

ICS 93.040

P66

备案号：

DB53

云 南 省 地 方 标 准

DB 53/T 811—2016

桥梁预应力管道注浆密实度检测技术规程

Technical specification for detection of bridge prestressed pipe grouting density

2016 -11- 10 发布

2017 - 02 - 01 实施

云南省质量技术监督局

发 布

目 次

目次	I
前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语定义及符号	1
3.1 术语	1
3.2 符号	2
4 基本规定	3
4.1 一般规定	3
4.2 抽样	3
4.3 检测工作程序	3
4.4 检测时段	4
4.5 质量评定	4
5 声波全长检测法	5
5.1 适用范围	5
5.2 仪器设备	6
5.3 现场检测	6
5.4 检测数据处理与评定	8
6 声波侧面检测法	9
6.1 适用范围	9
6.2 仪器设备	10
6.3 现场检测	10
6.4 检测数据处理与评定	11
7 电磁波检测法	11
7.1 适用范围	11
7.2 仪器设备	11
7.3 现场检测	12
7.4 检测数据处理与评定	12
8 破损检查验证	13
8.1 一般规定	13
8.2 破损验证	13
附录 A	14
(规范性附录)	14
桥梁预应力构件注浆密实度检测记录表	14
附录 B	15
(资料性附录)	15
预应力管道注浆缺陷的处置	15

本规程用词说明 17

前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由云南省公路开发投资有限责任公司提出。

本标准由云南省交通运输标准化技术委员会(YNTC 13)归口。

本标准主要起草单位：云南省公路开发投资有限责任公司、云南航天工程物探检测股份有限公司。

主要起草人员：彭赛恒 刘浩 姚勇 柯玉军 王运生 张维平 范明外 苏建坤 范明坤
李新祥 陈钰 刘昌 陈升玉 陈亮 何春伟 王毅 李耀华 许泽峰 余灿林 程路明。

桥梁预应力管道注浆密实度检测技术规程

1 范围

本规程规定了桥梁预应力管道注浆密实度检测的基本规定、检测方法、缺陷定位与验证、质量评定。本规程适用于云南省境内桥梁预应力管道注浆密实度检测和评定。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 50152 混凝土结构试验方法标准

JTG D60 公路桥涵设计通用规范

JTG D62 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范

JTG/T F50 公路桥涵施工技术规范

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准

JGJ/T 182 锚杆锚固质量无损检测技术规程

CJJ 11 城市桥梁设计规范

CJJ 2 城市桥梁工程施工与质量验收规范

3 术语定义及符号

下列术语和符号适用于本文件。

3.1 术语

3.1.1

钢绞线 steel strand wire

钢绞线是由多根钢丝绞合而成的产品。作为预应力筋的钢绞线，其直径一般在9.53mm~17.8mm范围，每根钢绞线中的钢丝一般为7根。

3.1.2

波纹管 bellows

是一种外型为规则波浪样的管材，在后张法预应力结构中可作为预应力管道、预留穿入预应力筋。波纹管按材质可分为金属波纹管、塑料波纹管。

3.1.3

预应力注浆锚固体系 prestressed pipeline grouting system

由波纹管、预应力筋、注入后凝固并包裹预应力筋的浆体以及锚夹具共同组成的体系。

3.1.4

注浆密实度 grouting density

桥梁预应力管道内注浆的密实程度，本规程按单根预应力管道内注浆密实段长度与预应力管道长度的比值计。

3.1.5

缺陷 defects

桥梁预应力管道内注浆不密实部分及空洞区。

3.1.6

声波全长检测方法 acoustic detection method of steel strand length

简称全长检测法，是在钢绞线端头（两端或同端），采用声波法检测全长孔道注浆密实度的方法，按检测方法可分为声波透视法、声波反射法和声波谱能法，按评价指标可分全长波速法、全长衰减法。

3.1.7

侧面扫查检测方法 detection method of bellows side scanning

在波纹管侧面的梁板面投影线（点）处，采用声波、电磁波剖面法或单点反射法，详细扫查波纹管侧内注浆密实度及缺陷位置、范围的方法，简称侧面检测法。声波法可分为单点反射法、冲击回波法、声波散射法、声波剖面法等，探地雷达法是一种电磁波方法。

3.1.8

超磁激振器 super magnetic vibrator

利用稀土超磁材料的磁致伸缩现象而制作的震源。

3.1.9

缺陷定位检测 defect location detection

对预应力管道注浆密实度进行逐点或逐段查找缺陷部位的检测。

3.1.10

破损检查验证 defect verification

采用钻孔等破损方式对预应力管道注浆密实度无损检测结果进行检查、验证。

3.2 符号

D ——预应力管道注浆密实度；

f ——声波频率；

L ——单根预应力管道实测长度；

L_0 ——预应力管道注浆不密实段管道长度；

L_d ——预应力管道注浆密实段管道长度；
 n ——预应力筋钢绞线根数；
 n_b ——预应力筋包裹不实钢绞线根数；
 n_e ——预应力筋包裹不实钢绞线根数；
 P ——预应力管道截面预应力筋包裹率；
 V ——弹性波传播速度，预应力注浆锚固体体系的固结声波波速；
 V_t ——预应力筋与周围介质组成的一维纵向声波速度；
 Δf ——预应力筋的相邻谐振峰之间的频差；
 ε ——相对介电常数。

4 基本规定

4.1 一般规定

- 4.1.1 从事桥梁预应力管道注浆密实度检测机构应拥有相应检测资质，检测参数应通过检验检测机构资质认定，承担检测人员应经过专门培训合格并持证上岗。
- 4.1.2 检测仪器设备应经检定或校准并合格。
- 4.1.3 桥梁预应力管道注浆密实度检测方法应根据检测条件、适用范围、施工工艺等合理选用，原则上应先定性普查检测、再详细缺陷定位检测。
- 4.1.4 可根据需要、选择适当部位，对注浆密实度无损检测结果作破损检查验证。
- 4.1.5 桥梁预应力管道注浆密实度检测除应执行本规程外，尚应符合国家、行业现行有关标准的规定。

4.2 抽样

- 4.2.1 应根据预应力桥梁的规模、构件类型，按表1进行桥梁预应力构件注浆密实度抽样检测。

表 1 桥梁预应力构件注浆密实度检测抽样比例

桥梁规模	构件类型	抽检比例
中小跨径（单孔跨径<40m）	预制预应力构件	抽检的预应力管道数不少于20%，且每座桥梁抽检片数不少于3片
	现浇预应力梁（板）桥	抽检的预应力管道数不少于20%
大跨径（单孔跨径≥40m）	—	抽检的预应力管道数不少于40%

- 4.2.2 对线型复杂、要求特殊的桥梁预应力结构和预应力管道，应加大比例。
- 4.2.3 被抽检的单个预应力混凝土构件中的所有预应力管道均应进行注浆密实度检测。
- 4.2.4 若预应力构件中按本规程检测评定存在注浆密实度为Ⅱ级（不含）以下的桥梁结构和管道，应加大抽检比例，直至全检。

4.3 检测工作程序

- 4.3.1 预应力管道注浆密实度检测工作应按照图1的程序进行。
- 4.3.2 注浆密实度检测，应先采用本规程全长普查检测方法对梁板的预应力管道的注浆密实度进行普查；对注浆密实度依照本规程评定为Ⅰ级或Ⅱ级的预应力管道、梁板，可直接提交检测报告；对注浆

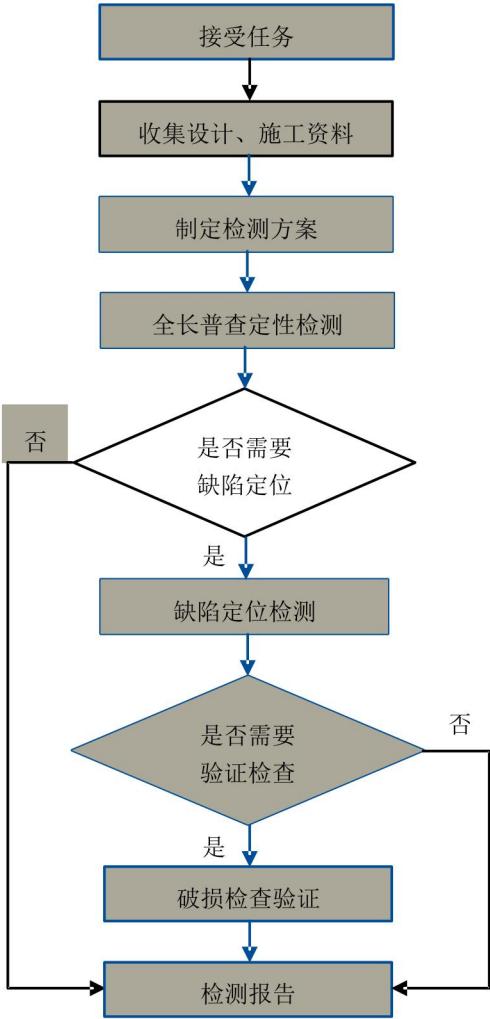


图1 注浆密实度检测流程图

密实度评定为III级或IV级的预应力管道，应采用缺陷定位检测方法进行缺陷定位检测，然后出具检测报告。

4.3.3 预应力管道注浆密实度缺陷部位补浆处置后，应采用本规程全长普查检测方法进行注浆密实度检测；如果处理后注浆密实度仍为III级或IV级的梁板（构件），宜视情况进行处理或报废。

4.3.4 应及时完整规范地填写检测记录表。桥梁预应力管道注浆密实度现场记录表见附录A。

4.4 检测时段

4.4.1 对预制梁体，应在预应力管道注浆完成48h后、移运和吊装前进行预应力管道注浆密实度检测工作。当室外温差大、气温低于4℃的冬季施工时，如果没有适当的温度控制和养护条件，则检测宜在注浆完成72h后进行检测。

4.4.2 对现浇梁段，应在预应力管道注浆完成48h后进行预应力管道注浆密实度检测。

4.5 质量评定

4.5.1 现场检测结束后，应对每个已检测管道的注浆密实度进行评定。

4.5.2 对单个注浆孔道注浆密实度评价，应包括以下内容：

- a) 注浆密实度评定；

b) 缺陷部位和性质分析。

4.5.3 采用声波透射波法、声波反射波法对单个预应力孔道注浆密实度进行全长普查检测时，应按表2标准进行评定。

表 2 预应力孔道注浆密实度全长普查检测质量评定标准

质量评定等级	固结波速 V 推荐范围 (m/s)	波形和频谱特征	注浆密实度 I (%)	注浆状况评价
I	≤ 4300	波形衰减规律不明显，能量衰减快，频谱主频低	≥ 95	密实
II	(4300, 4500]	波形衰减规律欠明显，能量衰减较快，频谱成分较复杂，频谱主频较低	(95, 85]	基本密实
III	(4500, 4700]	波形衰减规律较明显，能量衰减较慢，频谱主频较高	(85, 75]	局部不密实或空浆
IV	大于 4700	波形衰减规律明显，能量衰减慢，频谱主频高	< 75	多处不密实或空浆

4.5.4 采用声波侧面扫查法、声波散射波法和电磁波侧面扫查法对预应力孔道进行缺陷定位检测时，应按表3进行评定，采用声波谱能法进行普查或缺陷定位检测时可参照表3进行评定。

表 3 预应力孔道注浆密实度侧面扫查检测质量评定标准

质量评定等级	波形和频谱特征	注浆密实度 I (%)	注浆状况评价
I	波形衰减规律不明显，散射和反射波明显，高频散射和反射信号能量弱，频谱主频低	≥ 95	密实
II	波形衰减规律欠明显，散射和反射波欠明显，高频散射和反射信号能量较弱，频谱主频较低	(95, 85]	基本密实
III	波形衰减规律较明显，散射和反射波较明显，高频散射和反射信号能量较强，频谱呈双峰状、主频较高	(85, 75]	局部不密实或空浆
IV	波形衰减规律明显，散射和反射波不明显，高频散射和反射信号能量强，频谱呈双峰或多峰状、主频高	< 75	多处不密实或空浆

4.5.5 采用两种及以上方法进行全长普查检测、侧面扫查检测时，应结合两种方法的检测结果进行综合评价。

5 声波全长检测法

5.1 适用范围

5.1.1 声波全长普查检测法包括声波透射法、声波反射法、声波谱能法，适用于预应力管道注浆密实度的普查检测。

5.1.2 本方法不适用于锚固端均已浇筑封闭预应力管道的检测。

5.2 仪器设备

5.2.1 激发与接收设备应符合下列要求：

- 激振器激振频率范围应在 $10\text{Hz}\sim 25\text{kHz}$ ，宜使用线性调频脉冲震源或超磁致伸缩声波震源、线性调频脉冲震源，激振器必须能产生频率固定、振幅一致的瞬态冲击振动信号；
- 接收传感器频率响应范围宜在 $10\text{Hz}\sim 25\text{kHz}$ ，宜选用加速度型传感器或速度型传感器，可通过强力磁座或其它方式耦合；
- 传感器灵敏度和激振能量应与采集器信号输入范围相匹配，加速度传感器电压灵敏度宜为 $100\text{mV/g}\sim 1000\text{mV/g}$ 。

5.2.2 信号采集仪器应符合下列要求：

- 检测仪器的采集器应具有现场显示、输入、保存实测波形信号、检测参数的功能，宜有对现场检测信号进行分析处理、与计算机进行数据通信的功能；
- 采集器模拟放大的频率带宽不窄于 $10\text{Hz}\sim 50\text{kHz}$ ，具有滤波频率可调；
- A/D 转换位数应不低于 16 位；
- 最小采样间隔应不大于 $10\mu\text{s}$ ；
- 采集器应不少于 2 个通道；
- 采集器宜采用轻便节能设计，应能与超磁致伸缩声波震源、线性调频脉冲震源或其他瞬态冲击震源匹配工作。

5.2.3 检测数据的处理分析软件宜具有数字滤波、振幅频谱分析、瞬时相位谱分析、能量计算分析等信号处理功能，缺陷位置计算和密实度分析功能，可将检测波形、计算参数、分析结果导入电子文档。

5.3 现场检测

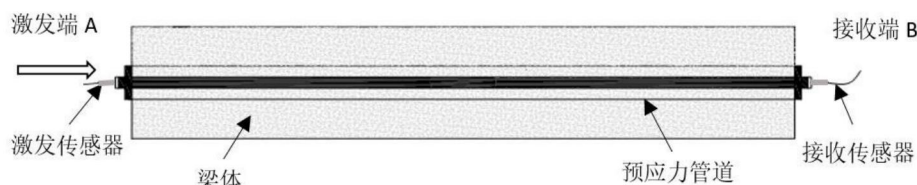
5.3.1 受检预应力构件和检测现场应符合下列规定：

- 受检预应力管道注浆期龄应符合本规程 4.4 节的规定；
- 锚头外露预应力筋长度不应超过 100mm ，且外露预应力筋截面平整、外表清洁；
- 对于锚头上已用混凝土封堵的锚固体系，检测前应先凿开封堵混凝土，清洁预应力筋和锚具端头；
- 对受检梁板、波纹管管道和预应力筋进行编号。梁板可按照小桩号端用 A 端、大桩号端用 B 端表示；波纹管管道可按设计、施工编号，或自上而下、按顺时针编号；预应力筋可按正上方为起始点编号，小桩号端按顺时针编号、大桩号端按逆时针编号；
- 根据预应力管道的实际走线情况，准确量测出预应力管道的长度并记录；
- 检测期间，预应力构件安放现场周边不能有机机械振动、电焊作业等对检测数据有明显干扰的施工作业。

5.3.2 检测工作布置

5.3.2.1 声波透射法检测工作布置应符合下列规定：

- 检测工作应按图 2 所示，采用“一端激发、另一端接收”、激发方向和接收方向均平行于预应力管道方向的方式布置。



a) 全长断面

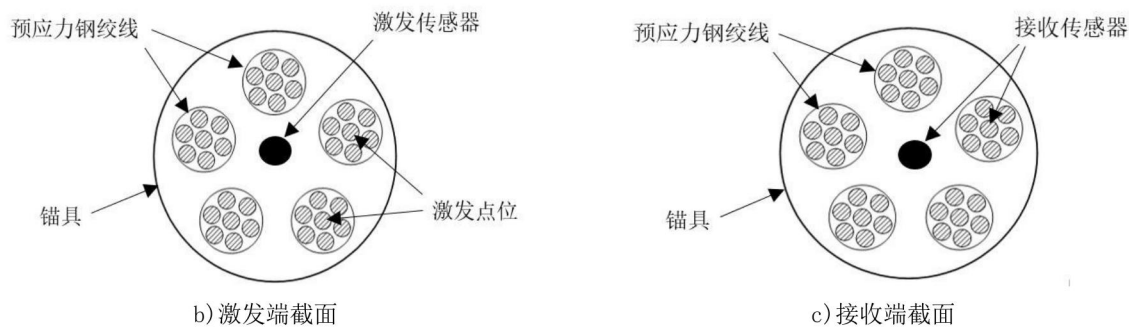


图 2 声波透射法检测工作布置示意图

- b) 激发传感器宜布置在锚头中间部位，激发装置应垂直安置在钢绞线端头、平行于钢绞线方向激发振动信号。
- c) 接收传感器采用垂直拾振器，可布置于钢绞线端头或锚头上。
- d) 应保持激发传感器、接收传感器与钢绞线或锚头耦合良好。

5.3.2.2 声波反射法检测工作布置应符合下列规定：

检测工作应按图 3 a) 所示的激发接收在同一端，激发方向和接收方向均平行于预应力管道方向的方式布置。其他布置要求可依照本规程第 5.3.2.1 条第 b)、c)、d) 款执行。

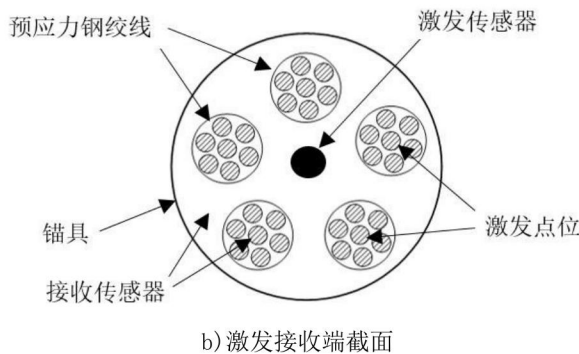
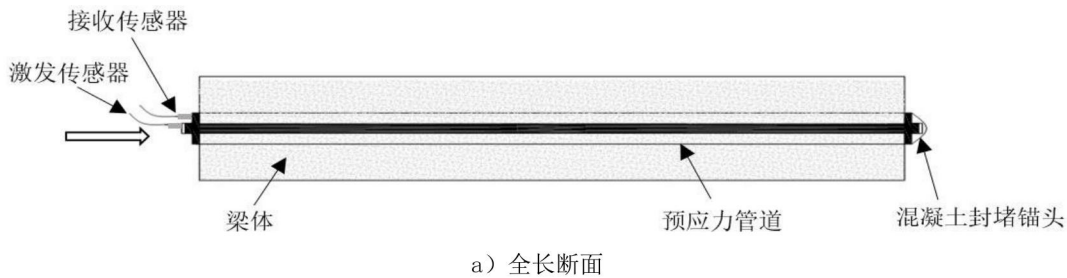


图 3 声波反射法检测工作布置示意图

5.3.2.3 声波谱能法检测工作布置应符合下列规定：

- a) 检测工作应按图 4 所示布置，采用激发点和接收点在预应力构件同一端、垂直钢绞线激发、平行钢绞线接收的激发接收方式布置；
- b) 激发接收端钢绞线外露长度宜不短于 5cm；
- c) 激发点、接收点应为同一束钢绞线，采取逐根钢绞线检测方式；
- d) 对于梁板长度小于等于 30m 的预应力管道，可采用一端采集；对于梁板长度大于 30m 的预应力管道宜采用两端采集。

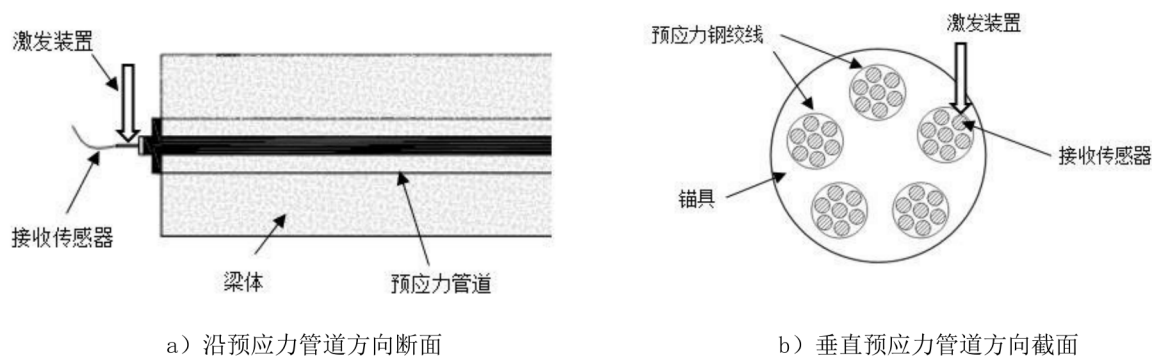


图4 声波谱能法检测工作布置示意图

e) 其他布置要求可依照本规程第 5.3.2.1 条第 c)、d) 款执行。

5.3.3 测试参数设定，应符合下列规定：

- 时域信号记录长度应根据预应力孔道长度合理选用，在 $2L/V$ 时刻后不少于 5ms；频域信号分析的频率范围上限不应小于 10kHz；
- 采样时间间隔或采样频率应根据预应力孔道长度、注浆后预应力体系固结波速和频率分辨率合理选用；注浆后预应力体系固结波速可根据本地区同类预应力构件的测试值初步设定；时域信号采样点数不宜少于 1024 点；
- 传感器的设定值应按检定或校准结果设定；
- 同一工程项目相同规格的预应力孔道，检测时宜设置相同的仪器参数。

5.3.4 数据采集和筛选，应符合下列规定：

- 检测前应调试检测仪器设备，检查激发传感器、接收传感器与预应力筋端头、锚具耦合情况；
- 正式进行数据采集前，应先测试背景噪音和试采集，确保仪器工作正常、参数设置正确；
- 声波透射法、声波反射法应垂直截面激振；声波谱能法应使用钢钎尖端顶实钢丝缝隙激振，并通过不同激振能量分段记录检测信号。
- 对检测数据进行预判，如发现实测数据不正常，应重新采集；能谱法检测应注意记录信号的对称性；
- 同个激发、接收点宜采集不宜少于 3 组一致性较好的实测数据；多次实测数据一致性较差时应分析原因、排除干扰，并增加检测次数；
- 采用人工智能法判断注浆密实度前，应建立已知注浆密实度的预应力管道样本模型，测取获得足够多的已知样本模型数据库；已知样本模型数据不少于 10 组；
- 应及时记录检测情况、仪器参数设置、被检构件状况。

5.4 检测数据处理与评定

5.4.1 声波透射法、反射法检测数据处理应符合下列规定：

- 采取数据预处理措施，尽可能压制干扰信号，增强有效信号，提高分辨率和信噪比；
- 根据现场检测的原始数据波形图读出直达波的到达时间、振幅（能量）等参数；
- 根据现场测量的波纹管的长度和走时，自动计算出波纹管注浆的固结波速；
- 可对波形进行小波分析法、FFT 转换，分析频谱特征；
- 根据采计算出的波纹管注浆的固结波速，结合波形特征和频谱特征，计算出注浆密实度。

5.4.2 采用人工智能神经网络法的声波透射法检测数据处理，应符合以下规定：

- 将已知样本库的管道长度、固结波速、主频、能量衰减等特征值和已知注浆密实度值作为学习样本数据，建立客观准确的样本模型数据库；已知样本模型数据可不断增补；

- b) 对实测数据分别进行时深转换、时频分析和频谱分析,求得实测预应力管道的固结波速、能量衰减系数、频谱主频等特征值;
 - c) 采用 BP 人工智能神经网络法,智能评定、反演出实测管道的注浆密实度。
- 5.4.3 声波谱能法数据处理应符合下列规定:
- a) 采用短时窗滚动频谱分析法,对声波检测记录到的三振相(相位、振幅、频率)进行处理,分析预应力筋在不同状态下的振动特征,识别、分离并以时窗滚动方法进行定位,确定预应力管道注浆密实度。
 - b) 预应力管道截面预应力筋包裹率应按式(5.4.3-1)计算:

$$P = \frac{n - n_u}{n} \times 100\% = \frac{n_e}{n} \times 100\% \quad (5.4.3-1)$$

式中, P ——预应力管道截面预应力筋包裹率;

n ——预应力筋钢绞线根数;

n_u ——预应力筋包裹不密实的钢绞线根数;

n_e ——预应力筋包裹密实的钢绞线根数。

当预应力管道中预应力筋包裹率低于 60%,可认定预应力筋处于握裹力不足、管道处于注浆不饱满状态。

5.4.4 预应力管道注浆密实度应按式(5.4.4-1)计算:

$$D = \frac{L - L_u}{L} \times 100\% = \frac{L_d}{L} \times 100\% \quad (5.4.4-1)$$

式中, D ——管道注浆密实率

L ——单根预应力管道实测长度;

L_u ——预应力管道注浆不密实段管道长度;

L_d ——预应力管道注浆密实段管道长度。

5.4.5 质量评定

- a) 声波透射法、声波反射法应根据波纹管注浆的固结波速、波形特征、频谱特征,依据本规程表 2 评定出波纹管的注浆密实度等级。
- b) 采用人工神经网络法拟合、计算出管道的注浆密实度后,宜依据表 2 验算固结波速与注浆密实度对应关系,给出注浆密实度评定;
- c) 声波谱能法应根据预应力管道中缺陷性质、分布、定位情况,依据本规程表 3 评定出波纹管的注浆密实度等级。

6 声波侧面检测法

6.1 适用范围

6.1.1 声波侧面检测法包括声波剖面反射波(散射波)法、单点反射(散射、冲击回波)法,适用于预应力管道注浆密实度的缺陷定位检测。

6.1.2 本方法适用于预应力桥梁金属波纹管和塑料预应力管道注浆密实度检测,判定预应力管道注浆后缺陷的程度和范围。

6.1.3 本方法适用于预制或现浇预应力桥梁(构件)预应力管道注浆密实度检测,判别管道注浆缺陷的类型并确定其位置。

6.2 仪器设备

检测仪器设备的要求参照本规程 5.2 执行。

6.3 现场检测

6.3.1 受检预应力构件和检测现场应符合下列规定：

- a) 预应力管道注浆龄期应符合本规程 4.4 节的规定。
- b) 检查工作区内是否存在噪声等干扰，尽量排除各种干扰因素，对于不能排除的做出详细记录。
- c) 根据设计图纸和实际施工情况，在预应力构件侧表面用记号笔准确标出波纹管（测线）的位置；然后从梁板的一端开始，沿测线等间距标出投影点（测点）位置；测点的间距宜不超过 20cm；
- d) 预应力管道弯曲段应重点检测；
- e) 采用声波侧面剖面法检测前应清理预应力锚具端头、钢绞线，保持其清洁、平整。

6.3.2 检测工作布置

6.3.2.1 声波剖面侧面扫查检测应符合下列规定：

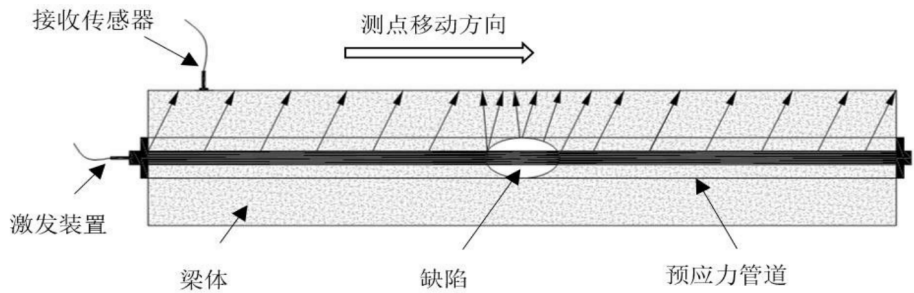
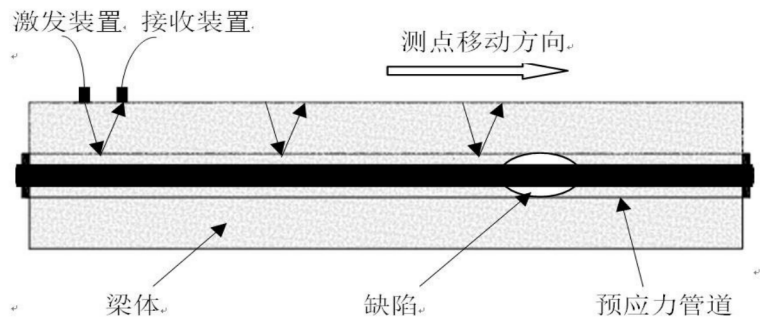


图 5 声波剖面侧面扫查检测工作布置示意图

- a) 检测工作应按图 5 所示的“单端激发、侧面接收”方式布置。
- b) 激发端的激发方式可参照本规程图 2 b)，采用在钢绞线端头平行钢绞线方向激发。
- c) 在预应力构件侧表面波纹管投影点逐点安置接收传感器、逐点接收采集接收散射信号；接收点点距宜不大于 20cm；接收方向垂直预应力管道。

6.3.3.2 声波单点反射散射法扫查检测应符合下列规定：

- a) 检测工作应按图 6 所示的在预应力构件侧面“单点激发、单点接收”、激发方向和接收方向均垂直于预应力管道的方式布置；
- b) 测点移动间距宜不大于 20cm，激发接收距离宜不大于 10cm。



(a) 检测工作布置



图6 声波侧面单点反射散射法检测工作布置示意图

6.3.3 测试参数设定，应符合下列规定：

- a) 仪器检测参数可参照本规程第 5.3.3 条规定设置；
- d) 采集信号时应保证激发接收协同一致；
- c) 在预应力构件侧面沿测点移动传感器应紧贴构件，可在传感器底座涂抹凡士林或黄油。

6.4 检测数据处理与评定

- a) 宜先对采集数据进行适当的数字滤波，然后进行频谱分析等处理；
- b) 根据散射波的频谱特征来判别注浆密实度和缺陷类型；当注浆密实度较好时，信号波形规则，频谱呈单峰形态，能量曲线呈指数衰减，且主频较低；当存在缺陷时，信号在缺陷位置波形畸变，波形不规则，频谱呈不对称的双峰或多峰形态，且频率较高；
- c) 可根据各测点的能量衰减大小及频移值变化，绘制出对应预应力管道的能量衰减曲线和频移曲线；注浆完全密实或完全空管的部分对应的能量衰减曲线和频移曲线与距离呈线性关系，表现为斜率不大的直线或有微小波动的曲线；在注浆密实和不密实的分界点，波的吸收系数与频率成分发生很大的改变，能量衰减和频移曲线表现出较大波动；能量衰减和频移曲线对应出现较大波动的地方，可视为注浆不密实段；在能量衰减曲线和频移曲线难以判别时，可对曲线进行求导，有效突出异常变化，细化分析；
- d) 根据频谱分析的结果来圈定缺陷程度和范围，并绘制缺陷分布成果图；
- e) 按式 (5.4.4-1) 计算出预应力管道注浆密实度 D ；
- f) 根据缺陷的分布范围和程度，依据本规程表 3 的评定标准进行注浆密实度评定。

7 电磁波检测法

7.1 适用范围

- a) 本方法适用于非金属预应力管道梁板的注浆密实度检测的普查检测和缺陷定位检测；
- e) 对于波纹管外保护层厚度不大于 50mm 的梁板，可采用高频探地雷达法检测；
- c) 对于预制梁体，宜在预应力管道注浆完成且浆体终凝后、移运和吊装前，进行预应力管道注浆密实度检测工作；对现浇梁段，应在预应力管道注浆完成并终凝后，进行预应力管道注浆密实度检测工作。

7.2 仪器设备

- a) 采集仪器信号增益不应低于 150dB；信噪比应大于 60dB；采样间隔应不大于 0.5ns；A/D 应不低于 16 位；连续测量时扫描速率不小于 32 位；
- b) 采集仪器具有可选的信号叠加、实时滤波、点测和连续测量、手动与自动位置标记等功能；

c) 宜采用 1GHz 以上的高频天线。

7.3 现场检测

7.3.1 受检预应力构件和检测现场应符合下列规定：

- a) 在预应力构件侧表面标识出预应力管道的投影点（测线点）位置，标识点间距宜为不大于 0.5m；
- b) 预应力构件已完成初凝；
- c) 检测表面保持平整、清洁；
- d) 检测现场附近没有明显的电磁干扰。

7.3.2 检测工作布置应符合下列规定：

- a) 可按图 7 所示，采用沿测线纵向扫描普查检测；

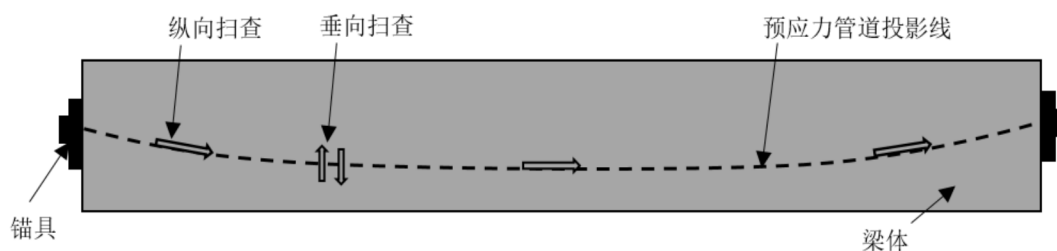


图 7 电磁波法检测工作布置示意图

b) 应注意避开预应力构件内部钢筋，或采取垂直钢筋方向扫描方式，减小内部钢筋对检测结果的影响；

c) 对存在异常段，应重复检测，可采用垂直、斜交测线的方式详细扫描检测。

7.3.3 测试参数设定，应符合下列规定：

- a) 检测前，应对目标体的介电常数进行测定，获取准确的相对介电常数值和电磁波速度值；
- b) 检测前，根据待测目标体的埋深、介质特性来选择天线及参数；
- c) 仪器信号增益应保持信号幅值不超出信号监视窗口的 3/4，天线静止时信号应稳定。

7.3.4 数据采集和筛选，应符合下列规定

- a) 开机设置采集参数，采集过程中监视雷达数据是否正常；如果周围存在较强的电磁波干扰，应尽量排除，无法排除时要在记录表上记录干扰源的位置和性质；
- b) 检测过程中天线要严格按照测线移动，保持天线与混凝土表面耦合良好；天线应按照探地雷达参数设置的速率匀速移动；
- c) 回放探地雷达数据记录，检查标记是否齐全、准确，记录质量是否达到标准要求；记录应满足混凝土表面反射清楚、易识别，较清晰反应待测目标体特征；
- d) 回放探地雷达记录发现下列情况时，应重新采集数据：
 - 1) 雷达记录上的标记与实际测线标记不吻合；
 - 2) 天线移动不符合标准要求；
 - 3) 雷达记录上出现较强的不明电磁波干扰；
 - 4) 混凝土表面反射波不清晰、难以识别；
 - 5) 由浅部至深部的反射强度不能反应待测目标体特征。

7.4 检测数据处理与评定

7.4.1 数据处理步骤

- a) 根据检测记录表，对原始数据进行预处理；

- b) 根据测线标记, 确定信号点位, 按测线方向做归一化处理;
- c) 确定目标反射体的雷达反射波主频, 建立目标体的对应频谱图像特征图;
- d) 采用合适的滤波频率对数据进行带通滤波;
- e) 瞬态谱分析, 根据雷达图像上预应力管道的反射波同相轴特征、雷达波的振幅特征、频率特征和相位特征来判别和圈定缺陷;
- f) 波形分析和偏移成像, 根据预应力管道位置, 在探地雷达图像上识别预应力管道的反射波组特征, 对比追踪, 确定预应力管道注浆缺陷在雷达图像上的位置;
- g) 统计缺陷、计算注浆密实度。

7.4.2 注浆密实度评定

- a) 根据计算出的注浆密实度, 参照本规程表 3, 对注浆密实度等级做出评定;
- b) 根据雷达图像分析的结果来圈定缺陷程度和范围, 并绘制缺陷分布成果图;
- c) 根据缺陷的程度和范围, 提出检测结论及处理建议。

8 破损检查验证

8.1 一般规定

8.1.1 对预应力管道注浆密实度采用无损检测技术取得的检测结果, 宜根据需要进行局部破检, 验证注浆密实度评定, 指导缺陷处治。

8.1.2 应根据预应力管道注浆密实度检测的缺陷类型、位置、程度, 参照附录 B 及时处治; 处治后注浆密实度缺陷的预应力管道, 应按本规程规定复查。

8.2 破损验证

8.2.1 破损验证可采取钻孔和人工凿孔的方法。

8.2.2 局部破检验证时, 不应损伤预应力筋, 并尽量避免损伤构件内的普通钢筋。

8.2.3 采用钻孔法验证时, 可采用混凝土钻芯机或冲击钻; 钻孔前根据无损检测结果先对管道缺陷准确定位并查清混凝土保护层厚度, 钻进过程中注意观察孔中碎屑; 当出现塑料碎屑(对于塑料预应力管道)或金属碎屑(对于金属预应力管道)时, 应小心钻进, 不应损伤预应力筋。

8.2.4 当预应力管道混凝土保护层厚度不大时, 宜采用人工凿孔法验证; 凿孔前也应根据检测结果对管道注浆缺陷准确定位。

8.2.5 对经钻孔或凿孔发现的预应力管道内空洞、出水或者孔道内结硬浆体固结不密实时, 应标记并采集影像记录。

附录 A
(规范性附录)

桥梁预应力管道注浆密实度检测记录表
第 页 共 页
QJ0108

检测机构名称: 记录编号:

工程名称			施工单位		
工程部位			梁板位置/编号		
检测方式	☐ 两端对穿 ☐ 单端反射 ☐ 侧面扫查 ☐ 其他:				
检测依据			浇筑日期		
主要仪器设备			注浆日期		
波纹管/测线 分布图示					
波纹管/测点 编号	波纹管长度 (m)	钢绞线 数量	数据记录文件名	备注	
备 注					

检测: 复核: 检测日期: 年 月 日

附录 B

(资料性附录)

预应力管道注浆缺陷的处置

B.1 预应力管道注浆缺陷处置的准备工作

1 根据本规程“6 缺陷定位检测”结果和预应力管道的走线，在梁板上标出缺陷的准确位置，预应力管道注浆缺陷处理示意图见图 B.1-1；

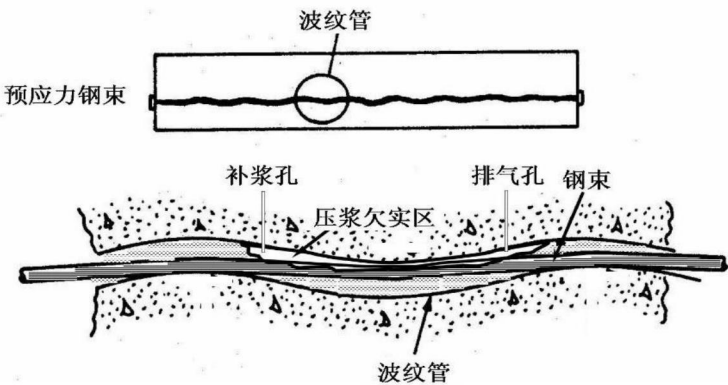


图 B. 1-2



图 B. 1-3



图 B. 1-4



图 B. 1-5

图 B. 1-1 预应力管道注浆缺陷处理示意图

2 准备好冲击电钻，合金钻头（ $< \phi 20\text{mm}$ ），对预应力管道的缺陷部位进行打孔时，应确保钻头对钢绞线不造成损坏（参见图 B.1-2、图 B.1-3、图 B.1-4、图 B.1-5）。

B.2 预应力管道注浆缺陷的处置

1 在采用缺陷定位检测圈定的预应力管道注浆缺陷段两端钻孔；

- 2 通过吹气证实不密实段连通;
- 3 注浆前对成孔点灌水, 使孔壁完全湿润;
- 4 注浆时, 从低点的钻孔压入, 由高点的钻孔排气和泌水;
- 5 注浆可使用活塞式压浆泵, 注浆压力宜为 $0.5\text{MPa}\sim 0.7\text{MPa}$, 稳压时间宜为 5min ;
- 6 使用预应力管道注浆相同配比的水泥浆对缺陷段做处理;
- 7 注浆结束后封堵所有钻孔, 并对钻孔部位修饰以使外观质量完好。

本规程用词说明

执行本规程条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

1、表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

2、表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

3、表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。