

DB32

江苏省地方标准

DB32/T 5035—2025

改扩建工程老路沥青路面结构内部
状况快速检测方法与评价规范

Specification for rapid detection and evaluation of internal status of
in-service pavement structure in highway reconstruction and extension

2025-02-06 发布

2025-03-06 实施

江苏省市场监督管理局 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言Ⅲ

1 范围1

2 规范性引用文件1

3 术语和定义1

4 评价指标1

5 评定等级2

6 病害分类2

7 检测方法2

8 评价5

9 报告6

附录A（资料性） 改扩建工程结构补强方案7

附录B（规范性） 车载式高速二维探地雷达速度变异系数检测方法8

附录C（规范性） 车载式高速二维探地雷达精确度检测方法9

附录D（资料性） 典型雷达特征图像识别实例10

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。

本文件由江苏省交通运输厅提出、归口并组织实施。

本文件起草单位：江苏省交通工程建设局、江苏中路工程技术研究院有限公司、中路交科科技股份有限公司、东南大学。

本文件主要起草人：贾鹏、吴宇晟、刘朝晖、张志祥、相阳、金光来、韩峰、朱辰、王颀奇、蔡文龙、孙海艳、马仕亮、刘海婷、王双平、周之路、胡磊、王罡、刘伟志、陆轩宇、周凯。

改扩建工程老路沥青路面结构内部 状况快速检测方法与评价规范

1 范围

本文件规定了改扩建工程老路沥青路面结构内部状况快速检测评价指标、评定等级、病害分类、检测方法、评价、报告等的要求。

本文件适用于公路与城市道路半刚性基层沥青路面改扩建工程,其他养护工程参照执行。

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。

- JT/T 1170 激光式高速弯沉测定仪
- JTG 3450—2019 公路路基路面现场测试规程
- JTG 5210—2018 公路技术状况评定标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

路面结构内部状况 internal status of pavement structure

反映路面结构完整性和结构强度两个方面的整体性能。

3.2

路面结构完整性 integrity of pavement structure

从路面结构深度、纵向、横向全空间角度表征结构完整状态。

3.3

车载式高速二维探地雷达 vehicle-mounted high-speed 2D ground penetrating radar

以正常的车流速度,通过天线发射和接收高频电磁波形成二维扫描图像的电磁勘探设备。

3.4

激光式高速弯沉测定仪 testing system of laser high-speed deflectometer

以正常的车流速度,利用多普勒激光传感器测量标准载货汽车行驶所致的路面变形速度,反演出动态荷载作用下的路面弯沉盆的一种路面结构强度测量仪器,包括设备和系统。

[来源:JT/T 1170—2017,3.1,有修改]

4 评价指标

4.1 沥青路面结构内部状况评价应包括结构完整性和结构强度评价。

4.2 结构完整性评价应采用路面内部破损状况指数(IPCI)。

4.3 结构强度评价应采用路面结构强度指数(PSSI)。

5 评定等级

路面结构完整性及结构强度评价应分为 A、B、C 三个等级,等级划分标准应符合表 1 的规定。依据评定等级,可参照附录 A 选用结构补强方案。

表 1 路面结构完整性及结构强度等级划分标准

评价指标	A 级	B 级	C 级
IPCI	≥ 90	75~<90	<75
PSSI	≥ 80	70~<80	<70

6 病害分类

6.1 路面结构内部病害可分为结构松散、层间局部积水、层间结合不良和基层裂缝 4 种类型。

6.2 结构松散分为面层、上基层、下基层和底基层松散,按长度计。

6.3 层间局部积水指各路面结构层间的局部积水,按长度计。

6.4 层间结合不良指各路面结构层间的黏结分离、不连续、脱空等状况,按长度计。

6.5 基层裂缝按长度计,每条裂缝计 0.2 m。

7 检测方法

7.1 基本要求

7.1.1 检测前应收集结构层厚度、材料类型(面层、基层、底基层)、养护信息、路面技术状况、检测路段前 5 d 的平均气温(日最高气温与最低气温的平均值)等信息。

7.1.2 应在气温 0℃~50℃、相对湿度<85%、路表干燥条件下检测。

7.1.3 检测宜按每个车道进行,采用车载式高速二维探地雷达时,每车道宜布设左、右轮迹两条测线,采用激光式高速弯沉仪时,每车道应布设右轮迹一条测线,单个车道测线布置示意图见图 1。

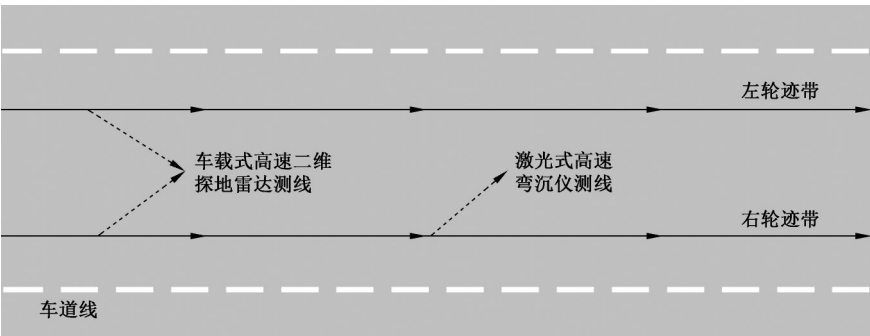


图 1 单个车道测线布置示意图

7.1.4 硬路肩考虑再利用时,宜增加对硬路肩位置的检测。

7.1.5 应标记桥梁、涵洞等结构物的桩号范围。

7.2 检测设备

7.2.1 车载式高速二维探地雷达技术要求应符合表 2 的规定。

表 2 车载式高速二维探地雷达技术要求

项目	技术要求
天线频率	700 MHz~2 000 MHz
天线类型	地耦天线
天线离地高度	$\geq 5\text{ cm}, < 0.25\lambda^a$
天线与主机连接方式	光纤/无线
纵向采样间隔	$\leq 2.0\text{ cm/道}$
检测速度	$\geq 60\text{ km/h}$
速度变异系数 ^b	$\leq 5\%$
精确度 ^c	$\geq 95\%$
^a λ 为电磁波波长。 ^b 速度变异系数检测方法按附录 B 执行。 ^c 精确度检测方法按附录 C 执行。	

7.2.2 激光式高速弯沉测定仪技术要求应符合 JT/T 1170 的规定,检测数据的最小输出间隔为 1 m。

7.3 结构完整性检测

7.3.1 结构完整性检测采用车载式高速二维探地雷达,包括测距轮标定、现场检测、数据处理和图像解释 4 个环节。

7.3.2 测距轮标定应按以下步骤进行:

- a) 采用标准测量尺设定不小于 50 m 的标定长度;
- b) 将测距轮沿标定长度由起点滚动至终点,记录测试长度;
- c) 重复检测 2 次,测试长度和标定长度的相对误差应不大于 0.2%。

7.3.3 现场检测应按以下步骤进行:

- a) 将探地雷达天线及测距轮安装牢固,与主机连接,开启系统电源,启动采集程序,开启安全警示灯,缓慢加速检测车到设定车速,沿正常行车轨迹驶入检测路段,保持正常行驶;
- b) 当检测车到达检测终点后,停止采集程序;
- c) 操作人员应检查数据文件的完整性,数据缺失或异常时应重新检测;
- d) 关闭系统电源,结束检测。

7.3.4 数据处理应按以下步骤进行:

- a) 静校正:对直达波以上的无效信号采用静校正的方式进行切除;
- b) 增益补偿:对电磁波进行增益补偿,增强反射信号振幅及图像对比度;
- c) 背景去除:去除水平和近水平的异常干扰信号;
- d) 带通滤波:截取天线频率的 $2/3 \sim 3/2$ 作为有效频率;
- e) 滑动平均:去除信号里的环境噪声。

7.3.5 图像解释应符合表 3 的规定,详细实例见附录 D。

表 3 结构内部病害典型图像及其解释

病害类型		典型雷达图像	波形图	典型取芯图像	图像解释
结构松散	轻度				上基层底部反射波振幅出现明显变化,波形振幅较强,同相轴连续但发生错动,波形频率变化较小规律性差。上基层厚度 20 cm,松散 4 cm,松散占比为 20%,小于 30%,结构松散判定为轻度^a
	重度				下基层反射波振幅出现明显变化,波形振幅较强且多次振荡,同相轴不连续、错动、不规则,有一定的深度影响,波形频率变化较小规律性差。下基层厚度 20 cm,松散 14 cm,松散占比为 70%,大于 30%,结构松散判定为重度^a
层间局部积水					上下基层层间反射波振幅出现明显变化,雷达反射波与初始雷达发射电磁波相反,振幅较周围介质反射波振幅小,频谱上部分高频信号被吸收截断,主要表现为中低频谱,判定为层间局部积水
层间结合不良					上下基层层间反射波振幅出现明显变化,同相轴连续,波形频率变化较小有规律,判定为层间结合不良
基层裂缝					上基层内部波形出现间断,同相轴不连续、错动,出现明显弯曲,判定为基层裂缝
^a 结构松散破损程度应按以下标准判断:松散厚度不大于各结构层厚度的 30% 为轻度;松散厚度大于各结构层厚度的 30% 为重度。					

7.4 结构强度检测

7.4.1 结构强度检测采用激光式高速弯沉测定仪,包括现场检测 and 数据处理两个环节。

7.4.2 现场检测应符合 JTG 3450—2019 中 T0957 的规定。

7.4.3 数据处理应按以下步骤进行:

- a) 按 JTG 3450—2019 中附录 C 的规定将激光式高速弯沉测定仪测值转换为落锤式弯沉仪测值;
- b) 按 JTG 3450—2019 中 T0951 及 T0952 的规定进行温度、坡度修正;
- c) 按 JTG 3450—2019 中附录 B 的规定,计算检测路段的弯沉平均值、标准差及代表值。

8 评价

8.1 路面内部破损状况指数(IPCI)按式(1)、式(2)计算:

$$IPCI = 100 - a_0 IDR^{a_1} \dots\dots\dots (1)$$

$$IDR = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^{i_0} \omega_i A_i}{A} \dots\dots\dots (2)$$

式中:
IDR ——路面内部破损率,%;
 a_0 ——回归系数,取值 8.4;
 a_1 ——回归系数,取值 0.54;
 A_i ——第 i 类结构内部破损的累计长度,同一车道多条测线应取平均值,单位为米(m);
 A ——评价单元长度,宜取 1 000 m,不足 1 000 m 时按实际长度计算,单位为米(m);
 ω_i ——第 i 类结构内部破损的权重,见表 4;
 i ——结构内部破损类型;
 i_0 ——结构内部破损类型总数,取值 16。

表 4 结构内部破损权重取值

结构内部病害类型	结构内部破损类型 i	破损程度	发展层位	权重 ω_i
结构松散	1	轻度	面层内部	0.28
	2		上基层	0.24
	3		下基层	0.16
	4		底基层	0.12
	5	重度	面层内部	0.35
	6		上基层	0.3
	7		下基层	0.2
	8		底基层	0.15
层间局部积水	9	—	面层与基层层间	0.4
	10		上基层与下基层层间	0.35
	11		下基层与底基层层间	0.25
层间结合不良	12	—	面层与基层层间	0.28

表 4 结构内部破损权重取值（续）

结构内部病害类型	结构内部破损类型 i	破损程度	发展层位	权重 ω_i
层间结合不良	13	—	上基层与下基层层间	0.245
	14		下基层与底基层层间	0.175
基层裂缝	15	—	上基层	0.6
	16		下基层	0.4
注：基层只有一层时,权重取值参照上基层。				

8.2 路面结构强度指数(PSSI)按式(3)计算：

$$PSSI = \frac{100}{1 + b_0 e^{\frac{b_1 l_R}{l_0}}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

b_0 ——模型参数，取值 15.71；

b_1 ——模型参数，取值 -5.19；

l_R ——路面容许弯沉，计算方法见 JTG 5210—2018 中附录 C，单位为毫米(mm)；

l_0 ——路面实测代表弯沉，单位为毫米(mm)。

9 报告

9.1 报告内容应包括路段信息、任务依据、检测方案、结构完整性数据分析、结构强度数据分析、等级评价、结论与建议、附件等。

9.2 技术内容应符合以下要求：

- 路段信息应包括桩号、路面结构层材料类型及设计厚度等；
- 结构完整性数据分析应包括病害类型、病害位置、病害尺寸、IPCI评分等；
- 结构强度数据分析应包括激光式高速弯沉测定仪测值与落锤式弯沉仪测值之间的相关性关系式、沥青面层平均温度、温度修正系数、横坡修正系数、弯沉值、PSSI评分等；
- 附件应包括二维雷达图像、IPCI和PSSI逐公里汇总表。

附 录 A
(资料性)
改扩建工程结构补强方案

改扩建工程结构补强方案见表 A.1。

表 A.1 改扩建工程结构补强方案

评定等级		结构补强方案
结构强度	结构完整性	
A	A	无需结构补强
	B	非开挖注浆
	C	
B	A	单层加铺
	B	非开挖注浆＋单层加铺
	C	
C	A	多层加铺
	B	非开挖注浆＋多层加铺
	C	基层局部换填

附录 B

(规范性)

车载式高速二维探地雷达速度变异系数检测方法

B.1 步骤

B.1.1 选择长度不小于 700 m 的测试路段,其中加速区、减速区各设置 200 m,检测路段不小于 300 m。

B.1.2 速度变异性检测应按以下要求进行:

- 采用车载式高速二维探地雷达进行检测;
- 检测路径为右轮迹带;
- 检测速度分别设置为 60 km/h、70 km/h、80 km/h;
- 每个速度各检测 3 次,并记录每次的病害累计长度 A_{60} 、 A_{70} 、 A_{80} 。

B.2 数据处理

速度变异系数按以下步骤进行计算:

- 分别计算 60 km/h、70 km/h、80 km/h 的 3 次检测速度下平均病害累计长度 $\bar{A}_{60}$ 、 $\bar{A}_{70}$ 、 $\bar{A}_{80}$ 。
- 变异系数按式(B.1)、式(B.2)计算:

$$C_v = \frac{S_D}{\bar{A}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

$$S_D = \sqrt{\frac{(\bar{A}_{60} - \bar{A})^2 + (\bar{A}_{70} - \bar{A})^2 + (\bar{A}_{80} - \bar{A})^2}{3}} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

C_v ——变异系数;

S_D ——标准差,单位为米每千米(m/km);

$\bar{A}_{60}$ ——速度为 60 km/h 时路段测试结果的算术平均值,单位为米每千米(m/km);

$\bar{A}_{70}$ ——速度为 70 km/h 时路段测试结果的算术平均值,单位为米每千米(m/km);

$\bar{A}_{80}$ ——速度为 80 km/h 时路段测试结果的算术平均值,单位为米每千米(m/km);

$\bar{A}$ ——速度分别为 60 km/h、70 km/h、80 km/h 时路段测试结果的算术平均值,单位为米每千米(m/km)。

B

附录 C

(规范性)

车载式高速二维探地雷达精确度检测方法

C.1 设备

700 MHz~2 000 MHz 车载式高速二维探地雷达及 700 MHz~2 000 MHz 手持式二维探地雷达。

C.2 步骤

C.2.1 选择长度不小于 700 m 的测试路段,其中加速区、减速区各设置 200 m,检测路段不小于 300 m。

C.2.2 精确度检测应按以下要求进行:

- a) 车载式高速探地雷达与手持式探地雷达检测位置应保持一致;
- b) 车载式高速探地雷达检测标准速度为 60 km/h,手持式探地雷达检测标准速度为 5 km/h;
- c) 每个检测方式各检测 3 次,并记录每次识别病害数量(N_c 、 N_s)和累计病害长度(A_c 、 A_s)。

C.3 数据处理

车载式高速探地雷达精确度按以下步骤进行计算:

- a) 分别计算车载式高速二维探地雷达与手持式二维探地雷达 3 次检测标准速度的平均识别病害数量和平均累计长度。
- b) 病害的类型、长度及数量的精确度应大于等于 95%,精确度按式(C.1)计算:

$$\mu = \left(\frac{\overline{N}_c}{\overline{N}_s} + \frac{\overline{A}_c}{\overline{A}_s} \right) / 2 \times 100\% \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

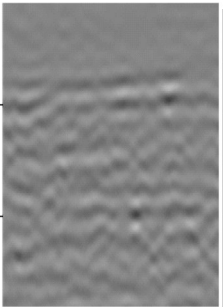
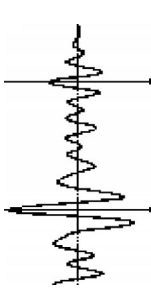
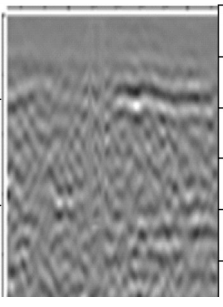
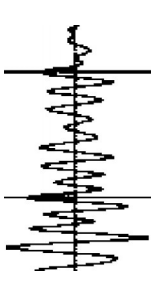
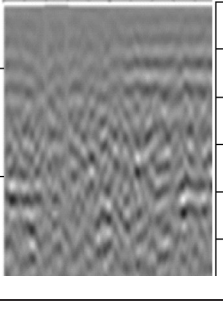
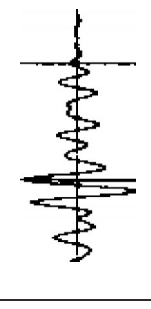
- μ ——精确度;
- $\overline{N}_c$ ——车载式高速探地雷达 3 次检测标准速度的平均识别病害数量,单位为个;
- $\overline{N}_s$ ——手持式探地雷达 3 次检测标准速度的平均识别病害数量,单位为个;
- $\overline{A}_c$ ——车载式高速探地雷达 3 次检测标准速度的平均识别病害累计长度,单位为米(m);
- $\overline{A}_s$ ——手持式探地雷达 3 次检测标准速度的平均识别病害累计长度,单位为米(m)。

附 录 D
(资料性)
典型雷达特征图像识别实例

D.1 无结构内部病害

无结构内部病害雷达图像识别实例见表D.1。

表 D.1 无结构内部病害雷达图像识别实例

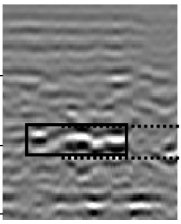
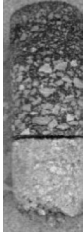
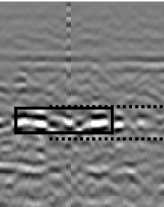
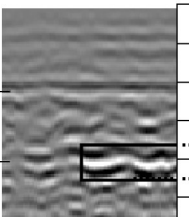
典型雷达图像	波形图	典型取芯图像	图像解释
0 m 0.2 m 0.4 m 面层 上基层 下基层 			雷达图像解释:灰度图内部未出现异常信号,无振幅加强的现象 芯样情况:芯样完好
0 m 0.2 m 0.4 m 面层 上基层 下基层 			雷达图像解释:灰度图内部未出现异常信号,无振幅加强的现象 芯样情况:芯样完好
0 m 0.2 m 0.4 m 面层 上基层 下基层 			雷达图像解释:灰度图内部未出现异常信号,无振幅加强的现象 芯样情况:芯样完好

D.2 结构松散

D.2.1 结构松散(轻度)

结构松散(轻度)雷达图像识别实例见表D.2。

表 D.2 结构松散(轻度)雷达图像识别实例

典型雷达图像	波形图	典型取芯图像	图像解释
面层 上基层 下基层 			雷达图像解释:上基层底部反射信号较强烈,横向影响范围小,有一定的深度。上基层厚度 20 cm,松散 5 cm,松散占比为 25%,小于 30%,结构松散判定为轻度 芯样情况:芯样上基层底部轻微松散
面层 上基层 下基层 			雷达图像解释:上基层底部反射信号较强烈,对应的波形图也出现异常震荡深度方向出现多个加强振幅。上基层厚度 20 cm,松散 4 cm,松散占比为 20%,小于 30%,结构松散判定为轻度 芯样情况:芯样上基层底部轻微松散
面层 上基层 下基层 			雷达图像解释:上基层底部反射信号较强烈,深度方向有多个异常振幅。上基层厚度 20 cm,松散 5 cm,松散占比为 25%,小于 30%,结构松散判定为轻度 芯样情况:芯样上基层底部轻微松散

D.2.2 结构松散(重度)

结构松散(重度)雷达图像识别实例见表 D.3。

表 D.3 结构松散(重度)雷达图像识别实例

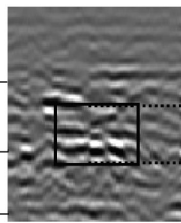
典型雷达图像	波形图	典型取芯图像	图像解释
面层 上基层 下基层 			雷达图像解释:上基层中下部反射信号较强烈,同相轴断裂且有一定的深度影响,波形图对应区域正负起跳反复,上基层厚度 20 cm,松散 20 cm,松散占比为 100%,大于 30%,结构松散判定为重度 芯样情况:芯样上基层中下部严重松散

表 D.3 结构松散（重度）雷达图像识别实例（续）

典型雷达图像	波形图	典型取芯图像	图像解释
			雷达图像解释:上基层中下部反射信号较强烈,出现了倾斜同相轴振幅较强,有一定深度影响。上基层厚度 20 cm,松散 20 cm,松散占比为 100%,大于 30%,结构松散判定为重度 芯样情况:芯样上基层中下部严重松散
			雷达图像解释:上基层内部反射信号较强烈,出现了倾斜同相轴振幅较强,有一定深度影响。上基层厚度 20 cm,松散 18 cm,松散占比为 90%,大于 30%,结构松散判定为重度 芯样情况:芯样上基层中下部严重松散

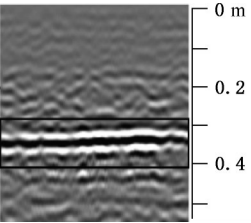
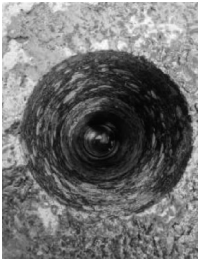
D.3 层间局部积水

层间局部积水雷达图像识别实例见表D.4。

表 D.4 层间局部积水雷达图像识别实例

典型雷达图像	波形图	典型取芯图像	图像解释
			雷达图像解释:面层与基层层间振幅与初始雷达发射电磁波反相,且局部出现振幅加强的情况 取芯情况:面层与基层层间存在积水
			雷达图像解释:上基层与下基层层间振幅与初始雷达发射电磁波反相,且局部出现振幅加强的情况 取芯情况:上下基层层间存在积水

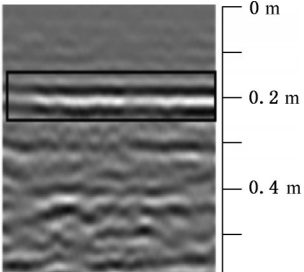
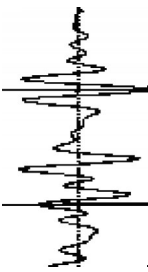
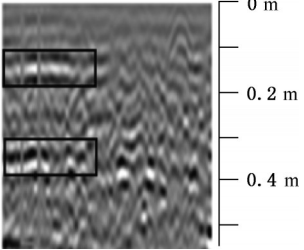
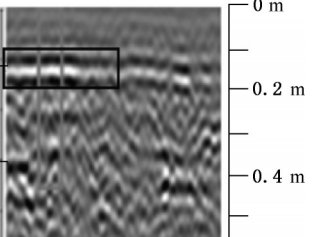
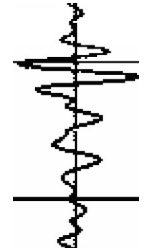
表 D.4 层间局部积水雷达图像识别实例（续）

典型雷达图像	波形图	典型取芯图像	图像解释
面层 上基层 下基层 			雷达图像解释:上基层与下基层层间振幅与初始雷达发射电磁波反相,且局部出现振幅加强的情况 取芯情况:上下基层层间存在积水

D.4 层间结合不良

层间结合不良雷达图像识别实例见表D.5。

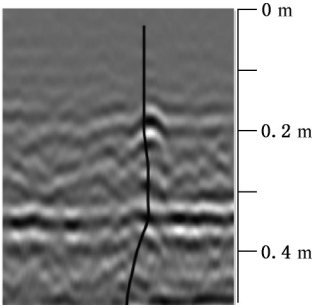
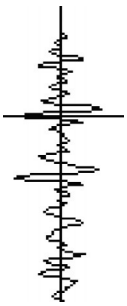
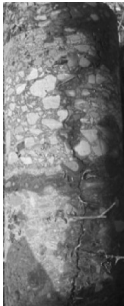
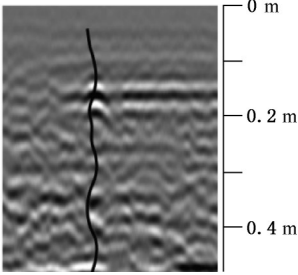
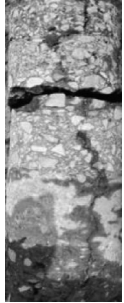
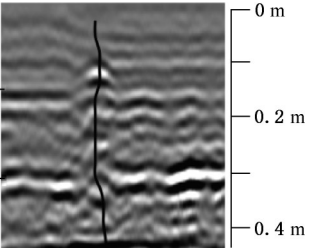
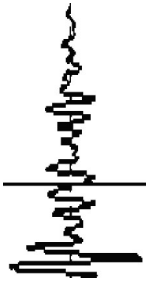
表 D.5 层间结合不良雷达图像识别实例

典型雷达图像	波形图	典型取芯图像	图像解释
面层 上基层 下基层 			雷达图像解释:灰度图中面层与基层之间有以连续的同相轴,且在深度方向影响较少 芯样情况:芯样面层与基层分离
面层 上基层 下基层 			雷达图像解释:中面层与上基层以及上下基层之间同相轴振幅加强 芯样情况:芯样面层与基层分离、上下基层分离
面层 上基层 下基层 			雷达图像解释:中面层与基层之间有连续的同相轴,且在深度方向影响较少 芯样情况:芯样面层与基层分离

D.5 基层裂缝

基层裂缝雷达图像识别实例见表D.6。

表 D.6 基层裂缝雷达图像识别实例

典型雷达图像		波形图	典型取芯图像	图像解释
面层 上基层 下基层				雷达图像解释:波形出现变异,同相轴不连续、错断 取芯情况:贯穿开裂
面层 上基层 下基层				雷达图像解释:波形出现变异,同相轴不连续、错断 取芯情况:贯穿开裂
面层 上基层 下基层				雷达图像解释:波形出现变异,同相轴不连续、错断 取芯情况:贯穿开裂