检测。

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。

JB/T 6822—2018 压电式加速度传感器

JGJ/T 411—2017 冲击回波法检测混凝土缺陷技术规程

JJG 338—2013 电荷放大器

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

压浆密实度 grouting density

固化填充粘结物在预应力管道截面内的密实程度。

3.2

冲击回波法 impact echo method

通过冲击方式产生瞬态冲击弹性波并接收冲击弹性波信号，通过分析冲击弹性波及其回波的波速、波形和主频频率等参数的变化，判断混凝土结构的厚度或内部缺陷的方法。

[来源：JGJ/T 411—2017，2.1.1]

注：冲击弹性波即冲击作用下的质点在弹性范围内以波动形式传播产生的运动。

3.3

定性检测法 qualitative detection method

在外露的预应力钢束两端分别进行激振并接收振动信号，通过分析信号传播过程中波速及频率参数的变化，定性判定预应力管道压浆密实度的方法。

3.4

全长波速法 full length P-wave velocity method; FLPV

根据弹性波在预应力管道中传播速度的大小来定性判断管道灌浆有无缺陷的分析方法。

3.5

全长衰减法 full length energy attenuation method; FLEA

根据弹性波在预应力管道中传播过程中能量的衰减比来定性判断管道灌浆有无缺陷的分析方法。

3.6

传递函数法 P-wave frequency transform functions method; PFTF

根据弹性波在预应力管道中传播频率的变化来定性判断管道两端有无缺陷的分析方法。

3.7

定位检测法 localization detection method

沿预应力管道长度方向，以扫描形式对管道逐点进行激振接收振动信号，通过分析信号传播过程中各点位管道及构件反射信号的传播时间变化，识别预应力管道压浆缺陷及位置的方法。

3.8

内窥镜法 endoscope method

对预应力管道开孔，或借助既有通道，利用光学仪器内窥镜对预应力管道内部进行拍照或摄像，根据影像判定压浆密实度的方法。

3.9

超声波法 ultrasonic wave method

利用超声波测量混凝土的声速、波幅和主频等声学参数，并根据这些参数及其相对变化分析判断预应力管道压浆密实度的方法。

3.10

等效波速法 impact echo equivalent velocity method; IEEV

根据激振弹性波信号判断管道压浆缺陷的定位检测方法，用于确定缺陷具体位置和判断缺陷大致类型。

3.11

共振偏移法 impact echo resonance shift method; IERS

根据激振弹性波信号分析管道检测面的自振周期与标定位置混凝土自振周期的差异性，来判断厚度大于80 cm混凝土构件缺陷的定位检测分析方法。

3.12

综合压浆指数 integrated filling index

压浆密实度定性检测过程中，根据波速、衰减、频率三个参数的线性分布指数进行几何平均的综合结果。

4 总体要求

- 4.1 桥梁预应力管道压浆密实度检测前，应根据预应力管道的特性、构件类型、压浆资料和工程现场情况，制定检测方案。
- 4.2 检测设备应在检定与校准有效期内使用，数据采集设备应满足 JJG 338—2013、JB/T 6822—2018。
- 4.3 检测前，应确认测试环境无强磁场、振动等影响测试的噪音源，检测部位混凝土应无表观缺陷、且表面平整、无浮浆。
- 4.4 管道压浆密实度检测方法包含冲击回波定性检测法、冲击回波定位检测法，验证时应结合内窥镜法或超声波法。压浆密实度检测方法按照表 1 进行选用。

表1 桥梁预应力管道压浆密实度检测方法及适用条件

检测方法		适用条件
冲击回波法	定性检测法	定性判定预应力管道整体压浆密实性，确定有缺陷的压浆管道与锚头附近有无缺陷
	定位检测法	确定管道压浆缺陷位置
内窥镜法		验证压浆密实度，适用于可钻孔的预应力管道
超声波法		验证预应力管道各位置处压浆密实度，适用于具有两个相对检测面且厚度不超过80 cm 构件内的预应力管道

- 4.5 桥梁预应力管道压浆密实度采用冲击回波法进行检测，检测技术应满足 JGJ/T 411—2017，根据检测目的和条件等因素合理选用定性检测或定位检测。
- 4.6 当检测情况出现异常时，可采用两种及以上检测方法联合使用，进行对比验证。
- 4.7 桥梁预应力管道压浆密实度检测应在浆体强度达到设计强度的 80% 以上时进行。
- 4.8 桥梁预应力管道压浆密实度检测流程按照图 1 进行。

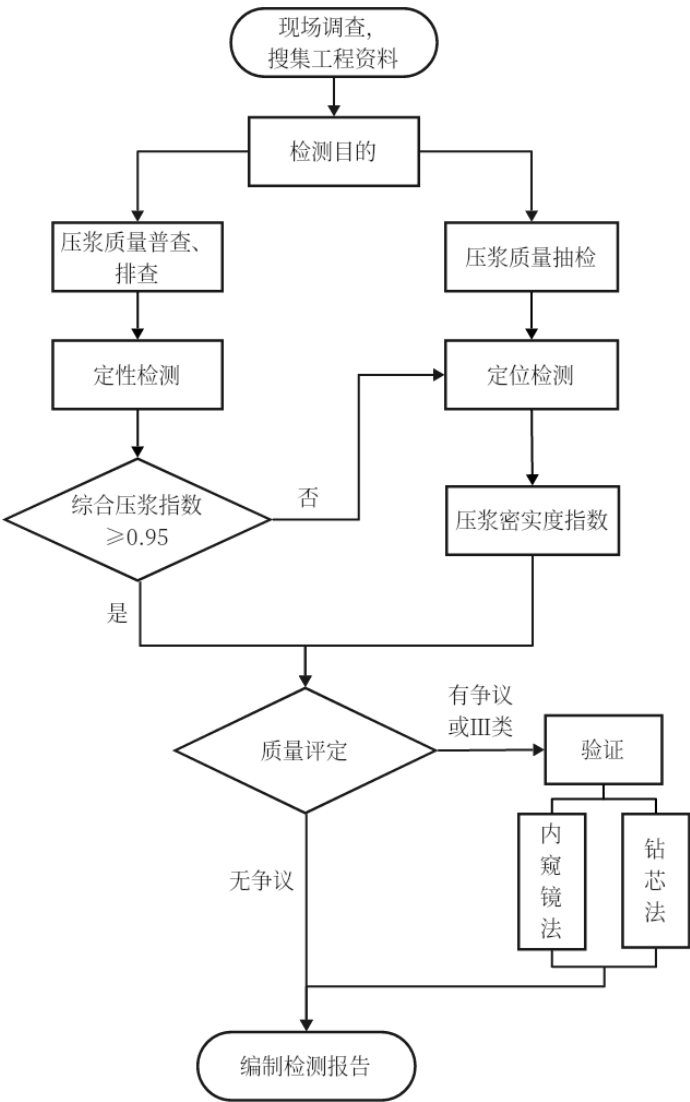


图1 压浆密实度测试流程图

5 检测

5.1 通用要求

- 5.1.1 对于梁体两端钢绞线露出长度 3 cm~5 cm，梁体总长度不大于 60 m 的预应力管道压浆质量检测时，宜采用定性检测。定性检测适用于压浆质量快速排查，不满足上述情况时，宜采用定位检测法对管道分段进行检测。
- 5.1.2 对于位置明确的预应力管道压浆密实度检测时，宜采用定位检测，对于测试梁板厚度不大于 60 cm 的单排管道，底端反射明显，应采用冲击回波等效波速法分析；对于测试梁板厚度大于 60 cm，或

底端反射不明显，或测试方向存在多排管道，管道埋置深度不大于 20 cm 的，宜采用共振偏移法分析。

5.2 抽检

- 5.2.1 检测前，应对预应力管道采取随机方式进行抽样，样本应具有代表性。
- 5.2.2 对被测预应力管道，应检测锚头两端、起弯点等位置，每处检测的范围不应小于 2 m；对其他位置可抽取不少于 2 m 长度进行检测。
- 5.2.3 装配式预应力混凝土梁（板）抽检比例每座桥不少于 3 片梁板且不少于梁板总数的 3%；对于被检测某片梁板，抽检不少于全部管道总数的 20%。
- 5.2.4 现浇预应力混凝土梁（板）抽检比例每座桥不少于 2 跨（段）梁板且不少于全部跨（段）梁板总数的 3%；对于被检测某跨（段）梁板，抽检不少于全部管道总数的 20%。
- 5.2.5 当预应力管道存在以下情况之一时，应加大抽检频率：
 - a) 压浆过程中压浆机出现故障或压浆材料发生初凝；
 - b) 压浆过程中发生堵塞；
 - c) 曲率半径较小。

5.3 现场检测

5.3.1 定性检测

- 5.3.1.1 现场检测前，应将预应力管道两端封锚砂浆凿除，并保证锚具与露出的预应力钢筋清洁干净。
- 5.3.1.2 检测前，应在无预应力管道的区域对波速进行标定，有效标定不应少于 6 处。
- 5.3.1.3 检测时，传感器宜采用磁性卡座或机械装置与预应力管道最上端的钢绞线端部耦合，并保证传感器轴线与钢绞线轴线基本平行。
- 5.3.1.4 检测宜采用激振锥配合激振锤等能够激发低频弹性波的激振方式。
- 5.3.1.5 按照附录 A 的要求做好相关记录（表 A.1）。

5.3.2 定位检测

- 5.3.2.1 定位检测时，测点传感器受信面应与构件表面充分耦合。
- 5.3.2.2 检测应根据检测对象的壁厚差异，按表 2 选取合适的激振锤进行激振。

表2 冲击回波定位检测时激振锤选择一览表

构件厚度 <i>b</i>	$b \leq 20\text{ cm}$	$20\text{ cm} < b \leq 40\text{ cm}$	$40\text{ cm} < b \leq 60\text{ cm}$	$b > 60\text{ cm}$
首选激振锤型号Dxx	D10	D17	D30	D30
备选激振锤型号Dxx	D17	D30	D30	D50
注：Dxx中D为激振锤名称代号，xx为激振锤直径，单位为mm。				

- 5.3.2.3 现场检测时，应根据设计值标注出被测管道位置，管道轴线在构件表面的投影作为测线，测线上相邻测点间距宜为 10 cm~20 cm，激振点与传感器间的距离应小于相邻测点距离。
- 5.3.2.4 检测应在无管道混凝土位置上选择测点或测线做为标定点（线）。
- 5.3.2.5 预应力混凝土梁顶板和底板宜采用从上表面（竖直）激振和拾振的方式进行检测，腹板宜采用从侧面（水平）激振和拾振的方式进行检测。
- 5.3.2.6 检测时，激振方向应与被测构件表面基本垂直，竖向测试时，激振点应布置在管道中心线的投影线上；水平测试时，激振点应在管道中心线的投影线上方 1 cm~2 cm 处。
- 5.3.2.7 按照表 A.2 的要求做好相关记录。

6 数据处理

6.1 一般规定

- 6.1.1 检测完成后，应对检测数据进行处理和分析，采用综合压浆指数 I_f 作为定性检测的评价指标，采用压浆密实度指数（ D ）作为定位检测的评价指标。
- 6.1.2 数据处理分析前应保证检测采集的数据真实有效。

6.2 定性检测评价指数计算

- 6.2.1 采用全长衰减法、全长波速法和传递函数法三个分项计算综合压浆指数 I_f ，计算方法见公式(1)：

$$I_f = (I_{ES} \cdot I_{PV} \cdot I_{TF})^{1/3} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

I_{ES} ——全长衰减法分项压浆指数；

I_{PV} ——长波速法分项压浆指数；

I_{TF} ——传递函数法分项压浆指数。

当压浆密实时， $I_f=1$ ，而完全未灌时， $I_f=0$ 。

- 6.2.2 各分项压浆指数是根据基准值线性内插计算得到的。条件允许时应对同梁场、同类型梁管道压浆前后弹性波传播波速、振幅和频率进行标定。如现场无法标定，基准值的相关信息见表 3。

表3 压浆指数的基准值

方法	项目	全压浆时值	无压浆时值
I_{ES} 全长波速法	波速（km/s）	混凝土实测波速 ^a	5.01 ^d
I_{PV} 全长衰减法	能量比 X ^b	0.02	0.20
I_{TF} 传递函数法	频率比（ F_r / F_s ） ^c	1.00	3.00
	受信频率 F_r （kHz）	2.0	4.0
<div>^a 梁的不同部位的混凝土的波速有一定的不同；</div> <div>^b 能量比X可按公式（2）计算；</div> <div>^c F_r、F_s分别是接收端和激振端信号的卓越频率（kHz）；</div> <div>^d 根据钢绞线的模量（196 GPa）推算，并结合实际测试进行验证。</div>			

$$X = \frac{A_r \cdot L}{A_s \cdot L_0} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

X ——能量比；

A_r ——接受端信号的振幅，单位为米每平方秒（ m/s^2 ）；

L ——管道全长，单位为米（ m ）；

A_s ——激振端信号的振幅，单位为米每平方秒（ m/s^2 ）；

L_0 ——管道长度基准值（可取10 m）。

6.3 定位检测评价指数计算

- 6.3.1 当通过标定测点（线）评价管道压浆密实度时，每测点应取 3 个有效波形，并分析各有效波形的主频（ f ）。主频（ f ）与平均值的差不应超过 2 倍采样频率间隔（ Δf ），测点的振幅谱图中构件厚度

对应的主频（ f ）应为 3 个有效主频的算术平均值。

6.3.2 等效波速 V_p 按公式（3）计算，反射周期（ T ）按公式（4）计算：

$$V_p = \frac{2H}{T} \dots\dots\dots (3)$$

$$T = \frac{1}{f} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

H ——混凝土构件的实际厚度，单位为米（m）；

T ——激发的弹性波在测试对象厚度方向一个来回的时间，亦即反射周期，单位为秒（s）；

f ——振幅谱图中构件厚度对应的主频，单位为赫兹（Hz）。

6.3.3 根据反射等效波速相对于标定测点（线）降低程度对压浆缺陷进行评价，按表 4 确定分级。

表4 压浆密实度评价标准

管道类型	测试方向	等效波速	压浆密实度
金属	水平	降低小于 5 %	良好
		降低 5 %～10 %	轻度缺陷
		降低 10 %以上	重度缺陷
	竖直	降低小于 10 %	良好
		降低 10 %～15 %	轻度缺陷
		降低 15 %以上	重度缺陷
塑料	水平	降低小于 5 %	良好
		降低 5 %～10 %	轻度缺陷
		降低 10 %以上	重度缺陷
	竖直	降低小于 10 %	良好
		降低 10 %～15 %	轻度缺陷
		降低 15 %以上	重度缺陷

6.3.4 当检测管道全长时，采用定位检测压浆密实度指数 D 作为定位检测的评价指标，并按公式（5）计算：

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \beta_i \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

式中：

N ——定位检测的点数；

β_i ——测点 i 的压浆状态系数，良好取 1，轻度缺陷取 0.5，重度缺陷取 0。

公式（5）也可改写成公式（6）：

$$D = \frac{N_J \times 1 + N_X \times 0.5 + N_D \times 0}{N} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

$$N = N_J + N_X + N_D$$

式中：

N_f ——混凝土构件的实际厚度，单位为米（m）；
 N_x ——激发的弹性波在测试对象厚度方向一个来回的时间，亦即反射周期，单位为秒（s）；
 N_D ——振幅谱图中构件厚度对应的主频，单位为赫兹（Hz）。

6.3.5 当仅检测管道局部时，用定位检测修正压浆密实度指数（ D_c ）来判定管道的压浆密实度，并按公式（7）计算：

$$D_c = \frac{DL_d + D_k(L - L_d)}{L} \dots\dots\dots (7)$$

式中：
 L_d ——检测区段总长度，单位为米（m）；
 D_k ——单条管道各检测区段中，压浆质量较好的连续区段长度的压浆密实度指数，该连续区段的长度不低于检测区段长度的1/2，按公式（6）计算。

7 质量评定

7.1 评定标准

根据定性检测综合压浆指数（ I_f ）及定位检测压浆密实度指数（ D 或 D_c ），宜按照表5进行压浆密实密实度质量评定。

表5 压浆质量评定标准

评价指标	评价参数	评价结果	说明
I_f	$0.95 \leq I_f \leq 1.00$	I 类	压浆密实
	$0.85 \leq I_f < 0.95$	II 类	压浆基本密实
	$I_f < 0.85$	III类	存在缺陷的可能性较大
D 或 D_c	$0.95 \leq D(D_c) \leq 1.00$	I 类	压浆密实
	$0.90 \leq D(D_c) < 0.95$	II 类	局部轻微缺陷
	$D(D_c) < 0.90$	III类	存在明显缺陷

7.2 验证

- 7.2.1 当测试结果出现争议或判定为III类时，应采用内窥镜法或取芯法进行开孔验证。
- 7.2.2 内窥镜法开孔验证时，开孔尺寸和数量应满足内窥镜法检测的相关要求。
- 7.2.3 当开孔时应避开钢筋，防止破坏。
- 7.2.4 内窥镜观察操作应满足附录 B 要求，并记录管道压浆状态，按照表 A.3 进行记录。
- 7.2.5 遗留的开孔宜采用环氧砂浆进行修复。

8 报告编制

- 8.1 桥梁预应力管道压浆密实度检测完后，应编制检测报告。
- 8.2 报告内容应至少包括以下内容：
 - a) 委托单位名称；
 - b) 工程概况，包括工程名称、结构类型、规模、施工日期等；
 - c) 检测项目、检测方法 & 检测依据；

- d) 仪器设备名称、型号、校准证书有效期；
- e) 抽样方法、检测数量与检测的位置；
- f) 检测日期，报告完成日期；
- g) 检测项目的主要检测数据和评价结论。

附 录 A
(资料性)

桥梁预应力管道压浆密实度检测现场记录表

A. 1 冲击回波定性检测现场记录表

桥梁预应力管道压浆密实度冲击回波定性检测现场记录表格式见表A. 1。

表A. 1 桥梁预应力管道压浆密实度冲击回波定性检测现场记录表

试验记录编号：第 页 共 页

工程名称				结构型式			
委托单位				施工单位			
检测单位				检测日期			
设备名称（编号）				检测依据			
梁（板）编号				压浆龄期			
梁（板）长度				压浆工艺			
管道编号	管道长度（m）	管道直径（mm）	钢束数量	0端	1端	保存文件名	判断结果
检测部位示意图							
备注							

检测：记录：复核：

A.2 冲击回波定位检测现场记录表

桥梁预应力管道压浆密实度冲击回波定位检测现场记录表格式见表A.2。

表A.2 桥梁预应力管道压浆密实度冲击回波定位检测现场记录表

试验记录编号：第 页 共 页

工程名称				结构型式			
委托单位				施工单位			
检测单位				检测日期			
检测设备/编号				检测依据			
梁板号/长度				压浆龄期			
压浆料配比				压浆工艺			
管道编号	管道直径(mm)	钢束数量	管道材质	检测部位	检测方向	激振锤	保存文件名
检测部位示意图							
备注							

检测：记录：复核：

A.3 内窥镜法检测现场记录表

桥梁预应力管道压浆密实度内窥镜检测现场记录表格式见表A.3。

表A.3 桥梁预应力管道压浆密实度内窥镜法检测现场记录表

试验记录编号：第 页 共 页

工程名称				结构型式			
委托单位				施工单位			
检测单位				检测日期			
设备名称（编号）				检测依据			
梁（板）编号				压浆龄期			
梁（板）长度				压浆工艺			
管道编号	管道长度（m）	管道直径（mm）	钢束数量	检测部位	检测方向	保存照片名	缺陷长度（m）
检测部位示意图							
备注							

检测：记录：复核：

附录 B

(规范性)

桥梁预应力管道压浆密实度内窥镜法

B.1 检测设备

B.1.1 检测系统包括内窥镜探头、蛇形软管、专用显示器、控制软件和其它附件。

B.1.2 内窥镜探头图像分辨率不低于 720×756 像素。

B.1.3 蛇形软管应符合下列规定：

- a) 直径不大于 6 mm；
- b) 柔软且弯曲不易被折断。

B.2 现场检测

B.2.1 将内窥镜探头插入缺陷区域进行拍摄。

B.2.2 拍摄的影像资料应全面反映压浆缺陷情况。

B.2.3 根据内窥镜观察到的管道缺陷情况确定缺陷长度。

B.2.4 按照表B.3进行记录。

B.3 检测数据判定

内窥镜法检测结果直观可靠，成像清晰可见，可直接采用拍摄图像及量测缺陷区域长度进行判定。

参 考 文 献

- [1] JGJ/T 411—2017 冲击回波法检测混凝土缺陷技术规程
-