

DB42

湖北省地方标准

DB42/T 1741—2021

激波法检测桥梁预应力孔道灌浆密实度规程

Code of practice for detecting pre-stressed duct grouting compacness
based on impact elastic wave method

2021 - 08 - 30 发布

2021 - 11 - 01 实施

湖北省市场监督管理局 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语与定义 1

4 检测设备 3

5 检测方法 4

6 现场检测 6

7 灌浆质量评价 11

8 检测报告 13

附录 A（资料性） 预应力梁孔道灌浆缺陷整体检测现场记录表 15

附录 B（资料性） 预应力梁孔道灌浆缺陷定位检测现场记录表 16

附录 C（资料性） 灌浆缺陷定位检测参考色板 17

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。

本文件由湖北省交通运输厅提出并归口。

本文件起草单位：中铁大桥科学研究院有限公司、中铁大桥局集团有限公司、桥梁结构健康与安全国家重点实验室、湖北省标准化与质量研究院。

本文件起草人：孙连峰、吕宏奎、钟继卫、侍刚、何祖发、彭旭民、袁建新、李鸥、江淦、刘彦峰、蔡欣、张宗强、张朦朦、周琰、邱忠南、沈国焱、张凯歌、余力、张耿、齐舒、韩阳昱、康维、胡妮丽。

激波法检测桥梁预应力孔道灌浆密实度规程

1 范围

本文件规定了激波法检测桥梁预应力孔道灌浆密实度的术语和定义及检测设备、检测方法、现场检测、灌浆质量评价、检测报告等。

本文件适用于混凝土桥梁有粘结预应力孔道灌浆密实性的检测评定。

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/T 2951（所有部分） 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法

JB/T 6822 压电式加速度传感器

JJG 338 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

激波 impact waves

通过外部机械激励在对象材料中产生冲击弹性波。

3.2

激振锤 excitation hammer

发生冲击弹性波的激励装置，是产生测试信号的工具。

3.3

卡座 fixture

利用磁性或机械装置，将传感器与被测对象耦合。

3.4

灌浆密实度 the duct grouting compactness

孔道体积中，固化灌浆料所占比例。

3.5

整体检测 whole detecting

利用孔道两端露出的锚索，在一端激发信号，另一端接收信号，通过分析信号在传播过程中能量、频率、波速等参数的变化，来定性判断该孔道灌浆质量的优劣。

3.6

定位检测 positioning detecting

在混凝土表面沿孔道的轴线以一定的间距逐点进行激振和接收信号，通过分析反射信号的有无、强弱、传播时间等特性，来判断测试点下方波纹管内缺陷的有无及形态。

3.7

全长衰减法 (FLEA) full length energy attenuation method

整体检测方法，根据激振弹性波受信信号能量和激振信号能量的比值来定性判断孔道注浆密实度。

3.8

全长波速法 (FLPV) full length p-wave velocity method

整体检测方法，根据激振弹性波信号在灌浆孔道中的传播速率来定性判断孔道有无缺陷。

3.9

传递函数法 (PFTF) p-wave frequency transform functions method

整体检测方法，根据激振弹性波信号在传播过程中钢绞线振动频率变化来定性判断孔道端部有无缺陷。

3.10

综合灌浆指数 integrated filling index

整体检测过程中，基于全长波速法、全长衰减法、传递函数法三种分析方法得到的定性反映灌浆密实度的指标，用 I_f 表示。

3.11

灌浆密实度指数 compactness index

在定位检测中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和全孔道修正灌浆密实度指数。

3.12

冲击回波法 (IE) impact echo method

定位检测方法，根据激振弹性波信号反射特性可判断孔道是否存在缺陷。

3.13

等效波速法 (IEEV) impact echo equivalent velocity method

定位检测方法, 根据激振弹性波信号反射和绕射判断孔道灌浆缺陷的一种方法, 用于确定缺陷具体位置和判断缺陷大致类型。

3.14

共振偏移法 (IERS) impact echo resonance shift method

定位检测方法, 根据激振弹性波信号在管道位置或附近反射时刻的偏移情况可判断孔道是否存在缺陷, 及缺陷大致类型。

4 检测设备**4.1 一般规定**

检测设备应适合冲击弹性波信号采集与分析, 主要包括激振装置、传感器、耦合装置、采集系统、显示系统、数据分析系统等。检测设备应检定/校准结果合格方可进行检测工作。

4.2 计量性能要求**4.2.1 系统误差**

检测系统标定幅值误差不超过 $-5.0\% \sim +5.0\%$ 范围。

4.2.2 声时误差

声信号测量误差不超过 $-1.0\% \sim +1.0\%$ 范围。

4.3 技术性能要求**4.3.1 采样分辨率**

检测系统分辨率为16 Bit, 测试量程应大于或等于 $1/2^{16}$, 采样频率应大于或等于500 kHz。

4.3.2 频谱特性

接收系统频响范围应适用频率在1 kHz~50 kHz的信号采样。

4.3.3 增益性能

检测系统应适用长度为100 m以内的预应力混凝土梁灌浆密实度的整体检测, 接收端信号的S/N比应大于5。

4.3.4 元器件

测试系统的主要元器件传感器应符合JB/T 6822的规定, 放大器应符合JJG 338的规定, A/D卡应符合表1的要求。

表1 主要测试元器件性能要求

主要测试元器件类型		性能要求
传感器	类型	加速度传感器
	共振频率	宜大于 25 kHz
电荷放大器	频率特性	2 Hz～30 kHz ±3 dB
低噪电缆		其产生的脉冲信号小于 5 mV，并应符合 GB/T 2951（所有部分）的规定。
A/D 卡	采样频道数	不小于 2
	采样频率	大于等于 500 kHz
	分辨率	16 bit

4.3.5 软件性能要求

测试及分析系统的软件应满足表2的要求。

表2 测试软件的性能要求

软件类型		性能要求
数据采集	自检	应具有仪器的基本状态自检功能
	触发	应具有预触发功能
	频道数	可双通道测试
信号处理	降噪	应具有滤波降噪的功能
	频响补偿	应具有频响补偿的功能
	频谱分析	应具有 FFT（快速傅立叶变换）、MEM（最大熵法）频谱分析功能

4.4 校准

4.4.1 每台检测仪在出厂时均应经有相应资质的检定机构检定或校准合格。

4.4.2 检测设备应每年检定或校准至少一次。

4.4.3 检测仪有下列情况之一时，应进行校准后方可使用：

- a) 新仪器启用前；
- b) 超过校准有效期；
- c) 更换模块和传感器；
- d) 仪器维修后；
- e) 对检测值有怀疑时。

4.5 保养

4.5.1 检测设备应注意保养，存放在阴凉干燥、通风环境中。

4.5.2 当仪器长时间不用时，应将电池取出或定期给电池充电。

5 检测方法

5.1 一般规定

5.1.1 激波法检测预应力孔道灌浆质量，分为整体检测和定位检测两种方法。

5.1.2 预应力孔道灌浆质量检测应根据工程的需要、检测的目的选择合适的检测方法，各检测方法的特点、适用对象和适用条件见表3。

表3 检测方法对应的适用对象和适用条件

检测方法	分析方法	特点	适用对象	适用条件
孔道灌浆密实度整体检测	全长衰减法 (FLEA)	测试效率高	用于严重灌浆缺陷或事故排查，或者不具备定位检测条件时的检测	1、适用于长度小于 50m，且锚头外露的桥梁预应力孔道灌浆质量排查。 2、外露钢绞线应无附属物，长度宜为3 cm~5 cm，钢绞线端面平整。
	全长波速法 (FLPV)			
	传递函数法 (PFTF)			
孔道灌浆缺陷定位检测	冲击回波法 (IE)	基础方法	用于确定孔道灌浆缺陷位置、范围大小，在条件具备时应优选该方法	1、适用于波纹管位置明确的场合； 2、等效波速法适用于厚度明确，且厚度小于 80 cm 的单排孔道的梁板结构； 3、共振偏移法适用于壁厚较厚，多孔道并排，波纹管理深小于 20 cm 的梁板结构。 4、被检对象厚度小于80 cm，底端反射明显时，应优先采用等效波速法；当被检对象厚度较厚，底端反射不明显时，应优先采用共振偏移法。
	等效波速法 (IEEV)	测试精度高		
	共振偏移法 (IERS)	适应能力强		

5.2 整体检测

5.2.1 整体检测根据评价参数（波速、能量、频率）不同分为全长波速法、全长衰减法、传递函数法。

5.2.2 整体检测仅适用于判定整个预应力孔道严重灌浆缺陷，用于孔道灌浆事故的普查，或者不具备定位检测条件时的检测。

5.2.3 整体检测应对已张拉未灌浆和灌浆饱满孔道的能量、频率参数，及梁体混凝土波速实施标定。

5.2.4 整体检测宜用于梁体两端钢绞线露出的纵向、横向预应力孔道，波纹管长度不宜大于 50 m，大于 50 m 时宜采用定位检测方法。

5.3 定位检测

5.3.1 孔道灌浆缺陷定位检测应根据被测结构情况选择适用方法，检测方法包括冲击回波法、等效波速法、共振偏移法，检测方式宜采用逐点线性式。

5.3.2 定位检测适用于判断缺陷在孔道长度方向的位置和范围，不适用定量判断缺陷在孔道径向的缺陷程度或疏松程度。

5.3.3 定位检测时混凝土结构或构件至少具备一个测试面，测试面应干燥、清洁、平整，并应在测试面上标识出灌浆孔道中心线。

5.3.4 定位检测应根据梁板厚度、激振频率特性等选择适宜直径的激振锤，激振锤直径的选取见表4。

表4 定位检测激振锤直径的选取参考

对象壁厚	首选激振锤	次选激振锤
<20 cm	D10	D6、D17
20 cm~40 cm	D17	D10

表 4 定位检测激振锤直径的选取参考（续）

对象壁厚	首选激振锤	次选激振锤
40 cm～60 cm	D17	D30
>60 cm	D30	D50

5.3.5 检测人员应经过培训，并具有相应的检测资格证书。

6 现场检测

6.1 一般规定

6.1.1 激波法检测桥梁预应力孔道灌浆质量，应保证灌浆材料的强度达到设计强度的 80%以上，夏季灌浆材料检测龄期宜大于 3d，冬季宜大于 7d。

6.1.2 桥梁预应力孔道灌浆质量检测时应保证传感器与被测体紧密耦合，且接触面应平整、干燥、清洁。

6.1.3 现场检测应优先对孔道灌浆密实度进行定位检测。当被检测梁板不具备灌浆定位检测条件时，或者需要排查灌浆事故时，可对孔道进行整体检测。

6.1.4 现场检测应对被检测梁板混凝土弹性波波速进行标定。

6.1.5 检测工作流程见图 1。

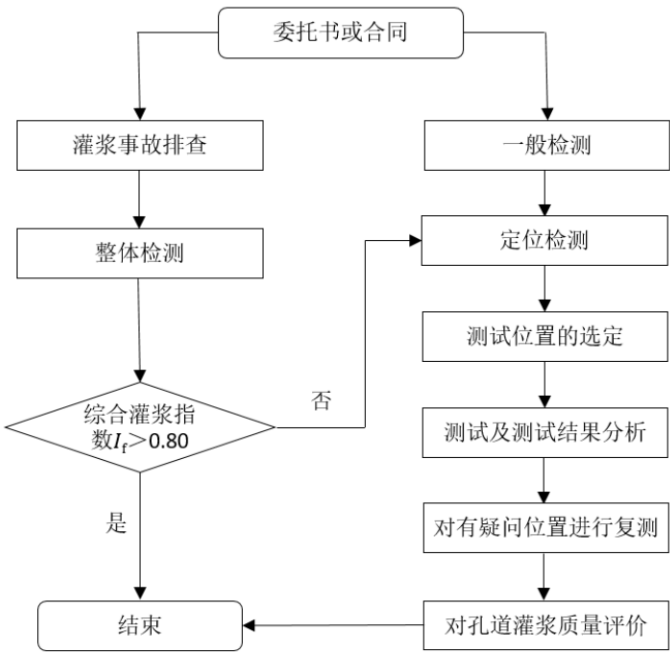


图1 预应力梁孔道灌浆缺陷检测流程图

6.2 检测准备工作

6.2.1 勘查工程现场，收集资料。明确委托方的具体要求，检测项目现场实施的可行性。

6.2.2 检测前应根据调查结果，选择检测方法，制定检测方案。

6.2.3 检测前应对检测仪器设备检查、调试。

6.2.4 采用整体检测时应符合下面规定：

- a) 填写预应力梁孔道灌浆缺陷整体检测现场记录表，详见附录 A；

- b) 设备采样点数及时间间隔应根据预应力筋的长度、激振信号时频特征设置，要能完整记录波动信号。

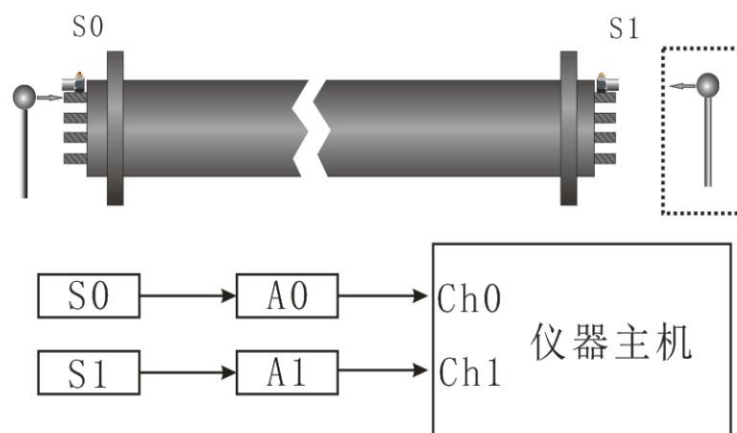
6.2.5 采用定位检测时应符合下面规定：

- 填写预应力梁孔道灌浆缺陷定位检测现场记录表，详见附录B；
- 检测部位混凝土表面应干燥、清洁、平整；
- 检测时根据检测对象的壁厚差异，宜采用不同尺寸的激振锤（见表4）。

6.3 检测步骤

6.3.1 整体检测步骤

6.3.1.1 按图 2 连接检测系统，安装传感器，设置、标定试验参数，确认系统运行正常。



注1：图中S0和S1为加速度传感器，采用卡座（强力磁铁或专用夹具）固定在钢绞线的两端；

注2：A0和A1为两个电荷放大器；

注3：Ch0和Ch1分别为主机的两个数据通道。

图2 灌浆密实度整体检测示意图

6.3.1.2 采用卡座将传感器分别安装在预应力筋的两端，应保证传感器与预应力筋紧密耦合，传感器受信面应与预应力筋轴线垂直。激振器应与激振位置充分接触，同时禁止激振器直接碰撞传感器；激振方向应与预应力筋的轴线平行；测试时，应在传感器固定条件完全相同的前提下，两端分别进行激振，分别保存两端激振的测试信号，且每端应保存不少于5个有效的、一致性较好的波动信号。

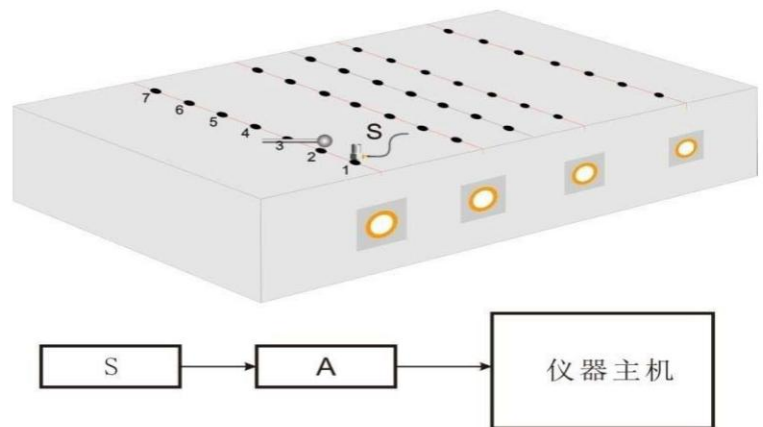
6.3.1.3 在钢绞线的一端用激振锤+激振锥激振，激振方向与预应力钢束走向平行，记录检测数据。

6.3.1.4 调整设备参数，在钢绞线另一端激振并记录检测数据。

6.3.1.5 操作人员检查数据文件，确认数据完整、无异常情况结束后结束检测。

6.3.1.6 每片梁（板）检测后，均应在其无预应力孔道的混凝土区域且沿梁板长度方向对梁板混凝土的弹性波波速进行测定，作为全长波速法判定孔道灌浆质量的基准值，基准值应取不少于三次测量的平均值。

6.3.2 定位检测步骤



注：图中S为加速度传感器，A为电荷放大器。

图3 灌浆密度定位检测示意图

- 6.3.2.1 按图3连接检测系统，设置、标定试验参数，确认系统运行正常。
- 6.3.2.2 依据设计图纸、施工记录，描绘出被测预应力孔道走向（若现场无法确定预应力孔道位置，需用地质雷达等设备测定出孔道位置及走向），并在孔道中心线上标识测点位置，测点间距宜为10 cm～20 cm。
- 6.3.2.3 沿管道走向对每个测点进行检测，检测时将传感器和检测面紧密耦合，测试方向竖直时激振点宜在孔道中心线上，测试方向水平时激振点宜高于孔道中心线1/4孔道直径，激振点离传感器距离宜为被测对象厚度1/4；激振时，激振方向与构件表面垂直。
- 6.3.2.4 操作人员检查数据文件，确认数据完整、无异常，结束检测。
- 6.3.2.5 对检测数据进行分析处理，判定孔道灌浆密度，并对缺陷位置及长度做出合理判定。
- 6.3.2.6 在每一批次梁（板）检测后，均应在其无预应力孔道区域（宜选在两个孔道之间）进行线性（沿管道走向方向）标定，确定混凝土底部反射时间，宜取三次测量的平均值作为标定结果。

6.4 检测数据处理

6.4.1 数据分析处理方法

检测数据的分析以时频域分析为主，并辅以其他现代信号处理方法。

6.4.2 整体检测数据处理与判定

- 6.4.2.1 对激励信号及接收信号进行噪声滤波处理，消除干扰，提高信噪比。
- 6.4.2.2 对激励信号与接收信号进行时域、频域分析，计算评价孔道灌浆质量的参数（弹性波波速 V 、频率传播比 γ_f 、能量比 γ_a ）。
- 6.4.2.3 速度 V （全长波速法）可由下式计算，即根据激励信号与接收信号初至时间进行计算：

$$V_i = \frac{L_i}{\Delta t} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- V_i ——第*i*次检测弹性波波速，单位为千米每秒（km/s）；
- L_i ——预应力钢绞线长度，单位为米（m）；
- Δt ——第*i*次检测激励信号与接收信号初至时间差，单位为毫秒（ms）。

6.4.2.4 能量比 γ_a (全长衰减法) 可由下式计算, 即激励信号与接收信号首波能量比进行计算:

$$\gamma_a = \frac{A_r \cdot L_1}{A_s \cdot L_2} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

A_r 、 A_s ——分别为信号接收端和激励端信号的振幅, 单位为米每二次方秒 (m/s^2);

L_1 ——预应力钢绞线长度, 单位为米 (m);

L_2 ——预应力钢绞线长度基准值 (取10 m), 单位为米 (m)。

6.4.2.5 频率传播比 γ_f (传递函数法) 可由下式计算, 即激励信号与接收信号最大频率比进行计算:

$$\gamma_f = \frac{\max[Y_i(f)]}{\max[X_i(f)]} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

γ_f ——频率传播比;

$X_i(f)$ 、 $Y_i(f)$ ——分别为第i、j信号进行FFT信号处理的频率, 单位为千赫兹 (kHz)。

6.4.2.6 检测孔道灌浆质量参数 (速度 V 、卓越频率比 γ_f 、能量比 γ_a) 的平均值和标准差可由下式计算:

$$\bar{u}_{AB} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_{ABi} \dots\dots\dots (4)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n u_{ABi}^2 - n(\bar{u}_{AB})^2 \right]} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

u_{ABi} ——同一预应力筋第i次A端激发B端接收信号的评价参数 (速度 V 、频率传播比 γ_f 、能量比 γ_a) 的计算值;

$\bar{u}_{AB}$ ——同一预应力筋A激发B接收信号的评价参数 (速度 V 、卓越频率比 γ_f 、能量比 γ_a) 的平均值;

n ——检测次数;

S ——标准差。

注: 同一预应力筋评价参数 (速度 V 、频率传播比 γ_f 、能量比 γ_a) 包括预应力筋A激发B接收计算值 u_{ABi} 和预应力筋B激发A接收信号计算值 u_{BAi} 两个系列值。

6.4.2.7 建立标定参数库

要求评定各参数 (速度 V 、频率传播比 γ_f 、能量比 γ_a) 的标准差小于0.1倍平均值, 否则, 去掉激励信号、接收信号相关系数最小的数据, 重新计算, 直到满足要求, 并将衰减曲线 $\Phi(f)$ 进行算术平均。

对标定i个孔道得到的 D_1 、 D_2 、 $\dots$ 、 D_i 评定因子进行加权平均可由下式计算, 建立标定参数库。

$$U = \frac{n_1 u_1 + n_2 u_2 + \dots\dots\dots n_i u_i}{n_1 + n_2 + \dots\dots\dots n_i} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

U ——标定评价因子;

u_i ——标定孔道 D_i 的评价因子;

n_i ——标定孔道 D_i 的有效信号数。

6.4.2.8 整体检测判断

整体检测判断可以分为以下两种情况。

a) 灌浆饱满度计算

灌浆饱满度即预应力孔道中填充粘结物的密实程度，利用弹性波属性（波速、频率、能量）变化规律表达孔道中浆体有效附裹预应力筋的程度，其数值具有定性意义，可由下式计算：

$$r_i = 1 - \frac{u_i - U_1}{U_2 - U_1} \dots\dots\dots (7)$$

$$I_f = \left[\prod_{i=1}^n (r_i j_i) \right]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- r_i ——第*i*个灌浆饱满度；
- u_i ——第*i*个评价参数值；
- n ——评价参数个数；
- j_i ——第*i*个评价因子权值；
- U_1 ——灌浆饱满评价参数基准值；
- U_2 ——孔道未灌浆评价参数基准值；
- I_f ——整体检测综合灌浆密实度指数。

b) 当无条件进行未灌浆和灌浆饱满孔道参数标定时，可参考表5进行。

表5 灌浆系数各个方法计算的参考基准值

方法	评价因子	饱满	未灌浆
全长波速法	波速（km/s）	现场选取已知钢筋混凝土结构壁厚区域，测定钢筋混凝土结构波速	5.01
全长衰减法	能量比	0.02	0.20
传递函数法	频率比（ f_1/f_2 ）	1.00	3.00
	授信频率（kHz）	2.0	4.0

6.4.3 定位检测数据处理与判定

6.4.3.1 分析得到管道位置混凝土实际厚度的时域频谱主峰，采用频谱等值线图表示并以此等值线图作为判定管道灌浆质量的标准。结合预应力管道位置混凝土结构构件尺寸、管线布设、预埋件位置等参数综合分析检测孔道的灌浆缺陷位置、纵向范围大小。判定方法见附录C。

6.4.3.2 检测区间采用灌浆密实度指数 D 作为定位检测的评定指标，可由下式计算：

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \beta_i \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

式中：

- D ——检测区段的灌浆密实度指数；
- N ——定位检测的点数；

β_i ——第*i*个测点的灌浆状态，即良好：1，小规模：0.5，大规模：0。

上式也可改写成

$$D = \frac{N_J \times 1 + N_X \times 0.5 + N_D \times 0}{N} \times 100\% \dots\dots\dots (10)$$

式中：

N_J ——健全测点数；

N_X ——小规模缺陷测点数；

N_D ——大规模缺陷测点数；

N ——总测点数，有 $N = N_J + N_X + N_D$ 。

6.4.3.3 当定位检测仅为孔道的局部时，用修正灌浆密实度指数 D_e 来判定孔道的灌浆质量，可由下式计算：

$$D_e = \frac{DL_d + D_k(L_0 - L_d)}{L_0} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

D_e ——检测区段的修正灌浆密实度指数；

D ——检测区段的灌浆密实度指数；

L_d ——检测区段长度，单位为米（m）；

L_0 ——孔道全长，单位为米（m）；

D_k ——当该孔道各检测区段中，灌浆质量较好的连续区段的灌浆密实度指数。该连续区段的长度取检测区段的1/2。

7 灌浆质量评价

7.1 一般规定

7.1.1 质量评定的前提应确保采集的数据真实有效。

7.1.2 质量评定应按照检测流程，结合现场实际情况给出相应的整体检测或定位检测评定结果。

7.2 整体检测评价指数

采用综合灌浆指数 I_f 作为整体检测的评定指标，当 $I_f=1$ 时，灌浆饱满，而 $I_f=0$ 时，完全未灌。综合灌浆指数可由下式计算：

$$I_f = (I_{EA} \cdot I_{PV} \cdot I_{TF})^{1/3} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

I_{EA} ——根据全长衰减法得到的以波速为评价因子的分项灌浆指数；

I_{PV} ——根据全长波速法得到的以能量比为评价因子的分项灌浆指数；

I_{TF} ——根据传递函数法得到的以频率为评价因子的分项灌浆指数；

由整体检测确定的综合灌浆指数 I_f ，其灌浆质量评价采用表6所示方法。

表6 定性灌浆质量评价方法

评价方法	评价参数	评价结果	说明
综合灌浆指数 I_f	$0.95 \leq I_f \leq 1.00$	I 类（良好）	-
	$0.80 < I_f \leq 0.95$	II 类（合格）	孔道位置较高处（锚头等部位）应定位复检
	$I_f < 0.80$	III 类（不合格）	应进行定位检测复检

7.3 定位检测评价指数

7.3.1 灌浆缺陷类型

预应力灌浆缺陷分为大规模缺陷和小规模缺陷，可以根据等效波速法的等效波速、或管壁反射、或缺陷长度强弱确定，具体见表7。

表7 缺陷分级

管道类型	检测方向	等效波速	管壁反射	缺陷长度	缺陷类型
金属	侧向	降低 5%~10%	-	$\leq 0.4\text{m}$	小规模
		降低 10%以上		-	大规模
	上下	降低 10%~15%		$\leq 0.4\text{m}$	小规模
	上下	降低 15%以上		$> 0.4\text{m}$	大规模
塑料 PVC	侧向	降低 5%~10%	无明显反射	$\leq 0.4\text{m}$	小规模
			有一定反射	-	大规模
		降低 10%以上	-	-	大规模
	上下	降低 10%~15%	无明显反射	$\leq 0.4\text{m}$	小规模
		降低 15%以上		$> 0.4\text{m}$	大规模
		降低 15%以上	有一定反射	-	大规模

7.3.2 检测区间的灌浆质量

检测区间采用灌浆密实度指数 D 作为定位检测的评定指标，可由下式计算：

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \beta_i \times 100\% \dots\dots\dots (13)$$

式中：

N ——定位检测的点数；

β ——测点的灌浆状态，即良好：1，小规模：0.5，大规模：0。

上式也可改写成

$$D = \frac{N_J \times 1 + N_X \times 0.5 + N_D \times 0}{N} \times 100\% \dots\dots\dots (14)$$

式中：

N_J ——健全测点数；

N_X ——小规模缺陷测点数；

N_D ——大规模缺陷测点数；

N ——总测点数，有 $N=N_J+N_X+N_D$ 。

7.3.3 孔道局部的灌浆质量评价标准

当定位检测仅为孔道的局部时，用修正灌浆密实度指数 D_e 来判定孔道的灌浆质量，可由下式计算：

$$D_e = \frac{DL_d + D_k(L_0 - L_d)}{L_0} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

D ——检测区段的灌浆密实度指数；

L_d ——检测区段长度，单位为米（m）；

L_0 ——孔道全长，单位为米（m）；

D_k ——当该孔道各检测区段中，灌浆质量较好的连续区段的灌浆密实度指数。该连续区段的长度取检测区段的1/2。

由定位检测确定的灌浆密实度 D_e ，其灌浆质量评价采用表8所示方法。

表8 定位灌浆质量评价方法

评价方法	评价参数	评价结果	说明
灌浆密实度 D_e	$0.95 \leq D_e \leq 1.00$	I 类（良好）	—
	$0.90 \leq D_e < 0.95$	II 类（合格）	—
	$D_e < 0.90$	III 类（不合格）	应复检

8 检测报告

8.1 检测报告应结论明确、用词规范、文字简练，对于容易混淆的术语和概念应以文字解释、图例或图像说明。

8.2 检测报告宜包括下列主要内容：

- 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) 设计单位、施工单位及监理单位全称；
- d) 检测原因、检测目的，以往检测情况概述；
- e) 检测项目、检测方法及依据的标准；
- f) 仪器设备名称、型号、校准证书有效期；
- g) 抽样方法、检测数量与检测的位置；
- h) 检测日期，报告完成日期；
- i) 记录数据采集系统使用的参数；

j) 检测结果、检测结论；

k) 项目负责人、主要检测人员、报告审核人员、报告签发人员的签名；

l) 检测机构的有效印章。

8.3 检测原始记录宜按本文件附录 A、附录 B 的表式填写。

附 录 A

(资料性)

预应力梁孔道灌浆缺陷整体检测现场记录表

表A. 1给出了预应力梁孔道灌浆缺陷整体检测现场记录表的格式样。

表A. 1 预应力梁孔道灌浆缺陷整体检测现场记录表

试验记录编号：

第 页 共 页

工程名称				结构形式			
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				注浆龄期			
梁（板）长度				注浆工艺			
孔道编号	孔道长度 (m)	孔道直径 (mm)	钢束数量	0 端	1 端	保存文件名	初判结果
检测部位示意图							
备注							

检测：

记录：

复核：

附 录 B
(资料性)

预应力梁孔道灌浆缺陷定位检测现场记录表

表B. 1给出了预应力梁孔道灌浆缺陷定位检测现场记录表的格式样。

表B. 1 预应力梁孔道灌浆缺陷定位检测现场记录表

试验记录编号：XXX

第 页 共 页

工程名称				结构形式			
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				注浆龄期			
梁（板）长度				注浆工艺			
孔道编号		孔道长度 (m)		孔道直径 (mm)		钢束数量	
测试位置	保存文件名	初判结果		测试位置	保存文件名	初判结果	
检测部位示意图							
备注							

检测：

记录：

复核：

附 录 C
(资料性)
灌浆缺陷定位检测参考色板

C.1 健全部位

C.1.1 混凝土材质均匀，板的厚度一致

图C.1给出了混凝土材质均匀、板的厚度一致情况下，预应力梁孔道灌浆在密实部位的参考云图。



图C.1 健全部位的云图（色板-1）

C.1.2 板的厚度有变化

图C.2给出了混凝土板的厚度有变化的情况下，预应力梁孔道灌浆在密实部位的参考云图。



图C.2 健全部位的云图（色板-2）

C.2 松散型缺陷（PVC波纹管）或空洞型缺陷（铁皮波纹管）

图C.3给出了混凝土板的厚度一致的情况下，预应力梁孔道灌浆在松散型或小空洞型缺陷部位的参考云图。



图C.3 松散型/小空洞型缺陷部位的云图（色板-3）

C.3 空洞型缺陷

图C.4给出了混凝土板的厚度一致的情况下，预应力梁孔道灌浆在空洞型缺陷部位的参考云图。



图C.4 空洞型缺陷的云图（色板-4，铁皮波纹管）

在等效波速法检测时，对于预应力混凝土梁的顶板和底板，通常采用从上表面激振、拾振的方式。而对于腹板，则需要采用从侧面激振和拾振的方式。由于灌浆缺陷一般位于管道的上方，因此，从上表面激振、拾振的方式对缺陷的分辨力更高。不同的检测方向对色板的适用性略有区别。不同检测方向的缺陷判别见表C.1。

表C.1 不同检测方向的缺陷判别

色板类型	上下方向（顶、底板）	侧方向（腹板）
色板-1	健全	健全
色板-2	健全	健全
色板-3	松散型	松散型/小规模空洞
色板-4	空洞	空洞