

ISC XXXXXX

GCS XXX

DB64

宁夏回族自治区地方标准

DB 64/TXXXX—20XX

冲击弹性波法检测预应力混凝土梁 孔道注浆密实度技术规程 (征求意见稿)

20XX-XX-XX发布

20XX-XX-XX实施

宁夏回族自治区市场监督管理厅

发布

目 次

前 言	2
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语与定义	3
4 基本要求	5
4.1 一般规定	5
4.2 试验器具	5
4.3 抽样要求及检测频率	6
5 检测规定	7
5.1 检测方法	7
5.2 检测分析原理	10
5.3 现场检测技术	13
5.4 质量评定	14
附录 A（资料性） 桥梁预应力孔道注浆密实性检测流程图	18
附录 B（资料性） 桥梁预应力孔道注浆密实性冲击回波定性检测现场记录表	19
附录 C（资料性） 桥梁预应力孔道注浆密实性冲击回波定位检测现场记录表	20
附录 D（资料性） 桥梁预应力孔道注浆密实性 X 射线法检测现场记录表	21
附录 E（资料性） 桥梁预应力孔道注浆密实性内窥镜法检测现场记录表	22
附录 F（资料性） 预应力混凝土梁孔道注浆缺陷处理技术	23
附录 G（资料性） 定位检测结果的辅助验证法（开孔验证法）	24
附录 H（资料性） 定位检测结果的辅助验证法（X 射线法）	26
附录 I（资料性） 冲击弹性波法检测预应力混凝土梁孔道注浆密实度的影响因素	27

前 言

目前我国无专门针对预应力混凝土梁孔道注浆质量无损检测的国家、行业标准，为适应宁夏地区公路建设需要，保证桥梁孔道注浆质量，提高桥梁耐久性和使用寿命，规范预应力混凝土梁孔道注浆密实度无损检测方法、检测频率及评定依据，特制订本技术规程。

本规程在编制过程中，分析了国内外大量技术资料，广泛征求相关专家意见，认真总结了我区预应力混凝土梁孔道注浆无损检测实践经验与研究成果，经反复论证、修改完善后形成本规程。

本规程的编写格式符合GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的要求，采用国家法定标准计量单位编制。

本规程为宁夏地区的地方标准，如相应的国家标准、行业标准颁布实施，还应符合国家和地方法律法规和相关标准的规定。

本规程的主要技术内容包括：范围、规范性引用文件、术语与定义、基本要求、检测规定、附录。

本规程由宁夏回族自治区市场监督管理局提出并归口。

本标准主编单位：宁夏交通科学研究所有限公司

本标准参编单位：宁夏回族自治区交通建设工程质量监督局、宁夏公路建设管理局、宁夏公路工程质量检测中心（有限公司）、宁夏科立诚工程监理有限公司、宁夏中达公路建设有限公司、宁夏交通建设股份有限公司、宁夏交投科技发展有限公司

本标准批准部门：宁夏回族自治区市场监督管理局

本标准主要审查人：

本标准主要起草人：

冲击弹性波法检测预应力混凝土梁孔道注浆密实度技术规程

1 范围

- 1.1 本规程规定了预应力孔道注浆密实度检测的规范性引用文件、术语与定义、基本要求、检测规定等。
- 1.2 本规程适用于宁夏回族自治区境内桥梁预应力孔道注浆密实度检测及结果评定，其他结构形式的孔道注浆密实度检测及结果评定可参照本规程执行。

2 规范性引用文件

下列标准对于本规程的应用是必不可少的。凡是注日期的引用标准，仅注日期的版本适用于本规程。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本规程。

JGJ/T 182-2009 锚杆锚固质量无损检测技术规程

JGJ/T 411-2017 冲击回波法检测混凝土缺陷技术规程

3 术语与定义

下列术语与定义适用于本规程。

3.1 冲击弹性波 Impact elasticity waves

冲击作用下的质点以波动形式传播在弹性范围内产生的运动，亦称应力波。

3.2 激振锤 excitation hammer

发生冲击弹性波的激励装置。

3.3 卡座 fixture

用于耦合传感器与被测对象的磁性或机械装置。

3.4 注浆密实度 the duct grouting compactness

有粘结预应力孔道中，固化填充粘结物（浆体）在孔道体积内的充实程度。

3.5 注浆密实度指数 Compactness index

用于定量描述孔道灌浆密实部分所占比例的值，分为检测区段灌浆密实度指数，用 D 表示，和全孔道修正灌浆密实度指数，用 D_e 表示。

3.6 综合注浆指数 Integrated Filling index

基于全长波速原理（FLPV）、传递函数原理（PFTF）等检测原理分析得到的定性反映灌浆密实度

的指标，用 I_f 表示。

3.7 定性检测法 (QT) Qualitative testing

通过对梁体两端外露的钢绞线进行激振和拾振，分别记录预应力梁两端的检测数据，进而对整个钢绞线的注浆饱满度加以分析判断的检测方法。

3.8 定位检测法 (LD) Location detection

沿波纹管位置的走向以等效间距逐点激振，通过采集数据及数据分析对灌浆缺陷的位置、规模等进行定位的检测方法。

3.9 全长波速原理 (FLPV) Full - length P-wave velocity principle

根据激振弹性波信号在注浆孔道中的传播速度定性判断孔道有无缺陷的检测分析原理。

3.10 全长衰减原理 (FLEA) Full Length Energy Attenuation principle

根据激振弹性波的受信信号能量和激振信号能量比值对孔道注浆密实度进行判断的定性检测分析原理。

3.11 传递函数原理 (PFTF) P-wave Frequency Transform Functions principle

根据激振弹性波信号在传播过程中的频率变化判断孔道端部有无缺陷的定性检测分析原理。

3.12 波形特征对比原理 (WFCP) Waveform feature contrast principle

运用接收弹性波信号的时间差及波形特征对比分析判断孔道注浆缺陷的定性检测分析原理。

3.13 冲击回波等效波速原理 (IEEV) Impact Echo Equivalent Velocity principle

根据信号反射和绕射特征确定孔道注浆缺陷具体位置和判断缺陷大致类型的定位检测分析原理。

3.14 冲击回波原理 (IE) impact echo principle

根据激振弹性波信号反射特性判断孔道是否存在缺陷的定位检测分析原理。

3.15 共振偏移原理 (IERS) Impact Echo Resonance Shift principle

根据激振弹性波信号反射偏移时刻可判断孔道是否存在缺陷，及缺陷大致类型的定位检测分析原理。

3.16 见证检验检测 (见证) Witness testing

在试验检测专业监理人员监督下，由施工单位试验专业技术人员实施的检验检测活动。

3.17 平行检验检测 (平行) Parallel inspection

监理单位或第三方检测机构利用一定的检验检测手段，在施工单位自检的基础上，按照一定的比例独立进行的检验检测活动。

3.18 符号

下列符号适用于本规程。

D : 注浆密实度指数，在孔道长度中，注浆密实部分所占的比例。

D_e : 检测孔道的局部时，修正注浆密实度指数。

D_k : 当该孔道各检测区段中，注浆质量较好的连续区段的注浆密实度。

N : 定位检测的点数。

N_j : 注浆密实测点数。

N_b : 注浆缺陷测点数。

β : 测点的注浆状态。

L_d : 检测区段长度。

L_o : 孔道全长。

L : 孔道长度基准值（一般取 10m）。

I_r : 定性检测综合注浆指数。

IPV: 为根据全长波速法 (FLPV) 得到的分项注浆指数。

ITF: 为根据传递函数原理 (PFTF) 得到的分项注浆指数。

4 基本要求

4.1 一般规定

4.1.1 施工单位应按本规程的有关规定进行抽样自检、监理单位应按本规程的规定进行平行或见证检测，第三方检测单位应按本规程规定进行独立抽检。

4.1.2 检测设备必须送国家认可的计量机构进行检定或校准，经检定或校准结果合格后使用。

4.1.3 检测过程中需记录被测对象编号、孔道编号、锚头编号、钢束编号、桩号等能说明检测区域准确位置的信息。在条件允许时，还宜记录检测现场的 GPS 信息。

4.1.4 孔道注浆 7 天后方可进行密实度检测。

4.1.5 检测宜在 0~40℃环境温度下进行，机械振动和高振幅电噪声干扰环境下不宜进行检测。

4.2 试验器具

4.2.1 检测设备应适合于冲击弹性波信号采集与分析，主要包括激振装置、传感器、数据采集系统、数据显示系统、数据分析系统等。

4.2.2 检测设备应符合下列规定

4.2.2.1 激振器应能产生适应测试对象厚度或长度的弹性波。

4.2.2.2 接收系统频响范围应适用频率在 1~60kHz 信号的采样。

4.2.2.3 采样位数不应小于物理 24 位，最大采样频率不应小于 500kHz。

4.2.2.4 检测仪标定幅值非线性误差应在 ±5% 以内（标准信号 1V）；电信号测量相对误差应在 ±1.0% 以内。

4.2.3 检测设备应定期进行检定或校准，周期不宜超过一年。仪器更换配件或维修后，应检定或校准后方可使用。

4.2.4 传感器耦合方式

4.2.4.1 基本要求

检测时应保证传感器与被测面紧密耦合，且接触面无浮浆、灰尘等异物。

4.2.4.2 定性检测

传感器宜采用磁性卡座（或机械装置）与最上端的钢绞线耦合，并保证传感器轴线与钢绞线轴线平行。粘接面应无灰尘等杂质，且传感器应与钢绞线结合稳固。

4.2.4.3 定位检测

传感器以均匀的力度按压在结构表面，保持紧密接触。为增加传感器与被检对象的接触刚性，必要时可使用带支座的加速度传感器。

4.2.5 激振锤的选取

4.2.5.1 定性检测

应采用能有效穿透整个梁体的激振波长的激振工具，且在同批次梁体检测中避免更换激振方式。

4.2.5.2 定位检测

- a) 冲击回波定位检测时，宜根据被测构件厚度按表 1 规定选择适宜的激振锤进行激振检测。
- b) 当对检测结果有怀疑时，可换用备选激振锤再次进行激振检测。

表 1 冲击回波定位检测时激振锤选择一览表

构件厚度 b	$b \leq 20\text{cm}$	$20\text{cm} < b \leq 40\text{cm}$	$40\text{cm} < b \leq 60\text{cm}$	$b > 60\text{cm}$
首选激振锤型号 Dxx	D10	D17	D17	D30
备选激振锤型号 Dxx	D6、D17	D10	D30	D50
注：Dxx 中 D 为激振锤名称代号，xx 为激振锤直径，单位 mm。				

4.3 抽样要求及检测频率

4.3.1 孔道注浆密实度抽检频率见表 2。

表 2 孔道注浆密实度抽检频率

频率 结构	施工单位	监理单位	第三方检测单位
预制梁	1) 对于每个梁场中的各种梁型、改变了施工工艺或注浆材料时，最初施工的 3 片梁须全部检测。 2) 其余梁板按照不少于总梁板数 50%的比例进行检测。	1) 对于每个梁场中的各个梁型，以及改变了施工工艺、注浆材料时，最初施工的 3 片梁监理单位须全部见证。 2) 其余梁板按照施工单位自检频率的一定比例进行见证或平行。见证频率不少于 20%，平行频率不少于 10%。	按照不少于总梁板数 5%的比例进行平行抽检。
现浇梁	1) 对各种梁型、改变了施工工艺或注浆材料时，最初施工的 1 跨（联）预应力现浇梁须全部检测。 2) 其余梁按照不少于总梁跨（联）数 50%的比例进行检测。	1) 对各种梁型、改变了施工工艺或注浆材料时，最初施工的 1 跨（联）预应力现浇梁监理单位须全部见证。 2) 其余梁按照施工单位自检频率的一定比例进行见证或平行。见证频率不少	按照不少于总梁跨（联）数 5%的比例进行平行抽检。

		于 20%，平行频率不少于 10%。	
其他构件	1) 以单个构件为检测单元，结构、施工工艺或注浆材料改变时，首件需全部检测。 2) 其余构件按照不少于总构件数 50%的比例进行检测。	1) 以单个结构为检测单元，结构、施工工艺或注浆材料改变时，首件监理单位需全部见证。 2) 其余构件按照施工单位自检频率的 20%进行见证。	/

4.3.2 检测抽样须具有代表性。检测某构件时，一般应检测该构件的全部孔道。注浆过程中出现施工异常的孔道、堵管的孔道，腹板孔道中弯曲较大的孔道锚头两端、负弯矩、起弯点等容易出现不密实的位置应作为检测重点。

4.3.3 监理单位见证或平行抽检的工程部位由监理单位试验检测专业技术人员自行选取，对孔道注浆密实度质量有疑问时应重点抽检。

4.3.4 本批次检测对象中超过 10%（含）不合格时，应双倍抽样检测；超过 30%（含）不合格时，应全部检测。

5 检测规定

5.1 检测方法

5.1.1 定性检测法（QT）

冲击弹性波定性检测法（简称定性检测法），是通过两端外露的钢绞线进行激振和拾振，分别记录下两端的弹性波特征数据，进而对整个钢绞线的注浆饱满度加以分析的检测方法。

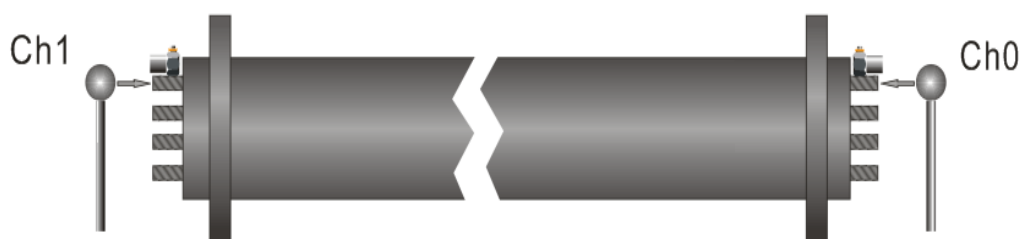


图 1 定性检测法（QT）示意图

5.1.2 定位检测法（LD）

冲击弹性波定位检测法（简称定位检测法），是沿波纹管位置的走向，以不大于 20 厘米的等效间距逐点激振，通过侧壁或者顶（底）面激振、接收弹性波的方式，对灌浆缺陷的位置、规模等进行定位的检测方法。

5.1.3 检测方法的适用范围及方法选择

5.1.3.1 定性检测方法适用范围

定性检测方法主要用于评定整个孔道或某端孔道注浆质量有无严重缺陷，属常规性检测，一般适用于以下情况：

- 1) 孔道注浆质量（如是否存在漏注浆、孔道堵塞造成大面积空管等）的普查；
- 2) 单孔波纹管长度不大于 50 m，梁体两端钢绞线露出（外露长度一般为 3~5 厘米）的纵向、横向预应力孔道。
- 3) 钢绞线一端露出（外露长度一般为 3~5 厘米）的竖向波纹管。

5.1.3.2 定位检测法（LD）适用范围

定位检测适用于检测孔道注浆缺陷的位置、大致尺寸和缺陷类型，可在定性检测综合注浆指数不满足要求或无法进行定性检测的情况下采用。在检测对象的厚度不大，底端反射明显时，应优先采用冲击回波原理（IE）进行分析。而当检测对象厚度较大，底端反射不明显时，则需要采用共振偏移原理（IERS）进行分析。

定位检测需要具备以下条件：

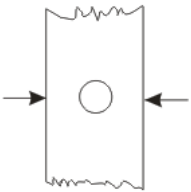
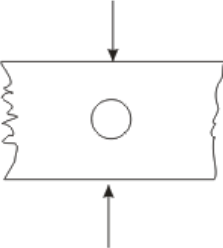
- 1) 孔道走向及位置能够精确确定。
- 2) 检测及辅助人员可以在距离孔道侧壁较近的位置操作。
- 3) 构件表面规则平整或经打磨后规则平整。
- 4) 孔道直径（ d ）和孔深（检测面至孔道表面的距离）应符合以下条件：

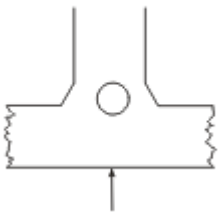
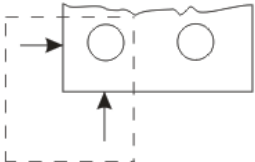
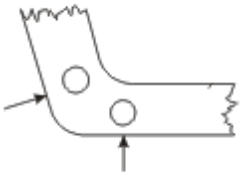
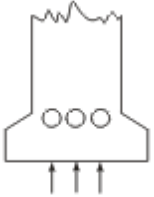
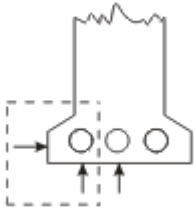
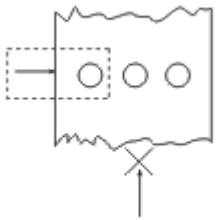
当 $0.3 < d/T < 1.5$ 时，且属于单排预应力孔道可检测出缺陷的大致尺寸及类型。

当 $1.5 \leq d/T$ 时，或者 $0.3 < d/T < 1.5$ 属于多排（2 个及以上）预应力孔道的仅能检测出距离检测面最近的孔道是否存在缺陷。

5.1.3.3 不同结构适用的分析原理可参照表 3 选取。

表 3 不同结构适用的分析原理参照表

常见结构类型	适用分析原理	检测效果	适用结构
	IEEV/IE/IERS	可检测出缺陷的大致类型、尺寸	箱梁腹板、T 梁腹板或者其他单排波纹管结构
	IEEV/IE/IERS	可检测出缺陷的大致类型、尺寸	单排结构的负弯矩，连续梁顶板等单排结构

	IE/IERS	可检测出该处是否存在缺陷	箱梁顶板拐角处、空心板、单箱多室横隔板位置等其他类似结构
	IE/IERS	可检测出该处是否存在缺陷	T 梁马蹄部位、连续梁腹板、底板等结构
	IE/IERS	可检测出该处是否存在缺陷	箱梁底部拐角或者其他类似结构
	IE/IERS	可检测出该处是否存在缺陷	T 梁孔道在腹板与马蹄之间的结构或者其他类似结构,侧面无激振面,尽可能从下部激振
	IE/IERS	可检测出该处是否存在缺陷	T 梁进入马蹄部位或者其他类似结构
	IE/IERS	可检测出该处是否存在缺陷(中部孔道为检测盲区)	多排类型波纹管的板式结构,其中部孔道为检测盲区无法进行定位检测,有条件可考虑定性检测

5.1.4 定性检测效率高,检测时间短,可对孔道整理注浆质量进行综合评定,但难以判断缺陷具体位置和类型;定位检测精度高,容易对缺陷位置和类型进行精准评定,但检测时间较长,效率相对较低。因

此定性检测与定位检测是检测效率与检测精度的平衡，两种方法相互补充。定性、定位检测方法操作方式、适用范围见表 4。

表 4 孔道注浆密实度检测方法一览表

方法	主要操作方式	适用范围
定性检测法 (QT)	在锚索两端上激振与受信。	对预应力孔道全长范围内整体注浆情况进行检测。
定位检测法 (LD)	与孔道延伸轨迹一致，相邻测点间距相等且 $\leq 20\text{cm}$, 在距孔道最近的检测面，孔道正上方激振。	定位检测用于确定缺陷的具体位置和长度。

5. 2 检测分析原理

5. 2. 1 全长衰减原理（FLEA）

定性检测法（QT）的分析原理之一。一般情况下，接收端与发射端能量比越小，注浆越密实。如果孔道注浆饱满度较高，注浆较密实，能量在传播过程中被吸收或逸散的多，衰减大，振幅比小。如果孔道注浆饱满度较低，能量在传播过程逸散较少，衰减小，振幅比大。因此，通过获取能量衰减的数据，可以推测注浆质量的优劣。

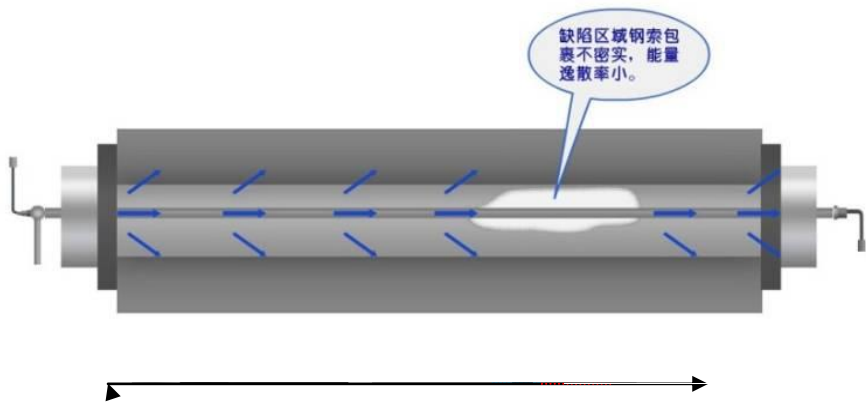


图 2 全长衰减原理（FLEA）分析示意图

5.2.2 全长波速原理（FLPV）

定性检测法（QT）的分析原理之一。通过检测弹性波经过钢绞线（锚索）的传播时间，并结合钢绞线（锚索）的距离计算出弹性波经过钢绞线（锚索）的波速。通过波速的变化来判断预应力管道注浆饱满度情况。一般情况下波速与注浆饱满度有相关性，随着注浆饱满度增加波速逐渐减小，当注浆饱满度达到 100%时，检测的钢绞线（锚索）的 P 波波速接近混凝土中的 P 波波速。因此，通过获取 P 波波速传播速度，可以推测注浆质量的优劣。



图 3 全长波速原理（FLPV）分析示意图

5.2.3 传递函数原理（PFTF）

定性检测法（QT）的分析原理之一。在预应力梁的一端激振，如果接收端存在不密实情况，会在接收端产生高频振荡。因此，通过对比接收信号与激发信号相关部分的频率变化，可以评定锚头两端附近的缺陷情况。

注：此方法检测的区域（锚头附近的钢绞线），恰恰是定位检测（IEEV）法较为困难的检测区域。在激振端附近的钢绞线也存在灌浆不密实现象时，激振端的传感器拾取的振动信号的频率也会增加。但若钢绞线未充分张拉，或者未灌浆部分过长时，其自振频率反而可能降低。应注意区分，必要时利用多种检测分析原理进行综合判断。



图 4 传递函数原理（PFTF）示意图

5.2.4 波形特征对比原理（WFCP）

定性检测法（QT）的分析原理之一。在预应力孔道端部存在不密实区域时，接收到弹性波首先为

经钢绞线传来的信号，然后接收到经周围混凝土传来的信号，两者之间有一定的时间差。另一方面，端部灌浆密实时，两者信号较为接近，不易分辨。

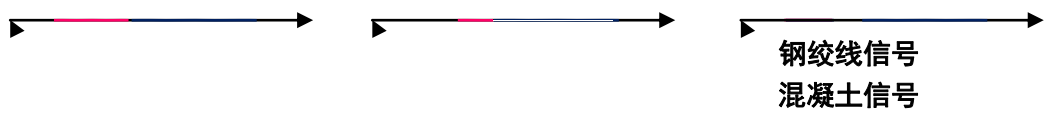


图 5 接收端附近灌浆密实度波形特征对比原理（WFCP）示意图

5.2.5 冲击回波等效波速原理（IEEV）

定位检测法（LD）的分析原理之一。根据在波纹管位置反射信号的有无以及从梁底端反射回的弹性波反射时间的长短，即可评定灌浆缺陷的有无和类型。当孔道灌浆存在缺陷时，激振的弹性波在缺陷处会产生反射，且激振的弹性波从梁对面反射回来所用的时间比灌浆密实的地方长。因此，等效波速（2 倍梁厚/梁对面反射来回的时间）就显得更慢。

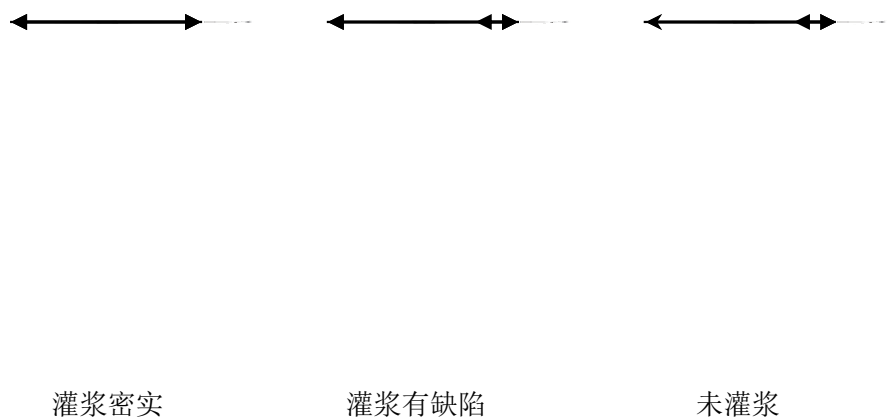


图 6 冲击回波等效波速原理（IEEV）示意图

5.2.6 冲击回波原理（IE）

定位检测法（LD）的分析原理之一。沿孔道位置表面连续激发弹性波信号，信号在遇到空洞等灌浆缺陷时会产生反射，对于厚度较薄的结构（一般在 0.5m 以内），激振信号与反射信号尚未完全分离，在时域上分辨反射信号就会十分困难。另一方面，由于反射距离短，能量衰减少，激发的弹性波信号可在结构中多次重复反射，通过在频域上的变换，利用 FFT 或者 MEM 即可有效地分辨反射信号和时间。

5.2.7 共振偏移原理（IERS）

定位检测法（LD）的分析原理之一。利用孔道不同部位自振周期的变化确定缺陷的方法。即在孔道上面测得的自振周期与灌浆密实部位或混凝土中测得的自振周期有所变化，且其对应反射深度与孔道埋深接近时，表明孔道灌浆有缺陷。

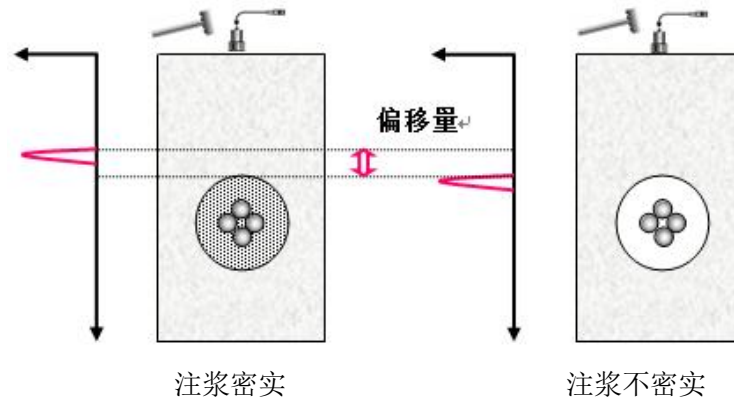


图 7 冲击回波共振偏移原理（IERS）示意图

5.3 现场检测技术

5.3.1 检测前准备工作应符合下列规定：

- 检测前应收集有关技术资料，并确认被测构件满足龄期要求。
- 填写冲击回波定性或定位检测现场记录表，格式详见附录 B 及附录 C，做好现场检测记录。
- 对于冲击回波定性检测，应确保孔道两端外露钢绞线长度为 3~5 厘米，钢绞线切割端面与轴线垂直。如锚头已用混凝土封闭，应将孔道两端封锚混凝土凿除，并将锚具与露出的预应力钢绞线清洗干净，使之能够通过强力磁座与传感器牢固粘耦合。
- 对于冲击回波定位检测，应依据设计图纸、施工记录，描绘出被测预应力孔道走向及位置。
- 对于冲击回波定位检测，可采用打磨机将构件表面打磨规则平整，并清除表面浮浆。

5.3.2 检测系统设置应符合下列规定：

- 根据现场实际情况选择合适的放大器、传感器及激振设备，连接检测系统并进行设备自检，确认整个检测系统处于正常工作状态。
- 对于冲击回波定性检测法（QT），应使激振端信号接入 Ch0 端，接收端信号接入 Ch1 端，并正确设置系统 DVC 文件。

5.3.3 传感器安装应符合下列规定：

- 对于冲击回波定性检测，应使传感器轴线与预应力钢束走向平行。
- 对于冲击回波定位检测，应使传感器前端与构件表面密切接触，避免点接触或线接触。

5.3.4 激振时应符合下列规定：

- 对于冲击回波定性检测，用激振锤激振时不得出现滑落现象（出现滑落现象时拾取的数据不可用），保持激振方向、钢绞线轴线方向、传感器轴线方向三向平行。
- 对于冲击回波定位检测，应使激振方向与构件表面垂直。

5.3.5 检测工作应遵守下列规定：

- 对于冲击回波定性检测，应在预应力孔道两端分别激振检测，即对调原激振端与接收端，使原接收端成为新的激振端并接入 Ch0 端，原激振端成为新的接收端并接入 Ch1 端。

b) 对于冲击回波定位检测,应沿预应力孔道走向逐点检测,测点间距宜为 20 cm,激振点与测点间距宜为 5cm。

c) 每次激振采集数据前,均应对检测系统进行归零标定。

d) 每次保存数据前,均应对检测信号进行判断,当自动采集波形起振明显、无毛刺时,方可保存。

e) 每片梁(板)检测后,均应对梁(板)正常混凝土区域无预应力孔道位置处冲击回波的传播波速进行标定。

f) 定性检测时,单个孔道拾取的数据不得少于 5 组,有效数据不得少于 3 组。单个孔道同端测试的数据,不超过平均值 10%的数据为有效数据,其他偏离较大的数据应舍弃。

g) 当噪声较大时,应采用信号增强技术重新进行检测,提高信噪比;当信号一致性较差时,应分析原因,排除人为和检测仪器等干扰因素,重新进行检测。

h) 对检测结果有疑问的孔道,可采用 X 射线法(详见附录 H)、开孔验证法(详见附录 G)等多种方法重复检测,相互验证。

5.3.6 检测流程

孔道注浆密实度检测流程见附录 A。

5.3.7 检测结果分析

检测结束后,可结合实际工程情况运用一种或多种检测分析原理进行数据分析,相互对比,以提高结果判定的准确度。

5.3.8 影响因素

检测影响因素详见附录 I。

5.4 质量评定

5.4.1 定性检测评价

采用综合注浆指数 I_f 作为定性检测的评价指标,当注浆饱满时, $I_f = 1$, 而完全未灌时, $I_f = 0$ 。

综合注浆指数见公式(1):

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

式中:

I_{EA} 为根据全长衰减法(FLEA 法)得到的分项注浆指数;

I_{PV} 为根据全长波速法(FLPV 法)得到的分项注浆指数;

I_{TF} 为根据传递函数法(PFTF 法)得到的分项注浆指数。

在通常情况下,各分项注浆指数可参考表 5 进行线性插值计算得到。

表 5 注浆指数的基准值

方 法	项 目	全注浆时值	无注浆时值	说明
全长波速原理	波速 (km/s)	现场试验确定	5.01	

(FLPV)				
全长衰减原理 (FLEA)	能量比 (x)	0.02	0.20	
传递函数原理 (PFTF)	频率比 (F_r / F_s)	现场试验确定	现场试验确定	所测得的激振频率在 区间值时，再根据频 率比进行线性插值计 算。
	激振频率 F_s (KHz)	2.0	4.0	
注 1：不同结构类型波速有一定的不同； 注 2：激振频率根据钢绞线的模量（196GPa）推算，并结合实际检测验证（KHz）； 注 3：能量比 x 可按公式（2）计算： $x = \frac{A_r \cdot L}{A_s \cdot L_0} \dots\dots\dots (2)$ 其中： A_r ——接收端信号的振幅（m/s ² ） A_s ——激振端信号的振幅（m/s ² ） L_0 —— 孔道全长 L ——孔道长度基准值（一般可取 10m）				

5.4.2 定位检测评价

5.4.2.1 注浆缺陷类型

预应力孔道注浆缺陷分为大规模缺陷和小规模缺陷，缺陷规模通过现场试验与信号特征进行对比确定。

5.4.2.2 定位检测区间的注浆质量评价

定位检测区间采用注浆密实度指数 D 作为定位检测的评价指标，见公式（3）：

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \beta_i \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：

D ——注浆密实度指数, 保留两位小数；

N ——定位检测的点数；

β ——测点的注浆状态，注浆饱满、注浆状态良好时取 1，注浆状态不良、不饱满有明显缺陷

时取 0。上式也可改写成公式（4）：

$$D = \frac{N_I \times 1 + N_D \times 0}{N} \downarrow \dots\dots\dots (4)$$

式中：

N_J 代表注浆状态为良好的测点数。

N_D 代表注浆状态为不良的测点数。

N 为总测点数，即 $N = N_J + N_D$

5.4.2.3 全孔道的注浆质量评价（适用于全孔道或局部定位检测）

当定位检测仅为孔道的局部时，用修正注浆密实度指数 D_e 来评定孔道的注浆质量，见公式（5）：

$$D_e = \frac{DL_d + D_k(L_0 - L_d)}{L_0} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

D ——检测区间的注浆密实度指数。

L_d ——检测区间长度。

L_0 ——孔道全长。

D_k ——该孔道各检测区段中，注浆质量较好的连续区段的注浆密实度指数，宜实测，无实测条件时取 1.0。选取的注浆密实度较好的连续区段长度一般不少于孔道全长的 1/20。

当定位检测部位为孔道全长时， $D = D_e$ 。

5.4.3 孔道注浆密实度质量评定

桥梁预应力孔道注浆密实度质量根据定性、定位检测结果进行综合评定，详见表6。

表 6 孔道注浆密实度质量评定标准

定性检测	定位检测		评定结果
综合注浆指数 I_f	检测部位	缺陷严重程度	
$I_f \geq 0.90$	不进行		I 类
$0.2 \leq I_f < 0.90$	$0.70 \leq I_f < 0.90$ 时检测孔道两端或较高端易出现缺陷区域； $0.20 \leq I_f < 0.70$ 时检测整个孔道。	$D_e \geq 0.95$	I 类
		$0.90 \leq D_e < 0.95$	II 类
		$D_e < 0.90$	III类
$I_f < 0.20$	不进行		III类
不进行	孔道局部或全长范围，根据需要选取。	$D_e \geq 0.95$	I 类
		$0.90 \leq D_e < 0.95$	II 类
		$D_e < 0.90$	III类

注：

I 类：检测范围内孔道注浆较为饱满，无明显缺陷，不需处理。

II 类：检测范围内孔道注浆基本密实但有轻微缺陷，不需处理。

Ⅲ类：检测范围内孔道注浆存在明显缺陷，需要处理，处理完成7天后复检，复检评定结果为Ⅱ类该构件方可使用。

复检合格的孔道，孔道注浆密实度质量仅能评定为Ⅱ类，不能评定为Ⅰ类。

如单次处理后检测评定结果仍然为Ⅲ类，需继续处理，直至检测评定结果达到Ⅱ类为止，但处理次数最多不得超过两次。

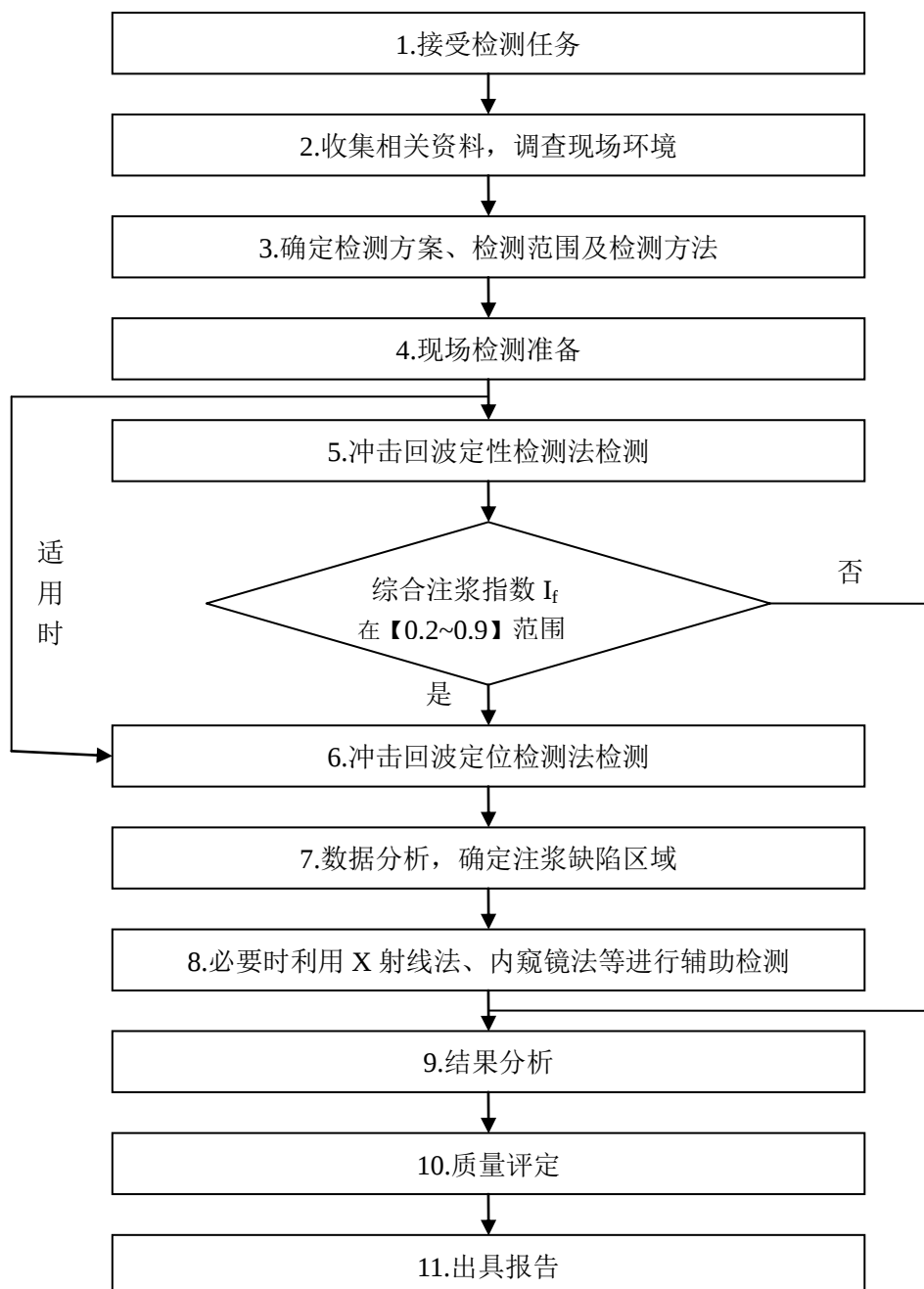
孔道注浆缺陷处理方法参考附录F。

5.4.4 梁（板）、构件注浆密实度质量评定

以单片梁（板）、单个连续构件的孔道注浆密实度质量为评定单元，被检测的孔道注浆密实度质量评定结果全部为Ⅰ类、Ⅱ类时，该梁（板）、构件孔道注浆密实度质量评定为合格，否则为不合格。

附录 A（资料性） 桥梁预应力孔道注浆密实性检测流程图

桥梁预应力孔道注浆密实性检测流程图



附录 B（资料性） 桥梁预应力孔道注浆密实性冲击回波定性检测现场记录表

桥梁预应力孔道注浆密实性冲击回波定性检测现场记录表

试验室名称：

记录编号：

工程名称			委托/任务编号	
委托单位			检测依据	
施工单位			结构物桩号	
检测条件			检测时间	
主要仪器设备 及编号				
梁（板）编号			注浆日期	
梁（板）长度				
预应力孔道编号	0 端	1 端	保存文件名	
备注：				

检测：

复核：

日期：

年 月 日

附录 C（资料性）桥梁预应力孔道注浆密实性冲击回波定位检测现场记录表

桥梁预应力孔道注浆密实性冲击回波定位检测现场记录表

试验室名称：

记录编号：

工程名称		委托/任务编号	
委托单位		检测依据	
施工单位		结构物桩号	
检测条件		检测时间	
主要仪器设备 及编号			
梁（板）编号		注浆日期	
梁（板）长度			
预应力孔道编号	检测部位	检测走向	保存文件名
备注：			

检测：

复核：

日期： 年 月 日

附录 D（资料性）桥梁预应力孔道注浆密实性 X 射线法检测现场记录表

桥梁预应力孔道注浆密实性 X 射线法检测现场记录表

试验室名称：

记录编号：

工程名称		委托/任务编号	
委托单位		检测依据	
施工单位		结构物桩号	
检测条件		检测时间	
主要仪器设备 及编号			
梁（板）编号		注浆日期	
梁（板）长度			
预应力孔道编号	检测部位		保存胶片名
备注：			

检测：

复核：

日期：

年 月 日

附录 E（资料性） 桥梁预应力孔道注浆密实性内窥镜法检测现场记录表

桥梁预应力孔道注浆密实性内窥镜法检测现场记录表

试验室名称：

记录编号：

工程名称		委托/任务编号	
委托单位		检测依据	
施工单位		结构物桩号	
检测条件		检测时间	
主要仪器设备 及编号			
梁（板）编号		注浆日期	
梁（板）长度			
预应力孔道编号	检测部位		保存照片名
备注：			

附录 F（资料性） 预应力混凝土梁孔道注浆缺陷处理技术

F.1 缺陷处理方法

预应力混凝土梁孔道注浆缺陷处理一般采用补灌的方法。

F.2 缺陷处理材料

缺陷处理可选择以下材料：

- 1) 原配浆料：对于较大缺陷和孔道两端注浆不足，可用原配浆料进行钻孔注浆或补浆。
- 2) 环氧树脂材料：环氧树脂材料具有密实、抗水、抗渗漏好、强度高、附着力强等特点，可以作为快速修补材料，加固的注浆材料用于孔道注浆小范围缺陷处理。
- 3) 聚氨酯材料：在工程建设中，聚氨酯材料可作为密封胶、粘合剂、防水堵漏剂等使用，对于有水的孔道注浆小缺陷也可以使用该材料来修补。
- 4) 聚合物防水砂浆：聚合物防水砂浆主要用于钻孔注浆后注浆孔的修复。

F.3 缺陷处理注意事项

- 1) 对于小缺陷只需要打一个孔，重新注浆。
- 2) 对于较大缺陷需要打两个孔，一个为注浆孔，另一个为排气孔。开孔位置应在缺陷的两端，浆料从下方孔注入。
- 3) 钻孔注意避开钢筋，宜用钢筋扫描仪或混凝土雷达事先对钢筋定位，防止破坏。
- 4) 重注浆后注浆孔要处理好，注意防水。对重注浆孔采用速凝混凝土、树脂材料或微膨胀材料修补后，应在表面涂上防水材料。如聚氨酯、弹性涂膜防水材料，聚合物水泥膏、聚合物薄膜（粘贴）等。
- 5) 为了确保重注浆充满，在注浆后约半小时可对每个注浆孔再次补浆。

F.4 缺陷处理效果确认

可采用定位检测方法确认缺陷处理效果。

附录 G（资料性） 定位检测结果的辅助验证法（开孔验证法）

G.1 开孔验证法

当检测方和被检方对检测评定结果出现争议时，可采用开孔验证法对问题区域进行验证，以确保检测结果的可靠性。

G.2 开孔验证注意事项

- 1) 应确保一定的钻孔数量，考虑到无损检测和开孔验证各自均有一定的误差，每个争议点的钻孔数量宜不少于 3 个。
- 2) 钻孔口径不宜太小，应考虑内窥镜、挂钩等的直径和活动范围，保证相关验证设施使用的灵活性。
- 3) 钻孔的位置应尽量位于管道的上部，且注意避开钢筋、钢绞线。
- 4) 条件允许时，应从上向下钻孔，避免从下向上钻孔。
- 5) 钻孔后宜用内窥镜观察，可辅以挂钩法、穿丝法。
- 6) 当钻孔后未发现波纹管时，表明波纹管位置与设计位置偏差过大，应按相关规定处理。

G.3 开孔验证的局限性

开孔验证也并非一定准确，其错判、漏判的情形也十分常见。而且，在绝大多数情况下，会产生漏判（有缺陷判为无缺陷）。造成这样的状况主要有以下原因：

1) 钻孔方向的影响

由于缺陷通常出现在孔道的上部，因此，从上部钻孔是最为理想的。然而，由于作业条件的限制，从侧面、下部钻孔是非常常见的。从图 G.1 可以看出，在侧面、下部钻孔时，出现漏判的可能性是非常大的。

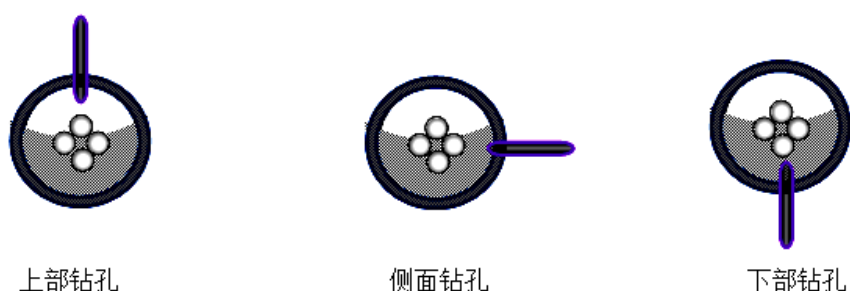


图 G.1 钻孔方向、位置与缺陷判断

2) 穿丝、挂钩的问题

对于穿丝方法，要求孔道与边界较近且缺陷贯通，对于大多数梁无法适用。而挂钩法则要求钢绞线完全悬空。当钢绞线被部分包裹时，则挂钩法易于发生误判。因此，建议用内窥镜观察的方法（见图 G.2）。



图 G.2 内窥镜及空管照片

3) 对于纵、横向波纹管，其缺陷往往在管的上部；而对于竖向波纹管，其缺陷可能在管内的四周；对于竖向波纹管，单钻一个孔往往难以发现缺陷；对于纵、横向波纹管，管壁下外侧与混凝土间也有可能出现脱空现象。

G. 4 内窥镜法

1) 检测仪器与设备

- a) 检测系统包括内窥镜探头、蛇形软管、笔记本电脑和专用附件等。
- b) 内窥镜探头应符合下列规定：拍摄像素应不低于 640×480 PPI 分辨率，探头直径应不大于 6mm。
- c) 蛇形软管应符合下列规定：应柔软可弯且不易被折断，软管长度应不少于 2m。
- d) 笔记本电脑应符合下列规定：图像解析像素应不低于 320×240 PPI 分辨率，无充电电源时，最短工作时间应不少于 2h。

2) 现场检测技术

- a) 利用内窥镜法进行拍摄时，应采用不同的内窥镜探头，从不同角度进行拍摄。
- b) 各位置重复检测次数不得少于 3 次，且检测结果应具有良好的 consistency。
- c) 应填写现场检测记录，格式见附录 E。

3) 检测数据分析与评定

内窥镜法检测结果直观可靠，成像质量清晰可见，可直接采用拍摄图像进行评定。

附录 H（资料性）定位检测结果的辅助验证法(X 射线法)

H.1 适用范围

X 射线法用于对预应力孔道各位置处的注浆密实性的评定。适用于下述情况：

- 1) 具有两个相对检测面的预应力孔道。
- 2) 对冲击回波定位检测结果需要验证的预应力孔道。

H.2 检测仪器与设备

- 1) 检测系统包括 X 射线机、感光胶片、增感屏和专用附件等。
- 2) X 射线机最大管电压应不小于 250kV，最大管电流应不小于 5mA，安全工作压力宜为 0.35~0.50MPa。
- 3) 感光胶片应感光性能良好，面积应不小于 40cm×20cm。

H.3 现场检测技术

- 1) 检测前准备工作应符合下列规定：
 - a) 检测前应按本规程第 4.3.5 条规定收集有关技术资料，并确认被测构件满足龄期要求。
 - b) 填写 X 射线法检测现场记录表，做好现场检测记录，格式见附录 D。
 - c) 拍摄时应符合下列规定：X 射线束应处于水平方向；焦距应根据几何不清晰度及透照区大小按实际情况确定，通常情况下可采用 60cm；曝光时间应不少于 10min。
- 2) 检测工作应遵守下列规定：
 - a) 各位置重复检测次数不得少于 2 次，检测结果应具有良好的 consistency。
 - b) 为增强检测效果，应将增感屏布设在感光胶片上。
 - c) 对存在注浆缺陷的部位，应采用多种方法重复检测，相互验证。
 - d) 检测时应注意放射性。
 - e) 检测时还应遵循 X 射线使用时的其它说明与要求。

H.4 检测数据分析与评定

X 射线法检测结果采用预应力孔道区域黑度与正常混凝土区域黑度间的相对关系进行评定：

- 1) 若预应力孔道某区域的黑度远高于正常混凝土区域的黑度，表明该区域注浆密实性较差。
- 2) 若预应力孔道某区域的黑度与正常混凝土区域的黑度相同，表明该区域注浆密实性良好。
- 3) 若预应力孔道某区域的黑度远低于正常混凝土区域的黑度，表明该区域存在金属物质等。

附录 I（资料性）冲击弹性波法检测预应力混凝土梁孔道注浆密实度的影响因素

I.1 梁的长度

对于定性检测，梁的长度对检测精度有一定影响。一般来说，梁长在 50m 之内时，定性检测的各个方法均可适用，而超过此长度后，定性检测的精度会大幅降低。此时，应采用定位检测。

I.2 梁、板的厚度

板的厚度对定性检测各方法的影响相对较小，而对定位检测的 IEEV 法则有较大的影响。一般来说，当管径相同时，板厚越薄，IEEV 法的检测精度越高。

基于目前的定位检测的技术水平，在采用 D50 激振锤激振时，IEEV 法一般要求梁、板的厚度不超过 0.6m。而 IERS 法则要求管道最大埋深不超过 0.6m。

I.3 管道的排列

管道的排列对定性检测各方法的影响相对较小，而对定位检测的 IEEV 法则有较大的影响。当有双排管道时，尽可能从两个侧面用 IEEV 法检测。

I.4 管道的位置

管道位置对定性检测、定位检测的各方法均有一定影响。

定性检测：尽量用同位置的管道进行比较。

定位检测：对角落边界条件比较复杂的管道需要加密测点。有马蹄形扩幅的 T 梁腹板孔道，往往需要从下部检测。孔道位置的准确度直接影响检测的精度和分辨力。为此，一方面可以采用电磁波雷达法确定孔道位置，另一方面，通过加密测点，采用网格状的检测方法也是十分有效的。

I.5 管道材质的影响

特别对金属波纹管，由于缺陷的反射与金属的反射互为逆向，有相互抵消的现象，因此，一定要结合等效波速法（IEEV）加以综合判断。

I.6 钢筋的影响

一般来说，钢筋的影响不大。但在管道和检测面之间有钢板等异性构件时，也会产生影响。

I.7 混凝土浇筑质量

一般来说，混凝土浇筑质量影响不大。但混凝土存在浇筑缺陷、明显不均匀时，也会对检测结果造成不利影响。

I.8 检测方向

在管道中注浆不密实的一个重要原因是注浆材料的泌水。此时，产生的空洞主要位于管道的上方。由于形状的关系，在运用 IEEV 方法检测时，如图 I.1 中 A 激振方式检测分辨力较高，B 激振方式检测分辨力相对较低。对于腹板的孔道，大多数只能采用 B 激振方式。为提高分辨力，可适当加密测点，或采用双测线进行检测。

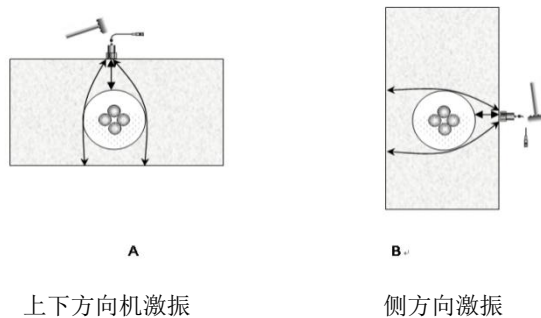


图 I.1 激振方向

I.9 钢绞线位置的偏移

在定性检测时，一般对最上方的钢绞线进行检测。施工时如果钢绞线发生扭转，会造成检测的误差。但由于激振产生的弹性波信号可以在钢绞线中相互传递，从实际的检测效果来看，其影响并不显著。当然，根据预应力施工规程，要求各钢绞线平顺，在施工中可以用标注记号的方式辅助达到钢绞线平顺效果。

I.10 激振锤的影响

不同的激振锤激发的弹性波波长不同，因此合理选取激振锤或者采用 2 种或 2 种以上激振锤可以提高检测精度。

中 华 人 民 共 和 国 宁 夏 回 族 自 治 区
地 方 标 准
冲击弹性波法检测预应力混凝土梁孔道注浆密实度技术规程
DB 64/TXXXX—20XX
*
**出版社出版发行
宁夏银川市*****
网址：*****
服务热线：*****
2020 年*月第一版
*
书号：*****

版权专有 侵权必究