

ICS 93.080.30

CCS P 66

DB41

河南省地方标准

DB41/T 2311—2022

公路桥梁预应力孔道灌浆密实质量检测 技术规程

地方标准信息服务平台

2022 - 09 - 16 发布

2022 - 12 - 14 实施

河南省市场监督管理局 发布

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 基本规定	2
5 现场检测	4
6 灌浆密实质量评价	5
附录 A（规范性） 公路桥梁预应力孔道灌浆密实质量检测工作流程	8
附录 B（资料性） 公路桥梁预应力孔道灌浆密实质量检测实例	9

地方标准信息服务平台

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。

本文件由河南省交通运输厅提出并归口。

本文件起草单位：河南省西浙高速公路建设有限公司、河南交院工程技术集团有限公司、河南交投兰太高速公路有限公司、中国建筑第七工程局有限公司、郑州市交通基本建设质量检测站、中交四航局第一工程有限公司、中钢集团郑州金属制品研究院股份有限公司、四川升拓检测技术股份有限公司、河南工程学院。

本文件主要起草人：郭彦伟、杨欣、骆强、孙艺、宋华锋、华海涛、白运洲、朱峰、王杰、叶雨山、杨金磊、李跃东、曹传国、冯家耀、赵伟功、黄盖、李国柱、杨建强、王庆、冯志强、余建生、吴海亮、王乘龙、刘东霞、邵景阳、谢斐、王勇杰、赫建强、杨海东、杨露、郭晓丹、王一光、吴佳晔、王震、吴宗燃、黄伯太、贺丽娟。

地方标准信息服务平台

公路桥梁预应力孔道灌浆密实质量检测 技术规程

1 范围

本文件规定了公路桥梁预应力孔道灌浆密实质量检测的术语和符号、基本规定、现场检测要求、灌浆质量评价。

本文件适用于公路桥梁后张法预应力孔道灌浆密实质量的评价。

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 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 电荷放大器检定规程

JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

综合灌浆指数

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预应力孔道灌浆密实的综合定性指标。

3.2

灌浆密实度指数

预应力孔道灌浆密实长度与孔道总长度的比值，分为检测区段预应力孔道灌浆密实度指数和全孔道修正灌浆密实度指数。

3.3

冲击回波法（IE）

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，判断预应力孔道灌浆密实度程度的方法。

3.4

冲击回波定位检测法

沿预应力孔道方向，以扫描形式逐点进行激振和接收信号，通过分析信号传播过程中预应力孔道及构件对面处反射信号的传播时间，定量判定预应力孔道各位置处灌浆密实度的方法。

3.5

冲击回波等效波速法（IEEV）

根据冲击弹性波信号经预应力孔道位置的绕射和反射特性来判断预应力孔道灌浆缺陷位置的一种分析方法。

3.6

冲击回波共振偏移法（IERS）

根据冲击弹性波信号在预应力孔道检测面正上方检测的自振频率与灌浆密实位置或附近混凝土上检测的自振频率的差异性来判断预应力孔道灌浆缺陷位置的一种分析方法。

3.7

冲击弹性波定性检测法

利用外露的预应力钢绞线两端分别进行激振和接收信号，通过分析信号传播过程中能量、波速及频率等参数的变化，定性判定预应力孔道灌浆密实的方法。

3.8

全长衰减法（FLEA）

根据弹性波在预应力孔道中传播的能量比定性判断孔道灌浆有无缺陷的分析方法。

3.9

全长波速法（FLPA）

根据弹性波在预应力孔道中传播的速度定性判断孔道灌浆有无缺陷的分析方法。

3.10

传递函数法（PFTF）

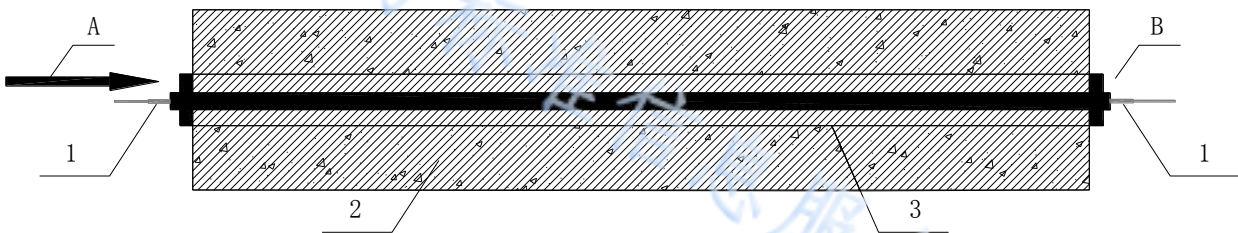
根据冲击弹性波在预应力孔道中传播的频率变化定性判定孔道两端灌浆有无缺陷的分析方法。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 预应力孔道灌浆密实质量检测宜在灌浆 7 d 后进行，预应力孔道灌浆密实质量检测分为定性检测和定位检测两种方法。

4.1.2 定性检测适用于两端预应力钢绞线露出长度 3 cm~5 cm 时、梁体总长度不大于 80 m 的预应力孔道灌浆质量普查。定性检测示意图见图 1。



标引序号说明：

1——传感器；

2——梁体；

3——预应力管道。

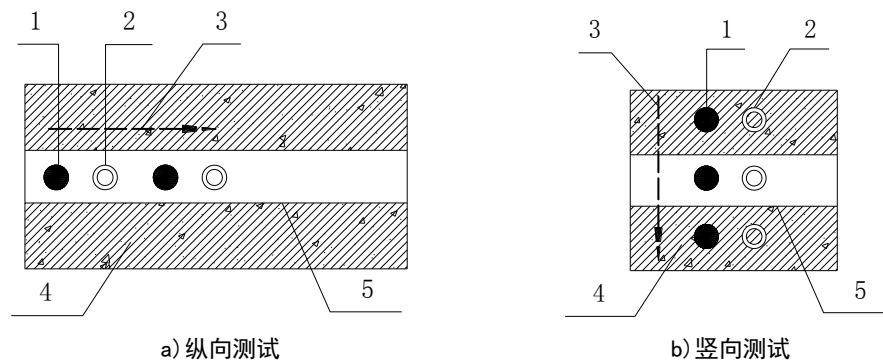
A——激发端；

B——接收端。

注：检测时从一端激发信号，另一端接收信号。

图1 灌浆密实定性检测示意图

4.1.3 定位检测适用于检测预应力孔道灌浆缺陷的有无及其位置，以及沿测线方向缺陷的范围。定位检测示意图见图2。



标引序号说明：

- 1——激振点；
- 2——传感器；
- 3——测试方向；
- 4——梁体；
- 5——预应力管道。

图2 灌浆密实定位检测示意图

4.1.4 定位检测分析方法的适用条件按表1选择。

表1 定位检测分析及适用条件

定位检测分析方法	适用条件
冲击回波等效波速法（IEEV）	测试位置的构件厚度不大于80 cm，且测试方向为单排孔道，底端反射明显
冲击回波共振偏移法（IERS）	测试位置的构件厚度大于80 cm，或测试方向存在多排孔道并列，或底端反射不明显

4.2 检测设备

4.2.1 检测设备主要包括：信号激发装置、信号接收装置、信号调理装置、数模转换装置、数据分析装置。

4.2.2 检测设备需符合下列规定：

- a) 标定幅值误差应在±5%范围之内；
- b) 电信号测量误差应在±1.0%范围之内；
- c) 模数转换（A/D）卡通道应不少于2个，采样分辨率应不低于16 bit，最大采样频率应不小于500 kHz；
- d) 传感器宜采用压电式加速度传感器，压电式加速度传感器应符合JB/T 6822的要求，频响范围宜介于0.1 kHz~20 kHz；
- e) 放大器宜采用电荷放大器，最大增益倍率宜不小于40 dB，且增益倍率可调；
- f) 应适用于2个以上通道数据采集，具有自检和预触发功能；
- g) 应具有滤波降噪，频响补偿，快速傅立叶变换和最大熵法频谱分析等功能；
- h) 数字信号显示、存储、成像等功能；
- i) 检测软件应包含数据上传功能。

5 现场检测

5.1 一般规定

5.1.1 预应力孔道灌浆施工后，应按 JTG/T 3650 的相关要求对灌浆密实质量进行检测。对采用不同工艺或灌浆材料施工的梁型，应对最初施工的 3 片预制梁的孔道灌浆密实质量全数检测或第 1 跨现浇梁前 10 个孔道进行灌浆密实质量检测，其它的孔道灌浆密实质量检测频率按照有质量管辖权的机构要求实施。

5.1.2 对需要排查灌浆施工缺陷的梁体、孔道，应全数逐一检测。

5.1.3 预应力孔道灌浆密实质量检测前，应先对梁体混凝土缺陷进行检测，以排除梁体混凝土缺陷对预应力孔道灌浆密实质量检测的影响。检测前的准备工作应按 JGJ/T 411—2017 的规定执行。

5.1.4 现场检测工作流程见附录 A。

5.2 传感器安装

5.2.1 检测时应保证传感器与被测体紧密耦合，且接触面无浮浆等异物。

5.2.2 定位检测时传感器应采用专用支座与检测对象表面耦合，专用支座应具有增加阻尼和抑制按压力度的功能。

5.3 激振方式

定位检测应根据检测对象的构件厚度差异，按表 2 选取合适的激振锤进行激振。

表2 定位检测激振锤的选取依据

构件厚度 mm	<200	≥200, <400	≥400, <600	≥600
首选激振锤	D10	D17	D17	D30
次选激振锤	D17	D10	D30	D50

注：“Dxx”中“D”为激振锤名称代号，“xx”为激振锤直径（mm）。激振锤为不锈钢材质的实心球体。

5.4 检测实施

5.4.1 定性检测利用露出的预应力钢绞线，在一端激发信号，两端分别接收信号。通过分析弹性波信号在传播过程中信号的波速、能量、频率等参数的变化，从而判断该预应力孔道灌浆质量的优劣程度。检测实例见附录 B。

5.4.2 定性检测步骤应符合下列规定：

- 按正确方式连接检测系统，按要求安装传感器，设置、标定试验参数，确认系统运行正常；
- 在管道的一端用激振锤激振，应使激振方向与预应力钢绞线走向平行，记录测试数据；
- 调整设备参数，在管道另一端激振并记录数据；
- 操作人员检查数据文件，确认数据完整有效、无异常情况结束后结束测试；
- 每片梁检测后，均应在其无预应力孔道的区域对波速进行标定，应取 3 次测量的平均值作为标定结果。

5.4.3 定位检测应优先选择预应力孔道位置相对较高的锚头两端、负弯矩区、起弯点等位置进行检测。沿预应力孔道轴线的位置，逐点进行激振和接收信号。通过分析激振信号从波纹管以及对面梁侧反射信号的有无、强弱、传播时间等特性，来判断测试点下方波纹管内灌浆密实缺陷的有无。检测实例见附录 B。

5.4.4 定位检测步骤应符合下列规定：

- a) 按正确方式连接检测系统，设置、标定试验参数，确认系统运行正常；
- b) 根据设计值和施工情况标注出预应力孔道位置，以预应力孔道中心线为测线，测点间隔可根据精度要求确定，一般选择 10 cm~20 cm 为测点间隔；
- c) 按一定的方向对每个测点进行测试，测试时按要求将传感器和测试面耦合在一起；
- d) 激振点距离传感器位置宜为构件厚度的 1/4，激振方向应与构件表面垂直；
- e) 将一条测线的全部测点逐一采集、保存数据后，操作人员检查数据文件，在确认数据完整、无异常情况后结束测试；
- f) 在每一片梁检测后，均应在每端无预应力孔道的区域（宜选在 2 个孔道之间）进行线性标定或定点标定，确定混凝土底部回波时间，宜取 3 次回波时间测量的平均值作为标定结果。

6 灌浆密实质量评价

6.1 定性检测评价方式

6.1.1 采用综合灌浆指数 I_f 作为定性检测的评定指标。

6.1.2 当测试条件和测试频率正常，采用 FLEA、FLPV、PFTF 三个分项计算综合灌浆指数 I_f ，计算公式见公式 (1)。

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

式中：

I_f ——综合灌浆指数；

I_{EA} ——根据FLEA法得到的分项灌浆指数；

I_{PV} ——根据FLPV法得到的分项灌浆指数；

I_{TF} ——根据PFTF法得到的分项灌浆指数。

各分项灌浆指数是根据基准值线性内插计算得到的，基准值可见表3。

表3 灌浆指数的基准值

方法	项目	灌浆	无灌浆
I_{PV} 全长波速法	波速 (km/s)	实测波速 ^a	5.01 ^b
I_{EV} 全长衰减法	能量比 X ^c	0.02	0.20
I_{TF} 传递函数法	频率比 (F_r/F_s) ^d	1.00	3.00
I_{TF} 传递函数法	激振频率 F_s (kHz)	2.0	4.0

注：有标定条件时，应分别对已知灌浆密实孔道和未灌浆孔道进行波速、能量、频率标定，结果作为灌浆指数计算的基准值。

^a 混凝土梁不同部位的P波波速有一定的不同；
^b 根据钢绞线的模量（196 GPa）推算，并结合实际测试验证；
^c 能量比X可按公式（2）计算；
^d F_r 、 F_s 分别是接收端和激振端信号的卓越频率（kHz）。

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

式中：

X ——能量比；

A_r ——接收端信号的振幅，单位米每二次方秒 (m/s^2)；

A_s ——激振端信号的振幅，单位米每二次方秒 (m/s^2)；

L ——预应力孔道全长，单位为米 (m)；

L_0 ——预应力孔道长度基准值，一般取10 m，单位为米 (m)。

6.1.3 当测试条件不利于激振或测试频率异常时，宜采用 FLEA、FLPV 两个分项计算综合灌浆指数，计算公式见公式 (3)。

$$I_f = (I_{EA} \cdot I_{PV})^{1/2} \dots\dots\dots(3)$$

6.2 定位检测评价方法

6.2.1 灌浆缺陷分为严重缺陷和一般缺陷，可以根据 IEEV 法的底部反射波速以及波纹管壁反射 (IE) 信号进行分级，具体见表 4。

表4 分级

管道类型	测试方向	等效波速	管壁反射	缺陷长度 m	灌浆状态 β
金属	激振点与接收点的连线沿孔道轴线	降低 5%~10%	无明显反射	≤ 0.4	一般缺陷
		降低 >10%	无明显反射	—	严重缺陷
	激振点与接收点的连线垂直孔道轴线	降低 10%~15%	无明显反射	≤ 0.4	一般缺陷
		降低 >15%	无明显反射	> 0.4	严重缺陷
塑料 PVC	激振点与接收点的连线沿孔道轴线	降低 5%~10%	无明显反射	≤ 0.4	一般缺陷
		降低 5%~10%	有一定反射	—	严重缺陷
		降低 >10%	—	—	严重缺陷
	激振点与接收点的连线垂直孔道轴线	降低 10%~15%	无明显反射	≤ 0.4	一般缺陷
		降低 >15%	无明显反射	> 0.4	严重缺陷
		降低 >15%	有一定反射	—	严重缺陷

6.2.2 当仅对检测区段进行灌浆质量评价时，采用灌浆密实度指数 D 作为定位检测的评定指标，计算公式见公式 (4) 或公式 (5)。

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \beta_i \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

$$D = \frac{N_J \times 1 + N_X \times 0.5 + N_D \times 0}{N} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

式中：

D ——检测区段的灌浆密实度指数；

N ——定位测试的总点数；且 $N=N_J+N_X+N_D$ ；

N_J ——密实测点数；

N_X ——一般缺陷测点数；

N_D ——严重缺陷测点数；

β —— i 取1-N时所对应的测点的灌浆状态，即良好： $\beta=1$ ，一般缺陷： $\beta=0.5$ ，严重缺陷： $\beta=0$ 。

6.2.3 当定位检测仅为预应力孔道的局部时，用修正灌浆密实度指数 D_e 来判定预应力孔道全长的灌

浆质量，计算公式见公式（6）。

$$D_e = \frac{DL_d + D_k(L - L_d)}{L} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

D_e ——修正灌浆密实度指数；

L_d ——检测区段长度；

D_k ——该预应力孔道各检测区段中，灌浆质量较好的连续区段的灌浆密实度指数。

6.3 评价标准

由定性检测确定的综合灌浆指数 I_f 及修正灌浆密实度 D_e ，其灌浆密实度质量评价如表5所示。

表5 灌浆密实度质量评价标准一览表

评价方法	评价参数	评价结果	说明
综合灌浆指数 I_f	≥ 0.95	I类（优）	无需定位复检
	$\geq 0.80, < 0.95$	II类（良）	重点部位应定位复检
	< 0.80	III类（不合格）	缺陷验证（如钻孔验证、内窥镜验证）
修正灌浆密实度指数 D_e	≥ 0.95	I类（优）	无需定位复检
	$\geq 0.90, < 0.95$	II类（良）	无需定位复检
	< 0.90	III类（不合格）	应复检，复检仍不合格，应立即停止同类灌浆施工，并查明原因，另行确定处治办法

地方标准信息服务平台

附录 A
(规范性)

公路桥梁预应力孔道灌浆密实质量检测工作流程

A.1 现场检测工作流程

现场检测工作流程如图A.1所示。

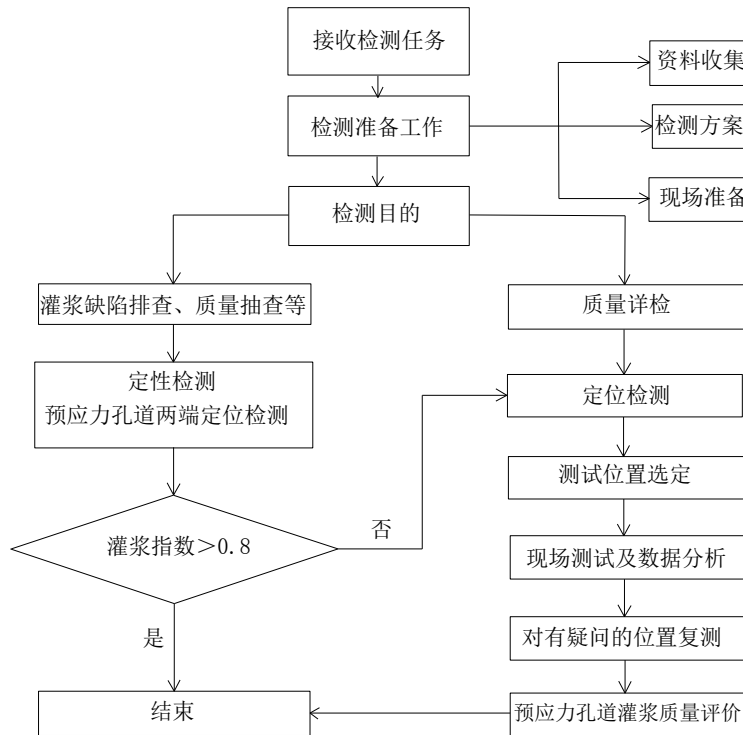


图 A.1 公路桥梁预应力孔道灌浆密实质量检测流程

A.2 检测准备工作

A.2.1 调查工程现场，收集工程设计图纸、灌浆资料、施工记录等资料，了解预应力孔道位置走向、灌浆工艺及灌浆过程中出现的异常情况。

A.2.2 定性检测准备工作：应将预应力孔道两端封锚砂浆凿除，并将锚具与露出的预应力钢绞线清洗干净。

A.2.3 定位检测准备工作：对于定位检测，应依据设计图纸、施工记录，描绘出被测预应力孔道走向及测点位置和间距，并使测试区域及反射面内的混凝土表面平整、光洁。

A.2.4 编制检测方案包括但不限于：工程概况，检测目的，检测要求，检测依据，检测方法，检测人员和仪器设备情况等。

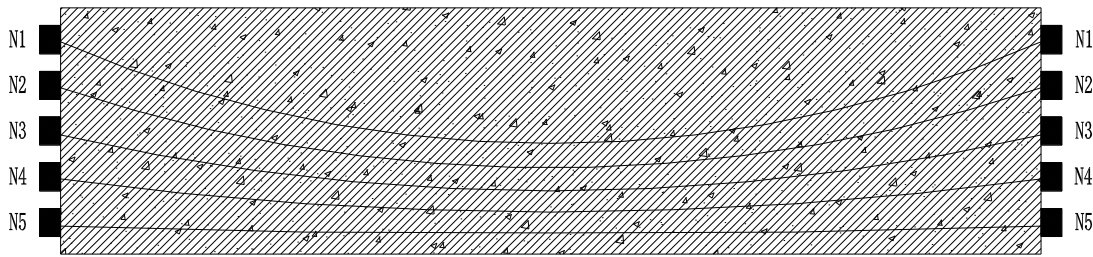
附录 B

(资料性)

公路桥梁预应力孔道灌浆密实质量检测实例

B.1 检测实例简介

检测的对象为预应力T梁模型。模型梁的设计尺寸为10.0 m×1.6 m×0.51 m，孔道直径为8 cm，混凝土设计强度为C50。有部分预应力孔道设置了缺陷，其中N1、N3、N5孔道为金属波纹管，N2、N4孔道为塑料波纹管。对模型梁分别进行了预应力孔道灌浆密实质量定性检测和定位检测，T梁模型如图B.1所示。



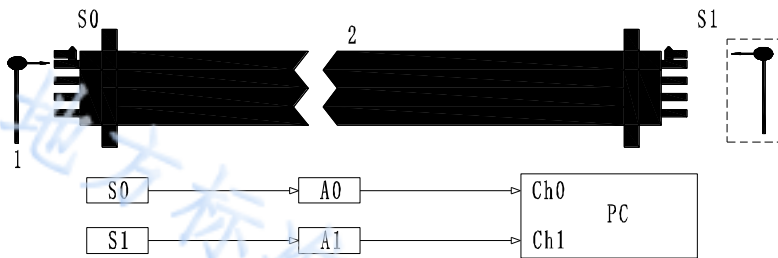
标引序号说明：

N1、N2……N5——预应力孔道编号。

图 B.1 T 梁模型图

B.2 定性检测

B.2.1 在T梁一端激发信号，两端分别接收信号，检测示意图如图B.2所示。



标引序号说明：

1 ——激振锤；

2 ——预应力孔道；

PC ——仪器主机；

S0、S1 ——加速度传感器；

A0、A1 ——电荷放大器；

Ch0、Ch1——数据通道。

图 B.2 定性检测示意图

B.2.2 分析弹性波信号在传播过程中信号的波速、能量、频率等参数的变化，判断各预应力孔道灌浆密实质量。检测结果见表B.1。

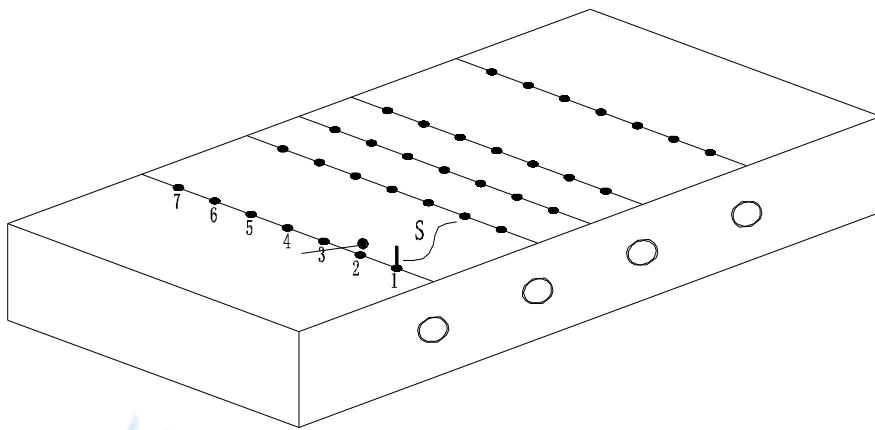
表 B.1 T 梁预应力孔道灌浆密实质量定性检测结果

定性检测分析方法	测试项目	N1	N2	N3	N4	N5
全长波速法	波速/km/s	4.476	4.433	4.446	4.530	4.598
全长波速法	灌浆指数 I_{PV}	0.960	1.0	1.0	0.877	0.717
全长衰减法	能量比	0.138	0.057	0.147	0.229	0.060
	灌浆指数 I_{EA}	0.344	0.795	0.294	0	0.778
综合灌浆指数 I_f		0.575	0.892	0.542	0	0.879

B.2.3 根据定性测试结果，N1、N3、N4孔道的综合灌浆指数均小于0.80，存在灌浆缺陷的可能性较大。

B.3 定位检测

B.3.1 根据定性检测结果，对N1、N3、N4孔道进行灌浆密实质量定位检测，检测示意图如图B.3所示。



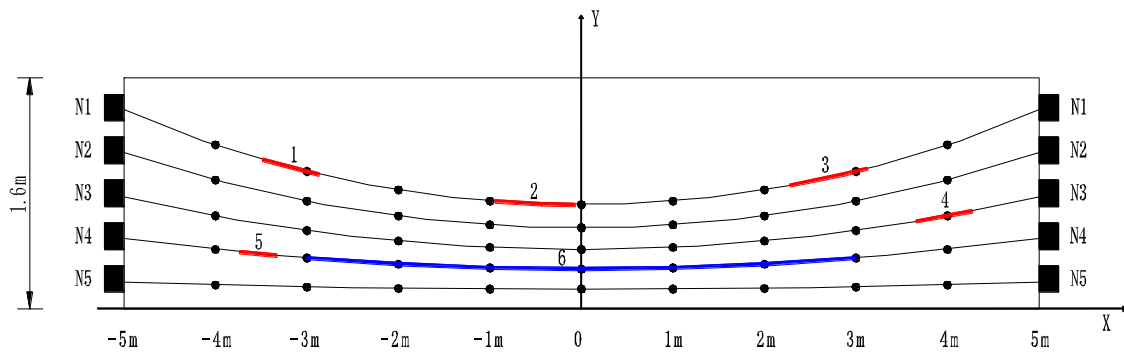
标引序号说明：

S —— 传感器；

1、2……7——测点编号。

图 B.3 定位检测示意图

B.3.2 沿N1、N3、N4孔道轴线位置，以扫描的形式沿线逐点进行激振和接收信号。通过分析激振信号从波纹管及对面梁侧反射信号的有无、强弱、传播时间等参数的变化，判断预应力孔道灌浆密实质量，定位检测测点布置示意图如图B.4所示，定位检测结果见表B.2。



标引序号说明:

X、Y ——坐标轴;

1、2……6 ——缺陷编号;

N1、N2……N5 ——预应力孔道编号。

图 B.4 定位检测测点布置示意图

表 B.2 T 梁预应力孔道灌浆密实质量定位检测结果

孔道编号	缺陷编号	缺陷位置/m	备注
N1	1	-3.5~-2.7	—
	2	-0.9~-0.3	—
	3	2.3~3.4	—
N3	4	3.8~4.3	—
N4	5	-3.6~-3.4	—
	6	—	-3 m~3 m位置检测面为斜面, 为测试盲区

地方标准信息服务平台