

《公路路面探地雷达检测技术规程》  
团体标准编制说明

华设设计集团股份有限公司  
江苏高速公路工程养护技术有限公司

2021年4月

# 目 录

1	工作简况.....	1
2	起草阶段主要工作内容.....	1
3	标准编制的原则和依据.....	3
4	标准主要技术内容与试验分析.....	4
5	采用国际标准程度及水平.....	36
6	重大意见分歧的处理依据和结果.....	36
7	与有关的现行法律、法规和国家标准的关系.....	36
8	贯彻标准的措施建议.....	36
9	其他应说明的事项.....	37

## 1 工作简况

任务来源：2020年7月，江苏省综合交通运输学会提出组织开展《公路路面探地雷达检测技术规程》团体标准的编制工作。

起草单位：华设设计集团股份有限公司、江苏高速公路工程养护技术有限公司。

主要起草人员：汪春桃、俞先江、刘亚楼、王正、孙振锋、张文浩、卜勇、顾冕、冯梦溪、倪丹、魏玮、祝争艳、马辉、吴昊、虞水。

完成时间：本团体标准于2020年7月立项，计划于2021年12月完成。

## 2 起草阶段主要工作内容

为保证本标准制定的科学性、有效性、实用性，标准编制组广泛收集了相关文献资料，包括相关论文与研究报告、国家标准、行业标准、地方标准等，同时开展调研访谈。通过资料与调研分析，编制组在对我省公路路面探地雷达检测工作现状及存在问题分析基础上，明确了探地雷达检测工作的基本要求、检测、分析与评价等内容，明确工作成果形式及编制要求。本标准的起草阶段主要工作内容简述如下：

2020年7月~2020年7月——资料收集：明确标准编制的必要性和迫切性，确定了标准的起草单位，成立标准编制组，组织开展公路路面探地雷达检测相关文件、技术规程等资料的收集、梳理工作；

2020年7月~2020年8月——方案编制：制定标准编制的工作方案，充分讨论标准编制框架及各类热点问题，并修改完善方案，明确标准的性质归属、结构框架、使用对象等；

2020年8月~2020年9月——组织标准调研与编制：编制组依据标准编制的研究重点内容，制定调研方案，对相关单位进行调研访谈。编制组在收集资料和调研资料的基础上，在标准工作方案的框架下起草《公路路面探地雷达检测技术规程》，形成标准初稿；

2020年9月~2020年10月——对标国标、行标、地标，修改完善。根据《公路断面探伤及结构层厚度探地雷达》（JT/T 940-2014）《雷达法检测建设工程质量技术规程》（DGJ32/TJ79-2009）等标准和文件，对标准内容进行修改完善。

2020年10月~2020年11月——组织研讨：组织课题组内部讨论会，并组织邀请省交通运输学会、高校、检测机构等有关单位专家参与研讨，根据专家意见修改完善标准，形成标准的征求意见稿。

2020年11月~2020年12月——征求意见及修改完善：征求行业部门以及相关单位的意见，形成意见汇总处理表。编制组经过整理采纳，对标准文本进行对应的修改和完善，形成标准的送审稿和编制说明送审稿。

2021年1月~2021年4月——组织专家审查：编制组根据专家意见修改完善，形成标准报批材料。

### 3 标准编制的原则和依据

#### (1) 标准制定原则

主要遵循以下原则：

##### 1) 问题与需求导向原则

标准制定应充分调研当前公路路面探地雷达检测技术工作的现状与存在的问题，以促进我省公路路面探地雷达检测技术工作的标准化、规范化、流程化为目标导向，指导今后我省的公路工程养护或改扩建等各项具体工作。

##### 2) 科学完整原则

标准应涵盖公路路面探地雷达检测技术的各个环节，对其中的重点问题进行全面的研究分析。标准的制定是以成熟的实践经验为基础，结合相关施工、检验标准及规范和相关技术性文件，提出合理的技术要求。

##### 3) 规范实用原则

标准应具有规范性和实用性。标准的制定应贯彻国家和地方有关的方针、政策、法律、法规，严格执行强制性国家标准、行业标准和地方标准，在对目前国家及行业现行相关标准、规范充分理解的基础上进行编制；并应有利于改善管理和增加社会效益，符合实际需求。

#### (2) 标准制定依据

在制定标准过程中，本标准编制组严格遵循以下标准化法律、法规、规范的规定，作为本标准起草的重要依据：

1) 《中华人民共和国标准化法》、《中华人民共和国标准化法实施条例》、《江苏省标准监督管理办法》、《江苏省地方标准制定规程》等法律、法规及制度；

2) 《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》（标准文本的结构、格式主要依据本标准）；

3) 《公路断面探伤及结构层厚度探地雷达》（JT/T 940-2014）《雷达法检测建设工程质量技术规程》（DGJ32/TJ79-2009）等相关规范与文件资料。

## **4 标准主要技术与试验分析**

### **4.1 雷达图像处理**

#### **4.1.1 原始资料的整理与数据处理**

##### **（1）资料整理**

内业工作的前期，首先要对外业工作中的现场记录、实测记录剖面逐一进行核实验收，一旦发现错误，应及时补记和补测。对于每一条记录剖面的数据与图像要通过数据传输的方式存入微机之中，之后采用专业软件对其进行数据文件的编辑，主要包括记录表头的核实，记录道原点的校正。

##### **（2）数据处理**

探地雷达数据处理包括预处理（标记和桩号校正等）和处理分析，其目的在于压制随机干扰，以尽可能高的分辨率在探地雷达图像剖面上显示反射波，突出有用的异常信息（包括电磁波速度、振幅和

波形等)来帮助解释,如图4.1.1-1所示。

消除叠加干扰信号处理:从原始记录中除掉干扰信号既可以提高探地雷达图像剖面的信噪比,又能方便对反射波信号特征的识别。对有明显的背景干扰情况下可采用带通数字滤波方法,对于干扰信号不易识别的情况下,采用小波分析方法将取得较好的效果。

提高信号的分辨率处理:由于电磁波在非理想介质中传播,地面天线接收到的反射波信号中的高频成分被大幅度衰减,低频成分提高,导致波长变大,使检测信号对地下目标体的分辨率降低。提高信号分辨率的处理手段有:小波分析处理,可实现提高高频有效波信号目标;反褶积和小波奇异性分解可提高目标体边界的准确性,提高其垂向分辨率功能。

偏移处理:为消除地下局部异常体产生的绕射波叠加干扰,利用偏移处理,可将绕射波归位于绕射点,提高倾斜反射界面和局部异常体的判别精度。

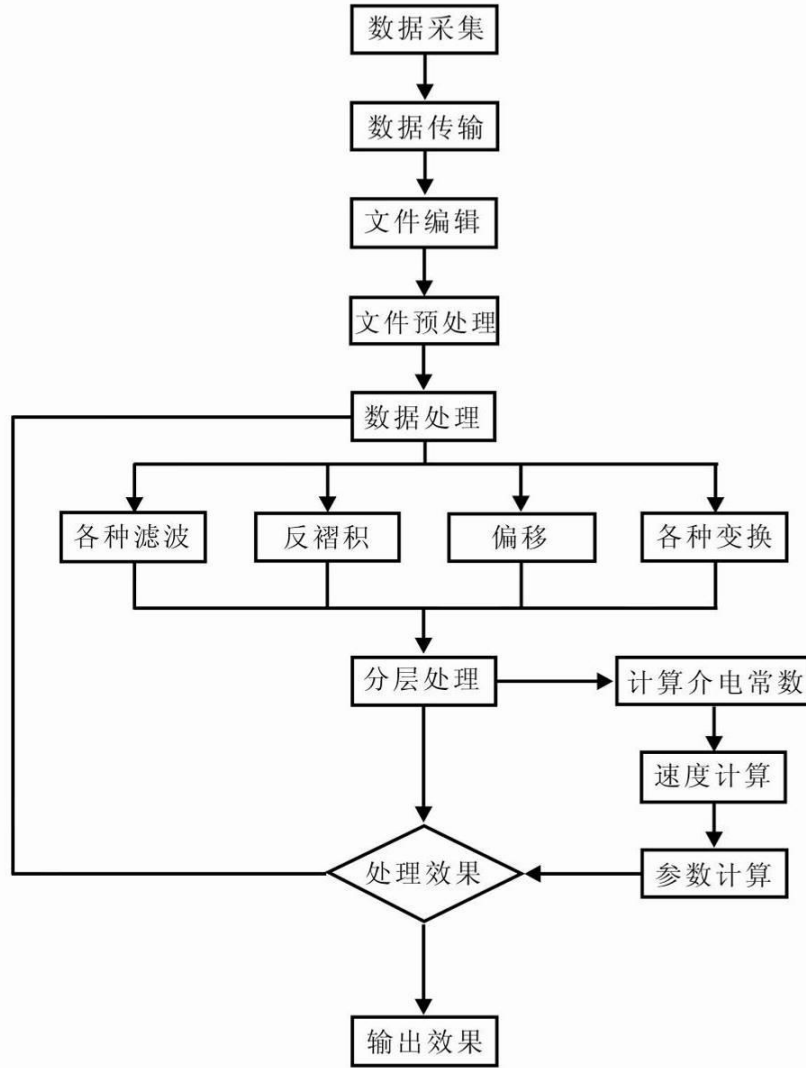


图 4.1.1-1 数据处理流程图

从雷达时间剖面分析而言，主要分析沿水平方向同一时间深度的雷达波横向变化。对于常用路面材料，水的相对介电常数最大，空气的最小，其它物质的介电常数介于二者之间。因此，当道路结构层内出现病害时，其结构层构成组分的“固、液、气”三相比也会发生相应变化，进而其相对介电常数的变化成为探地雷达方法检测道路结构层缺陷的理论依据之一。

#### 4.1.2 雷达图像的分析与判别

(1) 波形对比主要是辨别和追踪有效波同相轴，其振幅一般是



干扰背景下的两倍以上。在相位选择时，应靠近初始位置。通过波形对比，可判别出存在异常的各种雷达图像。

(2) 对不同结构层的探地雷达有效反射波的对比分析时，应注意如下特征：

①振动的连续性及同相性

连续性：它是作为衡量反射波可靠程度的重要标志。反射波在横向上的相位、波形和振幅保持一定的距离，并延伸一定的长度。

相位相同：来自地下同一物性反射界面的反射波，在相邻的共反射点上的 $t_0$ 时间相近，极性相同，相位一致。

②波形的相似性

波形相似：同一反射波在相邻雷达记录道间激发、接收条件相同，当传播路径和穿过路面结构层的性质差别较小时，波形也基本相似。

③振幅的强弱

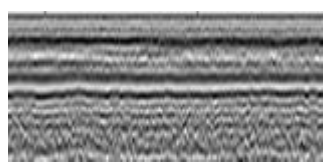
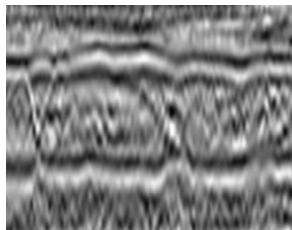

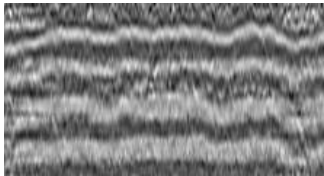
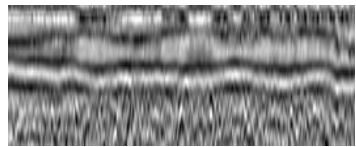
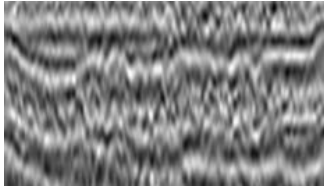
振幅增强：时间剖面上的反射波能量一般比干扰背景能量强。在时间剖面上表现为峰值突出、黑色梯形面积较大，边线变陡。

(3) 沿探地雷达的检测图像剖面追索反射波同相轴的展布，特别注意发生间断、错动、分叉、明显弯曲等异常图像以及反射波幅度局部明显增强或减弱，相位改变或波形明显变化、消失等异常图像。产生上述异常现象的原因均属于路面结构层内的介质电性参数（介电常数、电导率等）不同的反映，这些异常特征也正是我们利用探地雷达技术对路面结构层厚度和缺陷进行检测的依据。

### 4.1.3 雷达图像的解释

对于探地雷达图像的解释，就是通过标志层反射波的双程走时，进行路面结构层厚度的计算，对所发现的异常雷达图像定性的给予路面结构层内可能存在缺陷属性的定性解释（如表 4.1.3-1 所示）。

表 4.1.3-1 不同雷达异常图像的属性

典型雷达异常图像	雷达图像异常特征描述	结构层内部介质属性
	波形同相轴近水平，具有连续性和相似性，沿同相轴的振幅段稳定	结构层界面或分层施工层界面
	两侧波形同相轴近水平分布，但出现同相轴错动或中断，其错动中断间距不大于 10cm	基层内部垂向裂隙
	局部出现较强的反射波或明显出现反射波同相轴上凸现象，波形较长或出现多次反射波现象	结构层内局部脱空或松散
	局部出现反射波，波长较长，幅度衰弱，呈云状	局部富含水
	局部出现近水平状的反射波带，或位于界面反射波处出现明显呈强反射波带	结构层局部松散、离析或沿界面的松散夹层
	沿测线剖面上呈高倾斜角度的反射波同相位分布	结构层分期施工铺筑接缝粘合不佳

## 4.2 路面厚度分析

### 4.2.1 结构层厚度检测方法

公路路面厚度评价是公路质量验收评定的主要指标之一，依据《公路工程质量检验评定标准(JTG F80/1—2017)》对路面厚度评价方法进行的讨论，探地雷达对公路路面厚度评价首先进行各层位厚度识别与提取，其次进行厚度评价，最后将厚度评价结果导出。

#### (1) 面层厚度识别与提取

##### 1) 资料处理

目前采用通过高频天线采集的雷达信号进行识别与评价，高速公路沥青面层通常分为上面层、中面层和下面层三层结构。因此对面层厚度的评价，也即对不同组合的面层进行厚度评价。

厚度评价首先要进行厚度层位信号提取，如果直接对原始信号进行提取，在各面层之间介电常数差异较小的情况下，雷达波反射信号较弱，在弱信号之间进行层位提取，很容易产生误差。为此，首先对层位信号进行增强处理，提高层位信号识别的精度和准确率，为高速公路提供公正评价。

图 4.2.1-1 是美国 GSSI2.2G 天线检测面层厚度雷达原始剖面，面层设计参数：4cm 上面层、5cm 中面层和 6cm 下面层。从原始剖面上上面层和中面层之间、中面层和下面层之间信号反射很弱，如果层位拾取产生一点偏差，势必严重影响评价准确性。因此对原始雷达剖面进行微分和小波变换等处理，提高信号的分辨率，处理结果如图 4.2.1-2 所示。

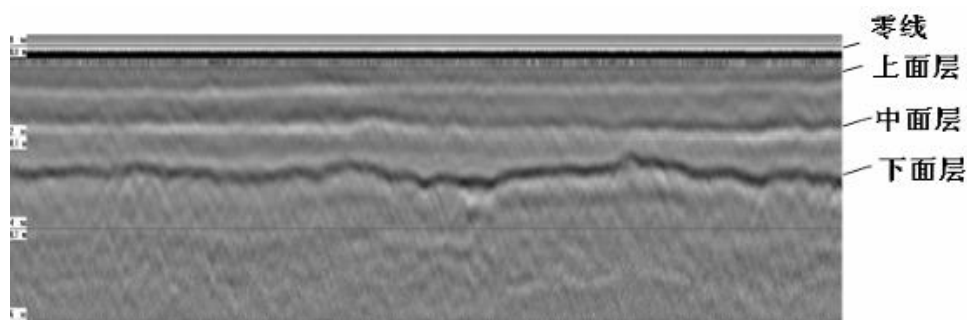


图 4.2.1-1 面层雷达检测原始剖面

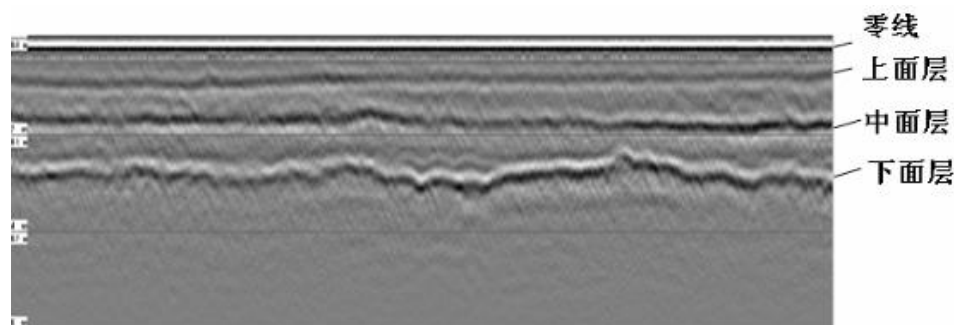


图 4.2.1-2 面层雷达检测高精度处理剖面

通过对比，各面层之间的反射信号明显得到加强。在此基础上再进行层位识别追踪，可以获得良好的效果。

## 2) 层位提取

采用中国矿业大学（北京）-星通联华开发的GR雷达处理分析系统3.0版本可以实现层位追踪。追踪结果如图4.2.1-3。

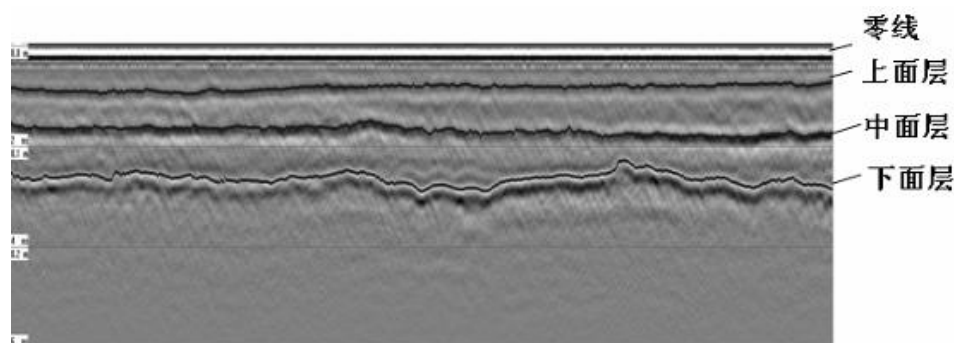


图 4.2.1-3 面层雷达检测层面追踪

## (2) 面层厚度评价

这里根据雷达检测剖面对上面层、中面层和下面层进行厚度评

价，注意：中面层厚度是指上面层和中面层厚度之和；下面层厚度是指三层厚度之和。

进行公路厚度评价需要输入以下参数内容：

- 1) 选定公路级别；
- 2) 选定面层类别；
- 3) 选择起始里程；
- 4) 选择结束里程；
- 5) 选择设计厚度；
- 6) 选择评价距离（里程间隔）；
- 7) 给出输出文件；

#### 4.2.2 不同铺筑阶段的厚度检测效果

图4.2.2-1为京沪高速K825+575、K825+581处所取的芯样，图4.2.2-2为京沪高速沪京方向K825+584~KK825+574雷达检测路面厚度分层图像。

京沪高速K825+575、K825+581处路面面层探地雷达检测结果及取芯结果统计表见表4.2.2-1~表4.2.2-4。

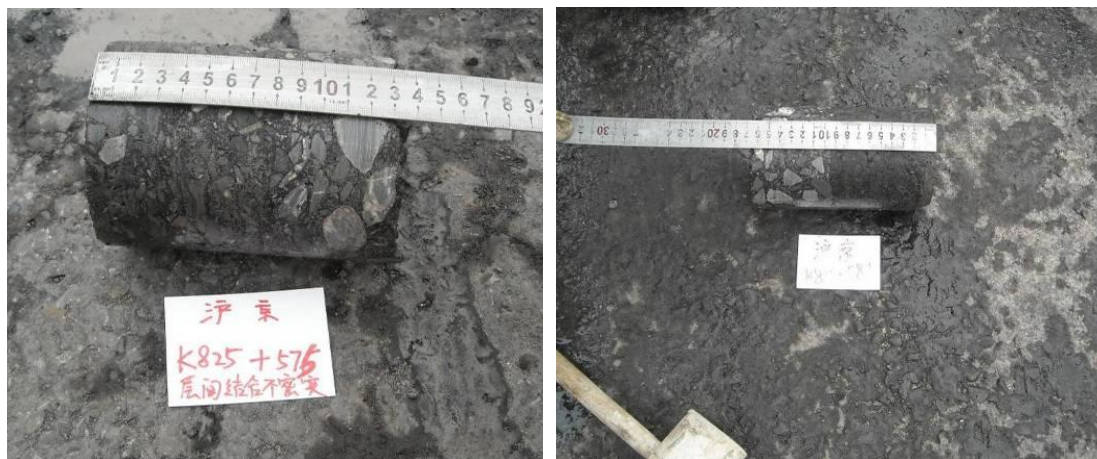


图 4.2.2-1 沪京方向 K825+575 及 K825+581 钻孔取芯照片

表 4.2.2-1 京沪高速 K825+575 探地雷达路面厚度检测结果统计表 (单位: cm)

路幅	桩号	分层	一	二	三	四	平均值	标准差
沪京	K825+575	上面层厚度	3.2	3.0	3.5	3.4	3.3	0.2
		中面层厚度	6.8	7.6	7.1	6.6	7.0	0.4
		下面层厚度	3.6	1.9	3.2	3.2	3.0	0.7
		面层总厚度	13.6	12.5	13.8	13.2	13.3	0.6

表 4.2.2-2 京沪高速 K825+575 取芯结果统计表 (单位: cm)

路幅	桩号	分层	一	二	三	四	平均值	标准差
沪京	K825+575	上	3.2	3.1	3.2	3.2	3.2	0.1
		中	6.8	7.0	6.9	7.0	6.9	0.1
		下	3.1	3.1	3.2	3.2	3.1	0.1
		面层总厚度	13.1	13.2	13.3	13.4	13.3	0.2

表 4.2.2-3 京沪高速 K825+581 探地雷达检测路面厚度结果统计表 (单位: cm)

路幅	桩号	检测层位	一	二	三	四	平均值	标准差
沪京	K825+581	上面层厚度	4.5	4.8	5.0	4.5	4.7	0.2
		中面层厚度	5.0	4.6	4.4	4.9	4.7	0.3
		下面层厚度	7.0	6.9	6.9	7.0	7.0	0.1
		面层总厚度	16.5	16.3	16.3	16.4	16.4	0.1

表 4.2.2-4 京沪高速 K825+581 取芯结果统计表 (单位: cm)

路幅	桩号	检测层位	一	二	三	四	平均值	标准差
沪京	K825+581	上面层厚度	4.6	4.6	4.7	4.5	4.6	0.1
		中面层厚度	4.6	4.7	4.6	4.6	4.6	0.1
		下面层厚度	7.0	7.0	6.9	6.9	7.0	0.1
		面层总厚度	16.2	16.3	16.2	16.0	16.2	0.1

通过对京沪高速K825+575和K825+581的取芯结果与雷达检测结果相对比, 结果如下:

- (1) K825+575的取芯结果与雷达检测面层总厚度一致, 上、中、下面层厚度均相差0.1cm;
- (2) K825+581的取芯结果与雷达检测面层总厚度相差0.2cm, 上、中面层厚度均相差0.1cm。

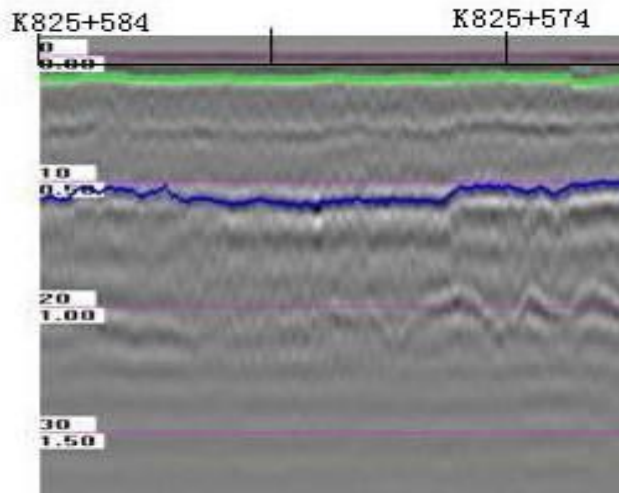


图 4.2.2-2 沪京方向 K825+584~K825+574 段雷达检测厚度分层图像

从以上对比可以证明，雷达检测结果与取芯验证结果是基本一致的，误差仅为1mm，因此雷达检测路面结构层厚度是可靠的。

#### 4.2.3 公路路面厚度评价

采用中国矿业大学（北京）-星通联华开发的GR雷达处理分析系统3.0版本可以实现层位追踪。评价距离，可以根据实际需要给出，下面分别给出评价距离为500米（参见表4.2.3-1）和200米（参见表4.2.3-2）的应用例子。

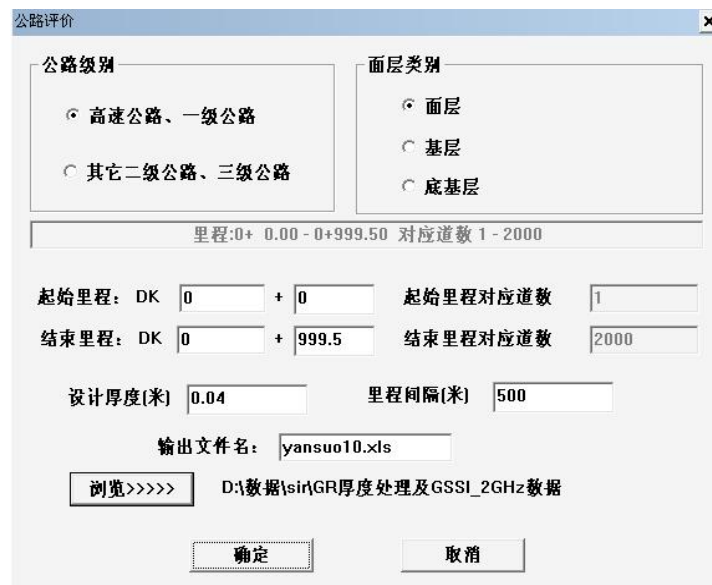


图 4.2.3-1 参数设置

**表 4.2.3-1 500 米为评价单位**

面层选取	起始里程	终止里程	设计厚度 (mm)	厚度平均值 (mm)	厚度标准差 (mm)	厚度代表值 (mm)	实测道数	合格点数	合格率	评分 (20 为满分)
上面层	K0+0.00	K0+500.00	40.00	45.51	2.63	45.51	1001	1001	100.00	20.00
	K0+500.00	K0+999.50	40.00	41.28	1.37	41.28	1000	1000	100.00	20.00
中面层	K0+0.00	K0+500.00	90.00	91.85	2.00	91.85	1001	1001	100.00	20.00
	K0+500.00	K0+999.50	90.00	99.11	2.58	99.11	1000	1000	100.00	20.00
下面层	K0+0.00	K0+500.00	150.00	136.61	7.85	136.59	1001	1001	100.00	20.00
	K0+500.00	K0+999.50	150.00	139.09	8.56	139.08	1000	960	96.00	19.20

**表 4.2.3-2 200 米为评价单位**

面层选取	起始里程	终止里程	设计厚度 (mm)	厚度平均值 (mm)	厚度标准差 (mm)	厚度代表值 (mm)	实测道数	合格点数	合格率	评分 (20 为满分)
上面层	K0+0.00	K0+200.00	40.00	44.46	1.22	44.52	401	401	100.00	20.00
	K0+200.00	K0+400.00	40.00	42.98	2.42	43.10	401	401	100.00	20.00
	K0+400.00	K0+600.00	40.00	39.37	1.01	39.42	401	401	100.00	20.00
	K0+600.00	K0+800.00	40.00	39.68	0.91	39.73	401	401	100.00	20.00
	K0+800.00	K0+999.50	40.00	38.08	1.18	38.14	400	400	100.00	20.00
中面层	K0+0.00	K0+200.00	90.00	86.54	1.12	86.54	401	401	100.00	20.00
	K0+200.00	K0+400.00	90.00	86.28	1.00	86.28	401	401	100.00	20.00
	K0+400.00	K0+600.00	90.00	87.29	4.12	87.28	401	401	100.00	20.00
	K0+600.00	K0+800.00	90.00	91.97	2.07	91.96	401	401	100.00	20.00
	K0+800.00	K0+999.50	90.00	94.49	1.64	94.48	400	400	100.00	20.00
下面层	K0+0.00	K0+200.00	150.00	137.10	2.66	137.09	401	401	100.00	20.00
	K0+200.00	K0+400.00	150.00	139.95	2.73	139.94	401	401	100.00	20.00
	K0+400.00	K0+600.00	150.00	144.80	6.65	144.77	401	401	100.00	20.00
	K0+600.00	K0+800.00	150.00	134.44	5.81	134.41	401	0	0.00	0.00
	K0+800.00	K0+999.50	150.00	143.04	4.15	143.02	400	400	100.00	20.00

对比表4.2.3-1和表4.2.3-2可以发现如下特点：评价单位距离越小，面层局部起伏对评价指标影响越大，甚至不合格；相反，局部不合格由于空间比例小，在长评价单位距离只会影响到个别点不满足，而总体施工满足要求。



## 4.3 路面结构内部质量分析

### 4.3.1 内部质量分析方法

(1) 缺陷检测时，被检测部位应满足以下两个条件：

- ①被检测部位至少有一个相对平整的检测面；
- ②检测区域应完全覆盖某个被怀疑的缺陷区域。

(2) 根据探测深度等选用合适频率的天线以及适宜的雷达通道数。

(3) 按第4.1节对雷达图像进行处理与分析，确定雷达剖面图像中的缺陷位置。

(4) 单通道雷达检测病害：

- ①根据典型图像（见表4.1.3-1）识别缺陷位置及分布；
- ②检测过程中，对可能出现病害的测试区域应进行测线加密，重复检测，通过多条测线数据结合进行解释。

(5) 天线阵雷达检测缺陷：

①天线阵雷达一次检测可采集多组数据，经过数据处理后可得到雷达灰度剖面图对比图像，分析比较相同水平位置不同雷达图像的异常特征判定缺陷位置；

②应使用天线阵对疑似目标物周围进行高密度扫描，采用多通道数据结合进行解释。

(6) 缺陷判定方法：

- ①通过比对分析目标物上方多条相邻测线的雷达图像判定结果；
- ②将探测的缺陷雷达图和经典的经过验证的缺陷雷达图比对分

析之后，方可判定其结果。

### 4.3.2 内部质量状况综合分析解释

#### (1) 京沪高速路面结构层内部质量状况综合分析：

我们根据路面各结构层的含水量将其含水状况划分为5个等级，从含水低到含水高依次为：干、潮、湿、含水、富水。从本次调查结果来看，道路两侧含水明显高于中间部位，富水区域多出现在路面50cm以下层位。

根据路面各结构层密实性将其划分为3个等级，从密实性好到密实性差依次为：密实、欠密实、松散。从本次调查结果来看，道路两侧和中间部位存在欠密实的情况相当，欠密实（松散）区域多出现在路面50cm以上层位。

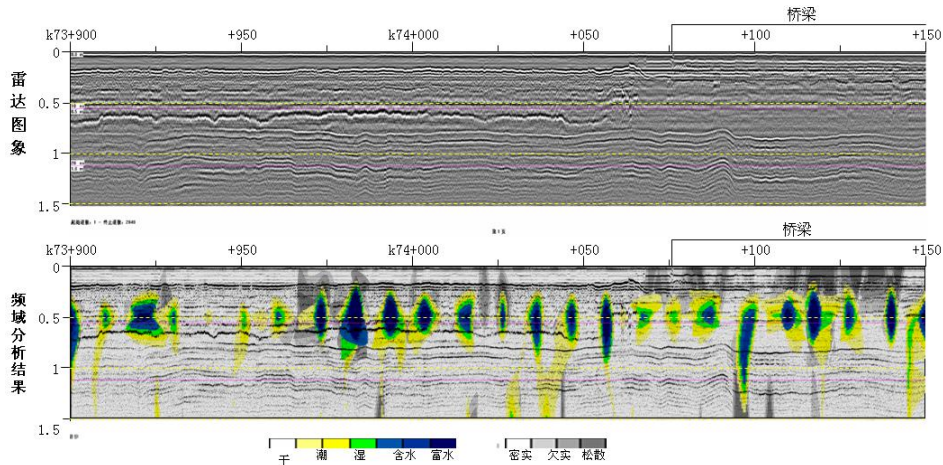


图 4.3.2-1 京沪高速公路路面状况雷达检测结果(行车道内侧)

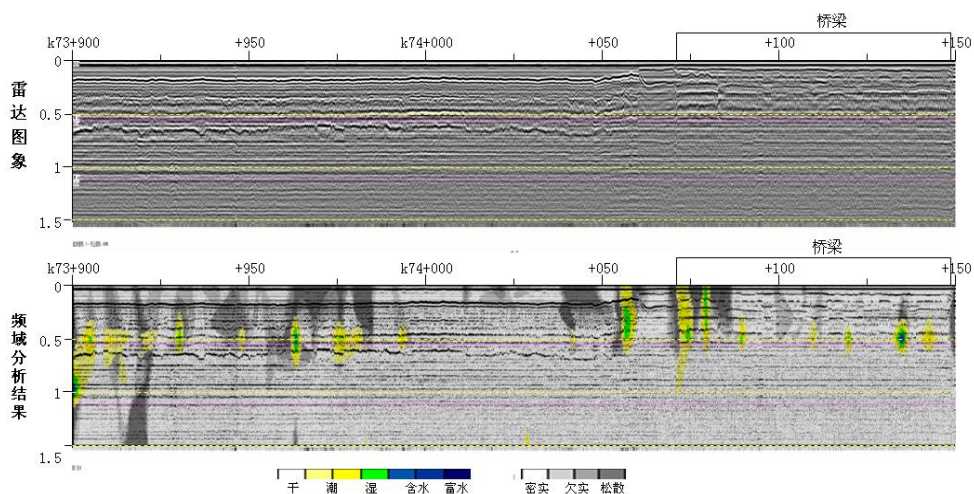


图 4.3.2-2 京沪高速公路路面状况雷达检测结果(行车道中线)

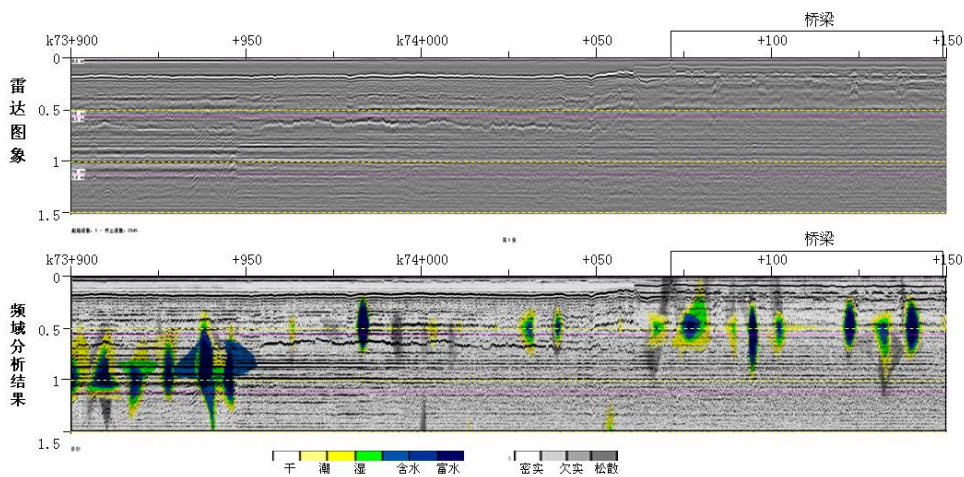


图 4.3.2-3 京沪高速公路路面状况雷达检测结果(行车道外侧)

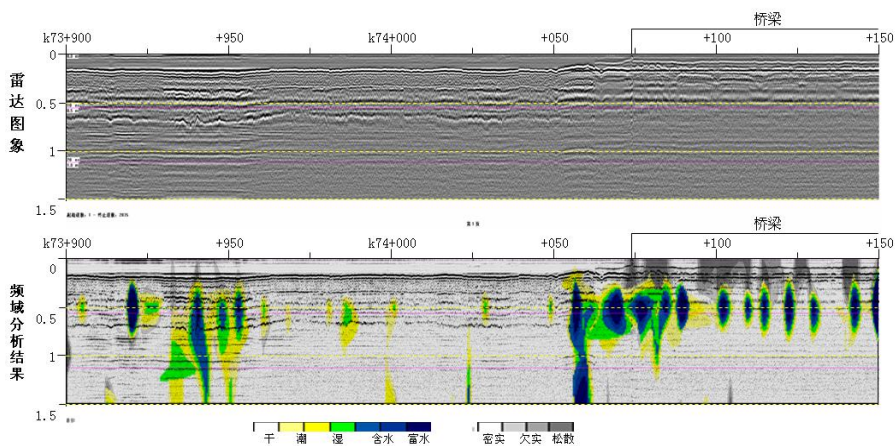


图 4.3.2-4 京沪高速公路路面状况雷达检测结果(路肩中线)

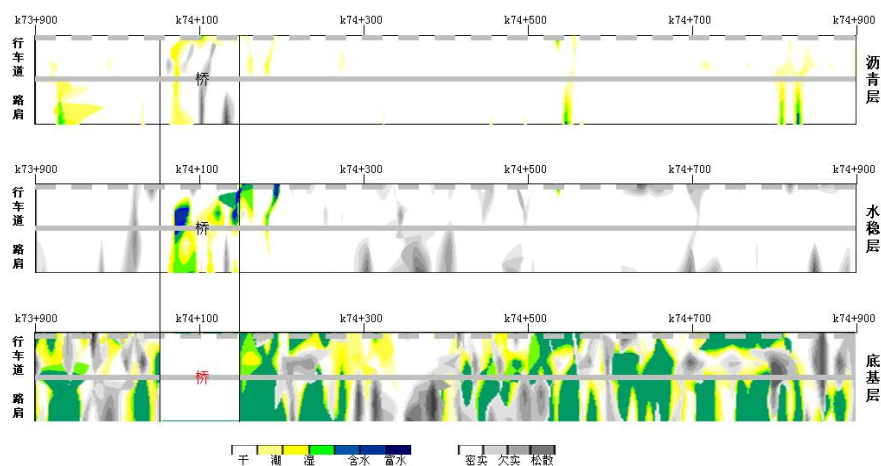


图 4.3.2-5 京沪高速公路路面状况雷达检测的各层解释结果平面示意图

(2) 评价各种病害的雷达参考图像

**脱空:**

主要将脱空分为充气脱空和充水脱空。从下图4.3.2-6~图4.3.2-8中的雷达波形可以比较清楚的识别脱空，脱空区域内的反射信号是比较强的。

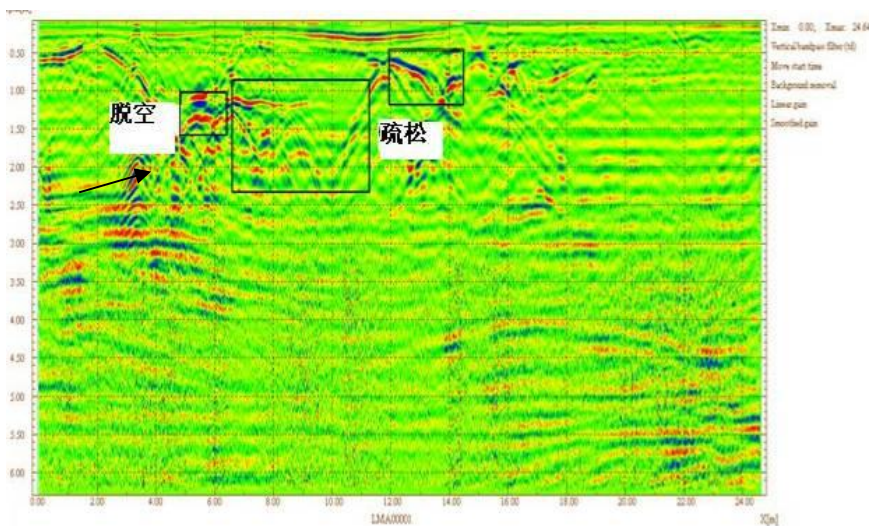


图 4.3.2-6 脱空一

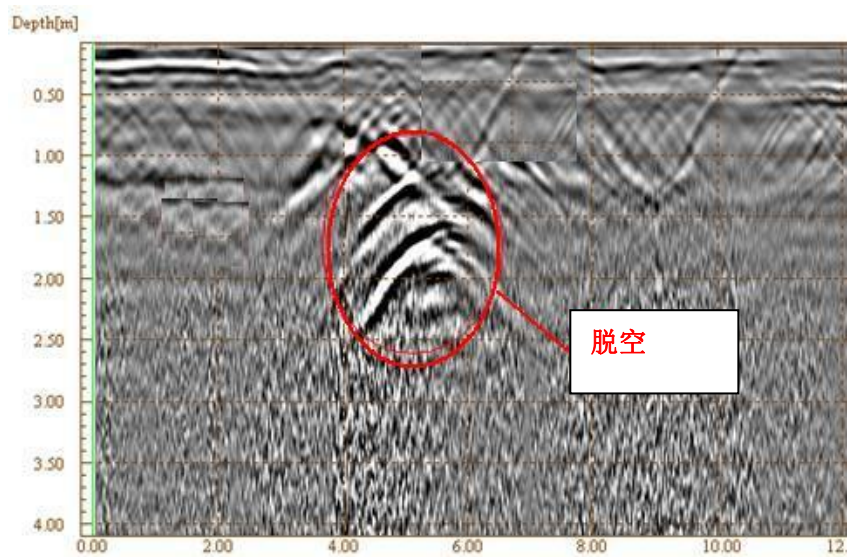


图 4.3.2-7 脱空二

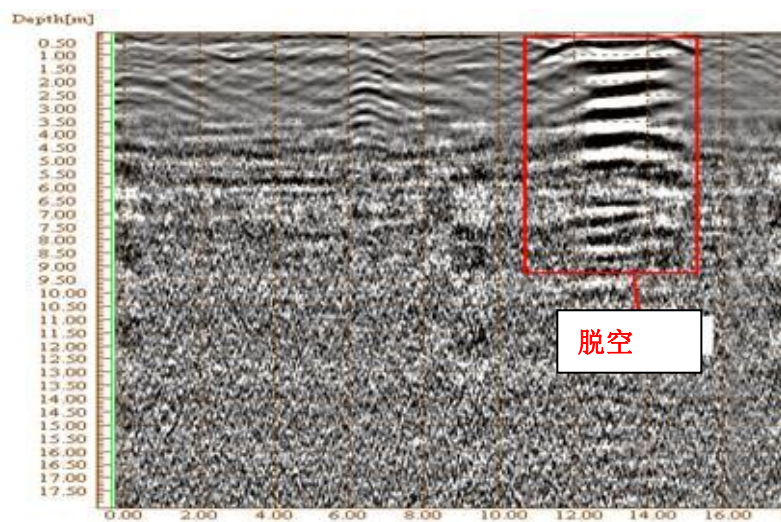


图 4.3.2-8 脱空三

不密实:

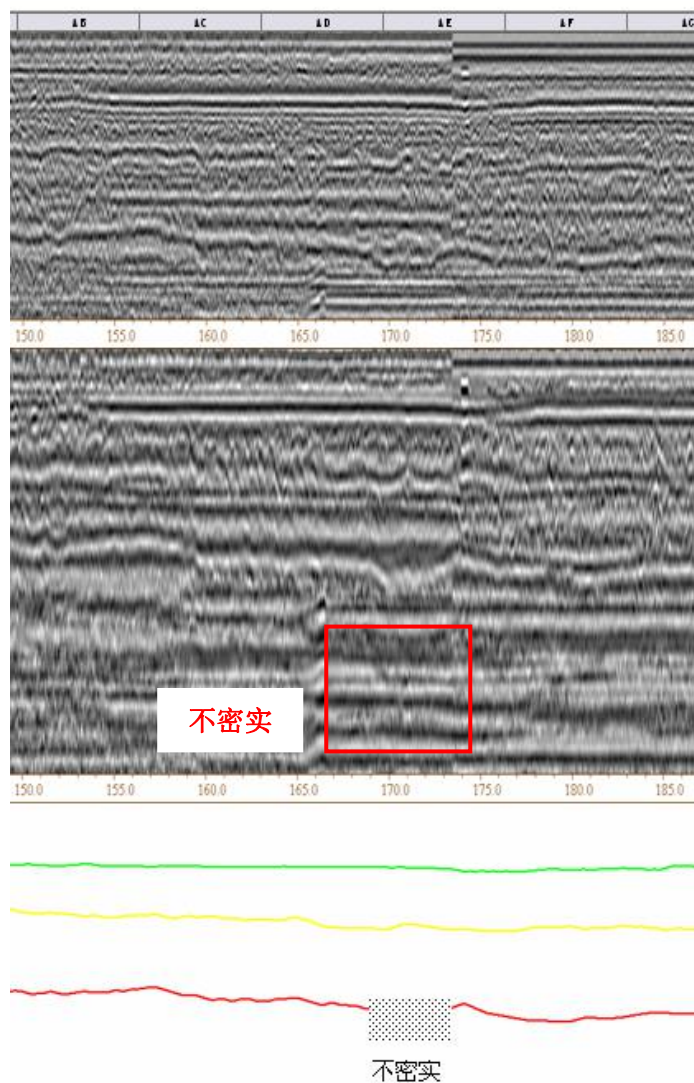


图 4.3.2-9 京沪高速 K73+650~K73+685 底基层不密实

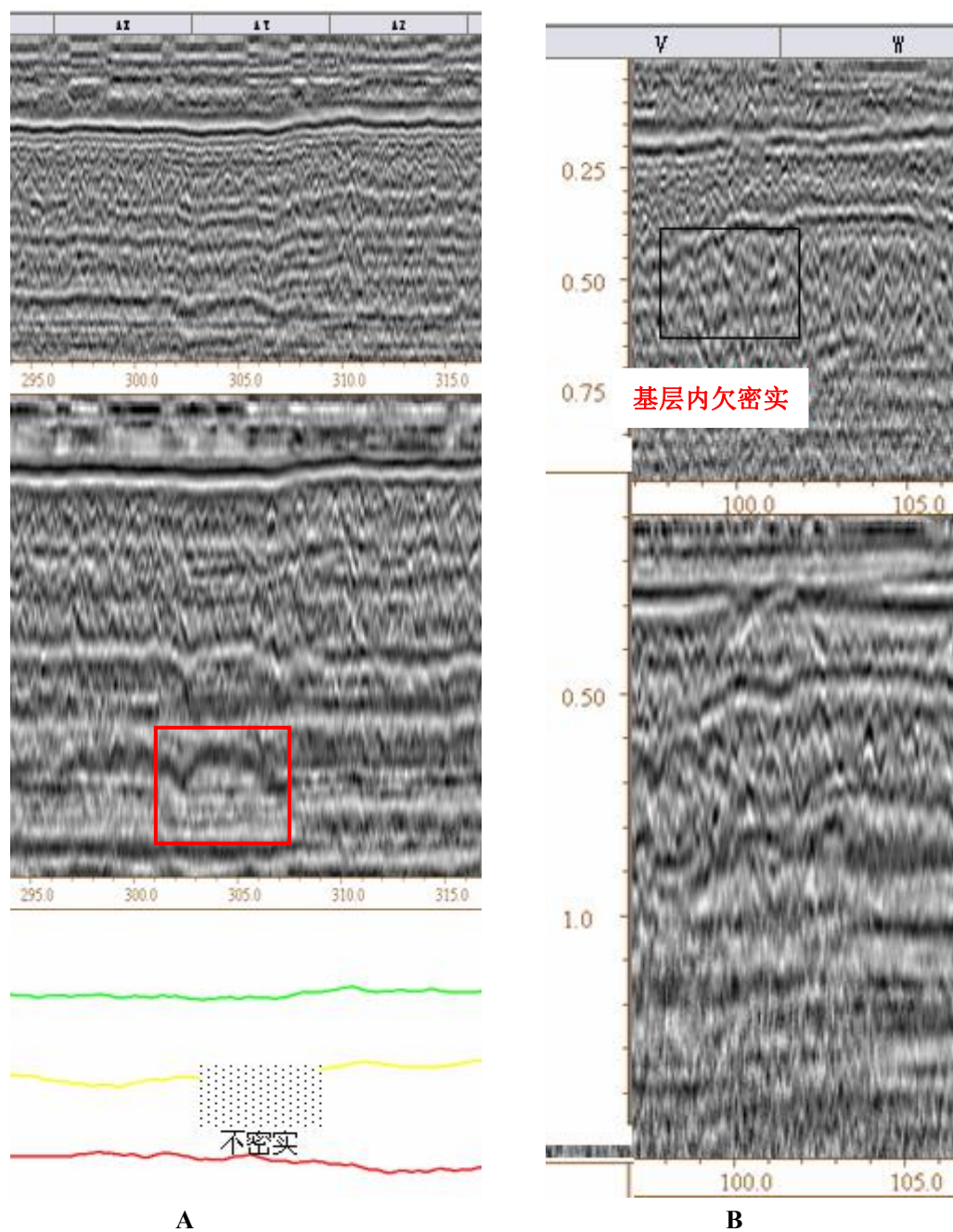


图 4.3.2-10

A: 京沪高速 K73+795~K73+815 基层不密实

B: 京沪高速 K90+50~K90+155 基层内欠密实

层间粘结不密实:



图 4.3.2-11 京沪高速 K90+155~K90+170 层间粘结不密实



富水区：

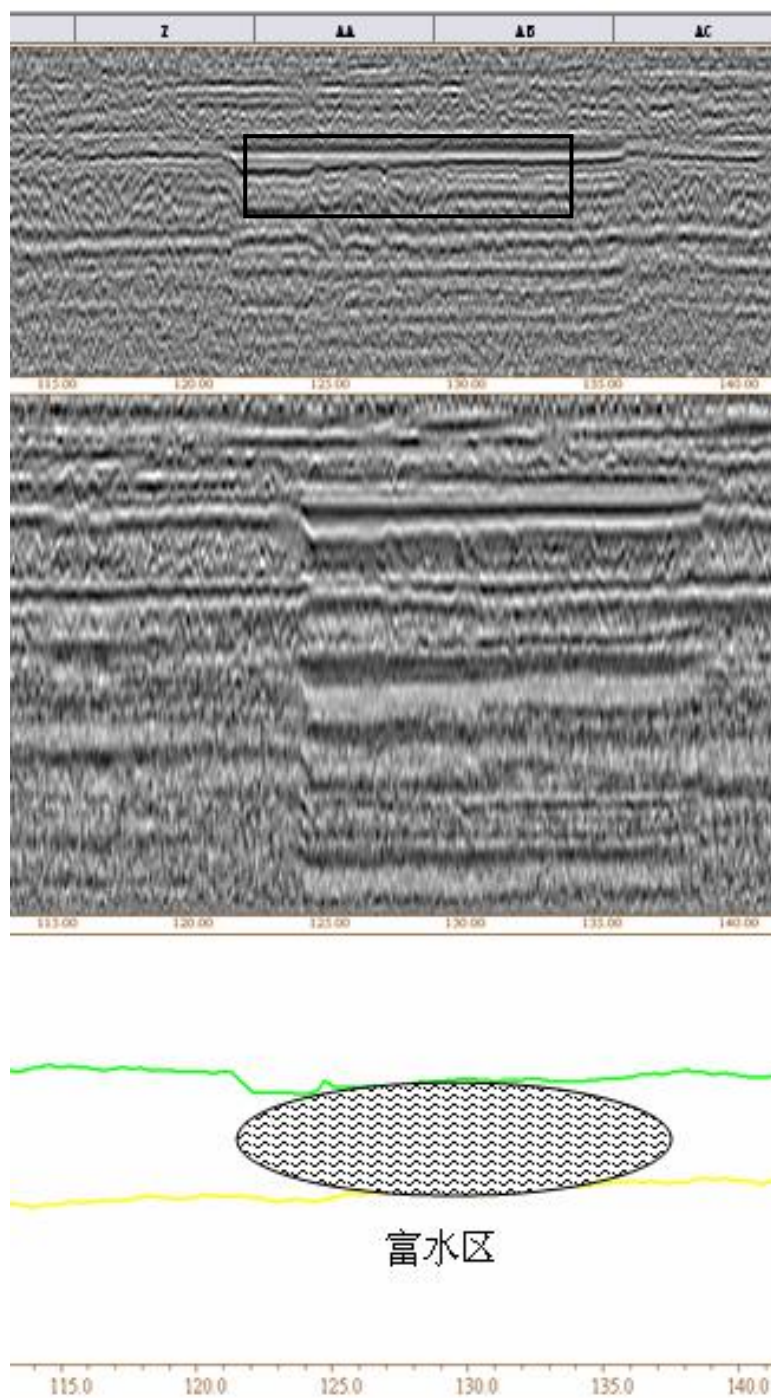


图 4.3.2-12 京沪 K221+775~K222+810 基层富水

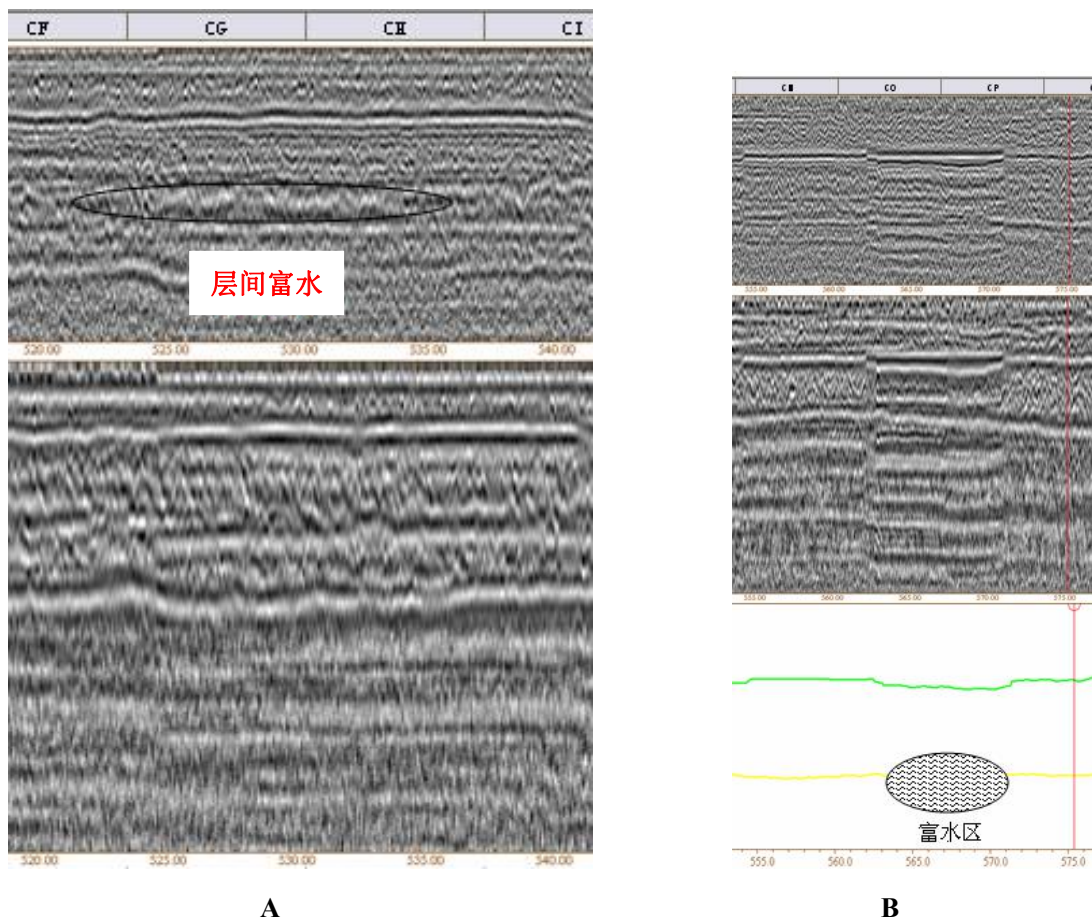


图 4.3.2-13 A: 京沪高速 K198+756~K198+776 层间富水  
B: 京沪高速 K222+215~K222+235 层间富水

### 基层损坏（疏松）：

依据探地雷达反射波的能量(振幅)的差异和同相轴畸变的程度，将路面下基层内存在的疏松情况分为以下三种类型：

I类——轻微疏松，路面下的路基层内发生轻微疏松；

II类——中等疏松，路面下的路基层内的疏松比较严重，但尚未发育为局部空洞；

III类——严重疏松，路面下的路基层内发生严重疏松，局部发育为空洞。

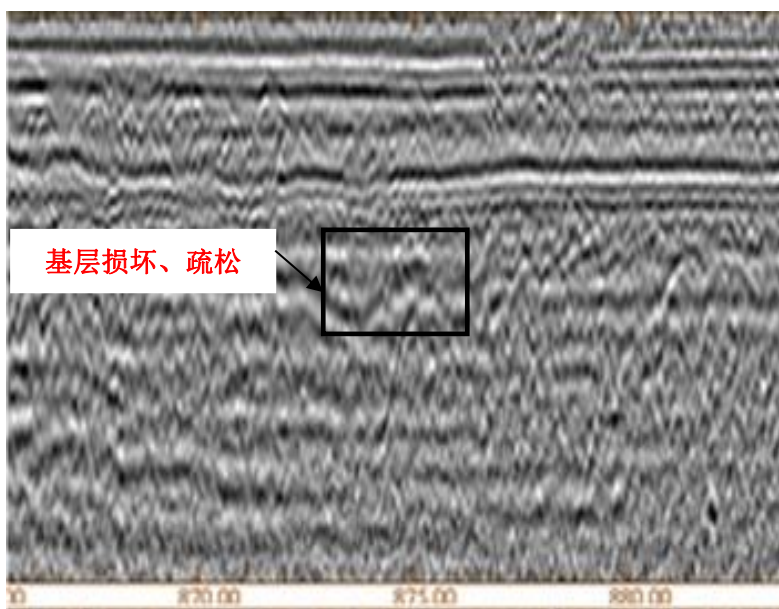


图 4.3.2-14 基层损坏、疏松（I类）

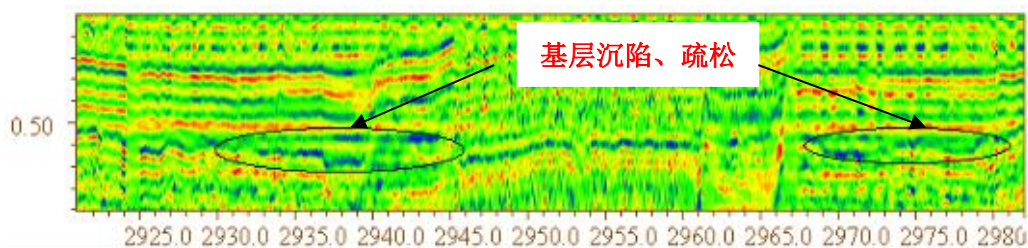


图 4.3.2-15 基层沉陷、疏松（II类）

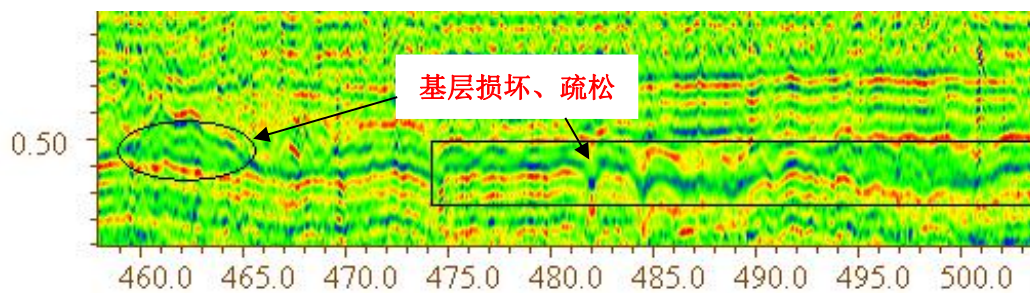


图 4.3.2-16 基层损坏、疏松（Ⅲ类）

破碎、离析：

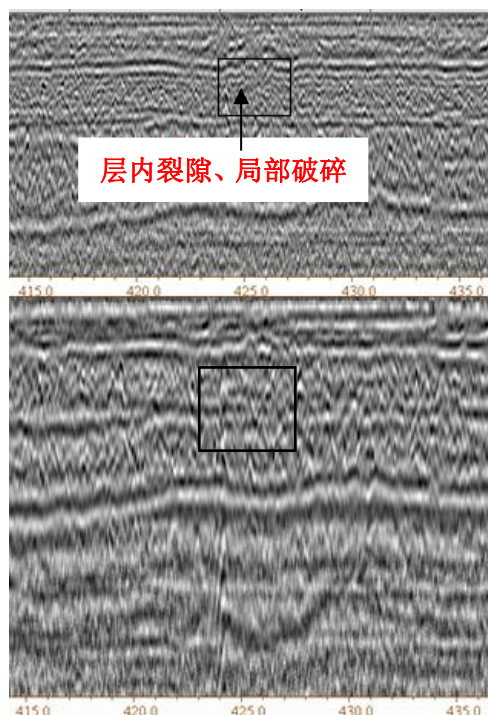


图 4.3.2-17 京沪高速 K90+465~K93+485 层内裂隙、局部破碎

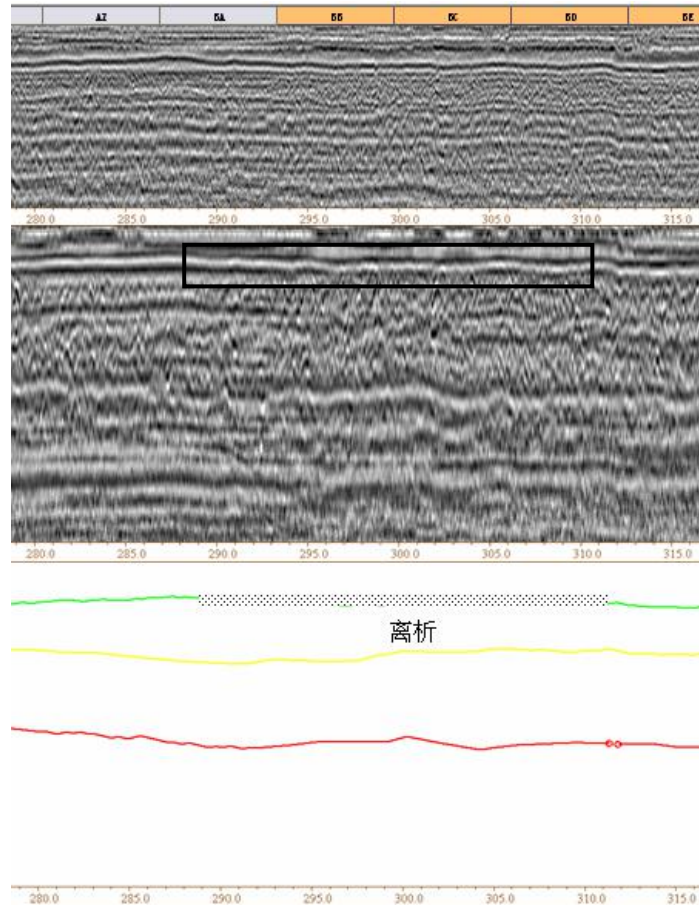


图 4.3.2-18 京沪高速 K74+180~K74+215 面层离析

## 4.4 路面结构内部质量状况综合评价体系

### 4.4.1 综合评价体系的建立

公路路面结构内部质量状况直接决定道路运营安全和道路的保养维护，为切实地使公路能够正常运营，根据我国的实际情况和国外的公路管理技术发展趋势，从制作模型验证并结合课题在京沪高速公路检测中大量的应用实践，将路面内部结构层病害主要划分为四种：脱空、松散（疏松、破碎）、层间粘结不密实、富水，此外，还将松散和富水情况进行了分级，详见表4.4.1-1~4.4.1-3。

表 4.4.1-1 路面结构层病害分类分级

病害类型	分级	病害特征图像描述及分级依据
松散（疏松、离析、破碎）	轻	病害区域的雷达反射波振幅较周围介质反射波振幅大，波形存在散乱现象，病害下方的道路结构层界面同相轴存在轻度缺失。
	中	病害区域的雷达反射波振幅远大于周围介质反射，波形基本散乱，病害下方的道路结构层界面同相轴部分缺失。
	重	病害区域的雷达反射波振幅远大于周围介质反射，波形完全散乱无序，病害下方的道路结构层界面同相轴完全消失。
层间粘结不密实	--	雷达反射波同相轴发生错断，并产生两段平行于不密实区域的同相轴，反射波振幅大。
富水	轻	雷达反射波振幅与初始雷达发射电磁波反相，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。
	重	雷达反射波振幅与初始雷达发射电磁波反相，振幅较周围介质反射波振幅小得多，频谱上大部分高频信号被吸收截断，主要表现为低频谱。
脱空	--	数据剖面上会形成强反射，反射波振幅很大，由于脱空区域边缘的多次反射和绕射，会形成双曲线型反射弧和绕射波尾。

表 4.4.1-2 路面结构层病害评价系数

病害类型	评价常数 ( $C$ )	权重 ( $W$ )	雷达测量参数			
			介电常数 $\epsilon$	速度 $v$	反射系数 $R$	衰减系数 $\beta$
松散（疏松、离析、破碎）	15	2	√	√	√	√
层间粘结不密实		2	√		√	√
富水	20	3	√		√	√
脱空	30	4	√		√	√

表 4.4.1-3 不同路面病害分级

病害类型	程度分级	分级系数 (G)	描述
松散 (疏松、离析、破碎)	轻	0.2	细集料开始散失
	中	0.4	细集料大量散失, 粗集料开始散失
	重	0.6	粗集料散失
层间粘结不密实	-	0.4	-
富水	轻	0.4	层内介质湿润
	重	0.8	层内出现积水
脱空	-	1.0	-

检测路段的质量评价得分计算公式见式4.4.1-1, 通过式4.4.1-1计算得到的评价分数代表路面内部质量状况指数, 分数越低表示路面结构层内部病害的程度越严重, 满分为100分。分数统一为非负值, 当计算结果为负时, 统一评为0分。评价标准见表4.4.1-4。

$$S = 100 - \frac{\sum_{i=1}^{i_0} L_i (1 + G_{jk}) C_j W_j}{L} \quad (\text{式 4.4.1-1})$$

式中:  $S$ ——检测路段的质量评价指数;

$L_i$ ——检测路段区域内某类病害的长度 (m);

$L$ ——检测路段总长度 (m);

$C_j$ ——对应病害类型的评价常数, 按表4.4.1-2取值;

$W_j$ ——对应病害类型的权重, 按表4.4.1-2取值。

$G_{jk}$ ——对应病害类型不同程度的分级系数, 按表4.4.1-3取值;

表 4.4.1-4 路面结构内部质量评价等级

等级	优	良	中	次	差
评价指数 (S)	$S \geq 90$	$80 \leq S < 90$	$70 \leq S < 80$	$60 \leq S < 70$	$S < 60$

#### 4.4.2 应用及验证

以下是应用本评价体系对京沪高速K73+900~K74+900路段进行评价并验证。

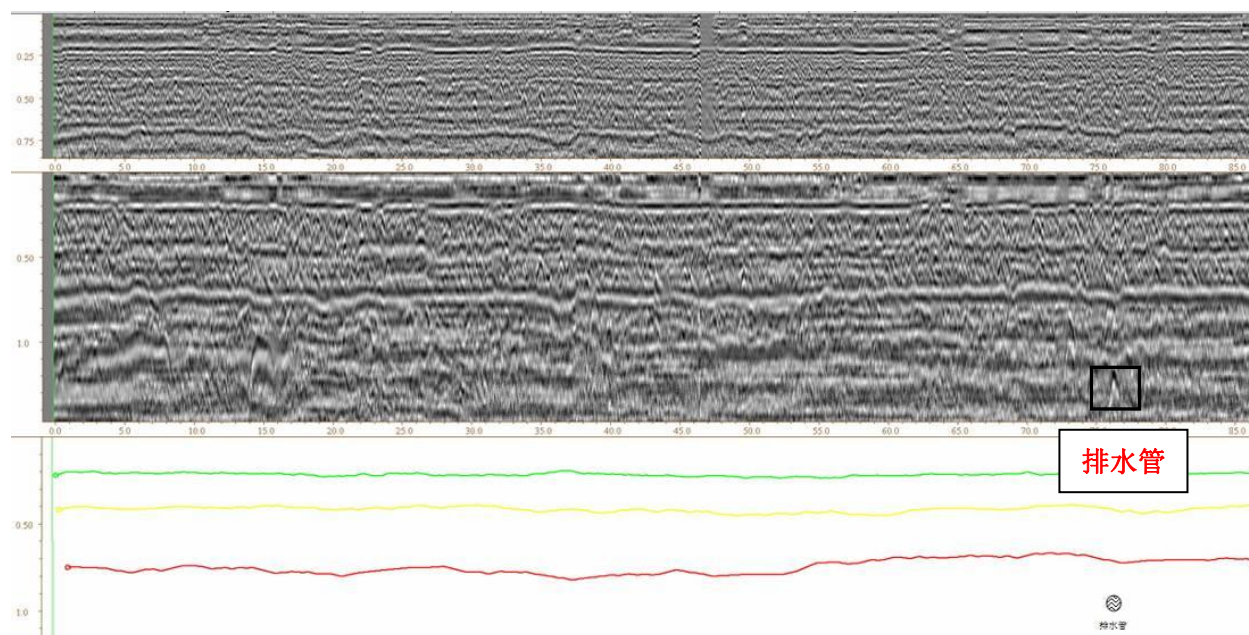


图 4.4.2-1 京沪高速 K73+900~K73+985 雷达图

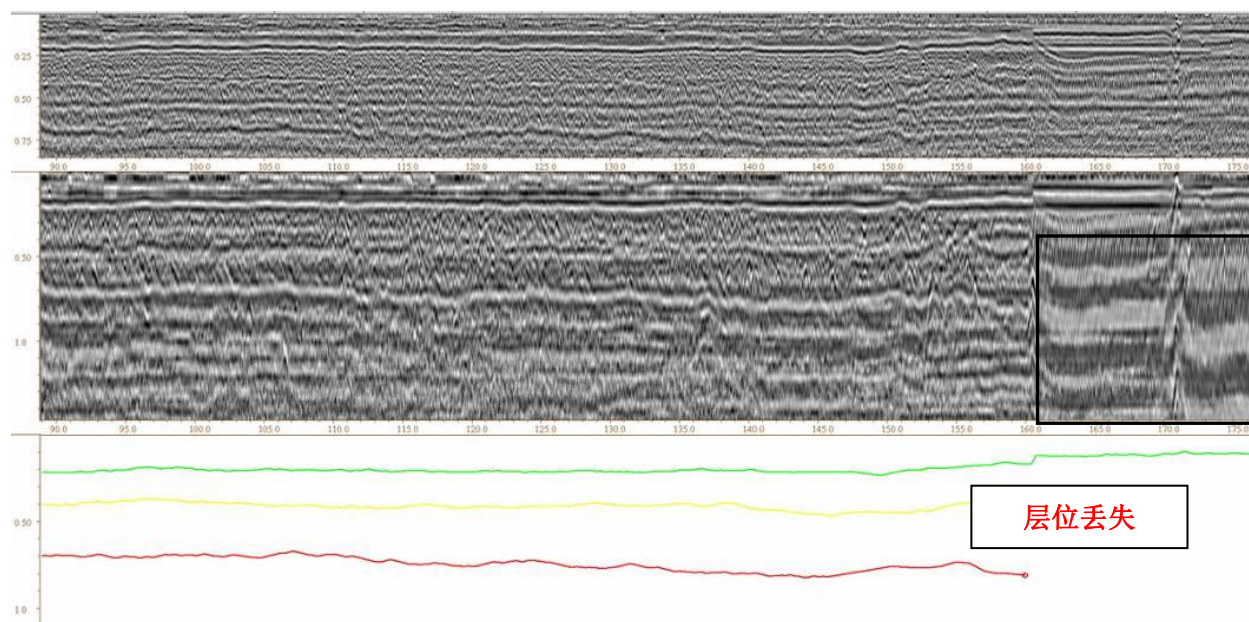


图 4.4.2-2 京沪高速 K73+990~K74+75 雷达图



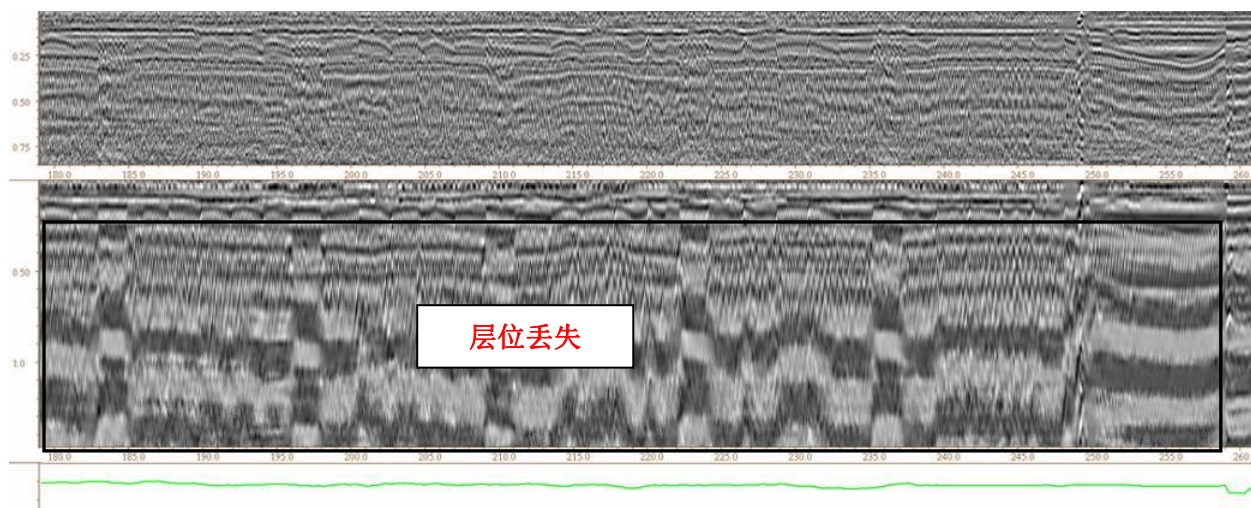


图 4.4.2-3 京沪高速 K74+80~K74+160 雷达图

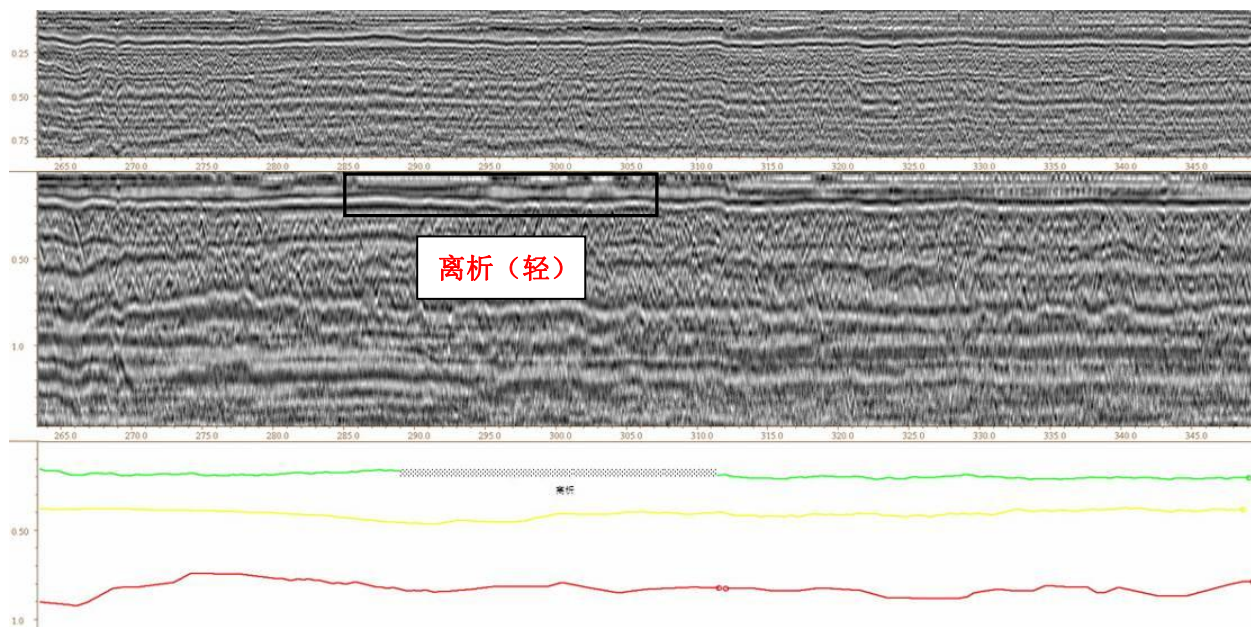


图 4.4.2-4 京沪高速 K74+165~K74+250 雷达图

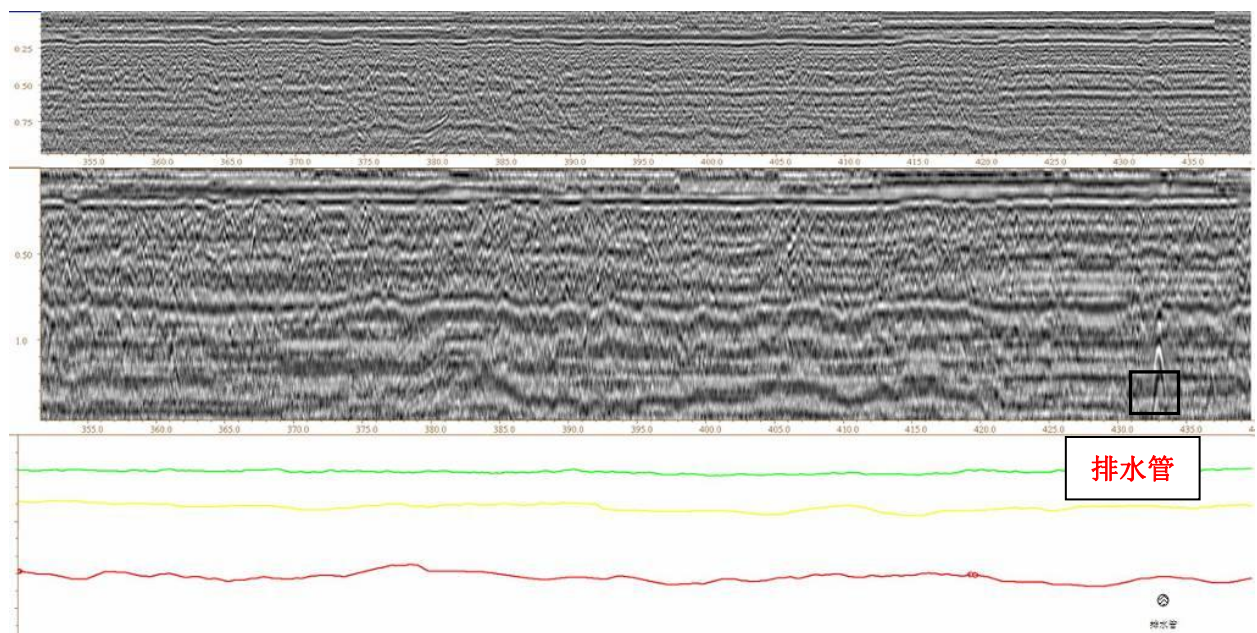


图 4.4.2-5 京沪高速 K74+255~K74+340 雷达图

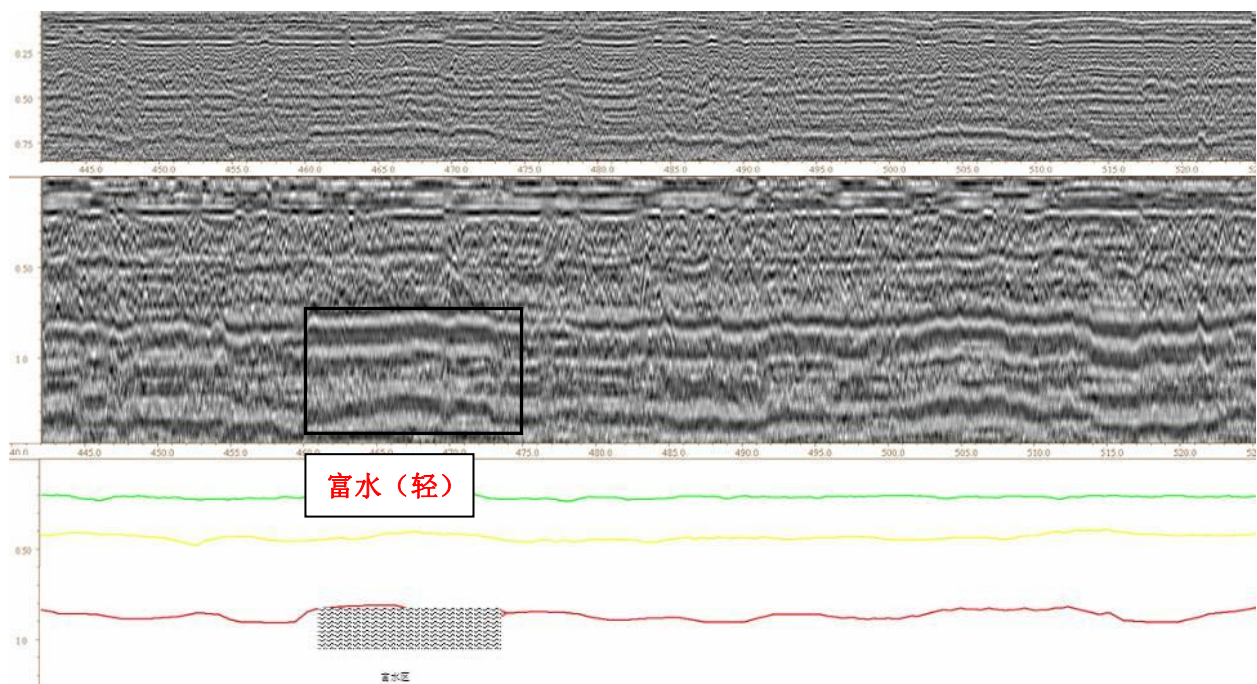


图 4.4.2-6 京沪高速 K74+345~K74+425 雷达图

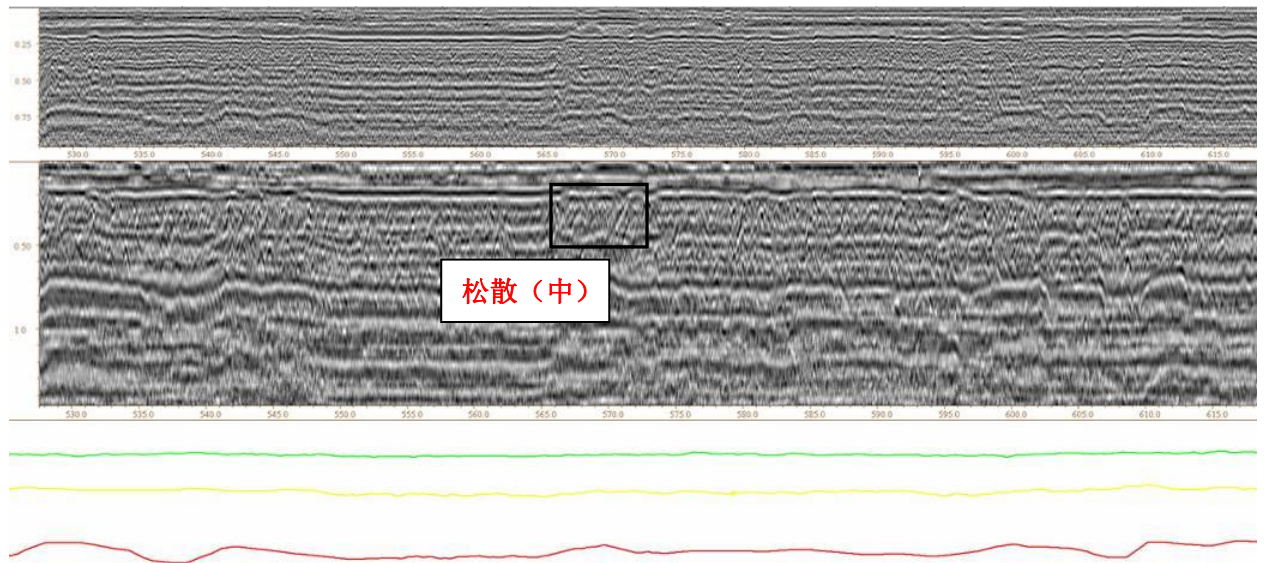


图 4.4.2-7 京沪高速 K74+430~K74+515 雷达图

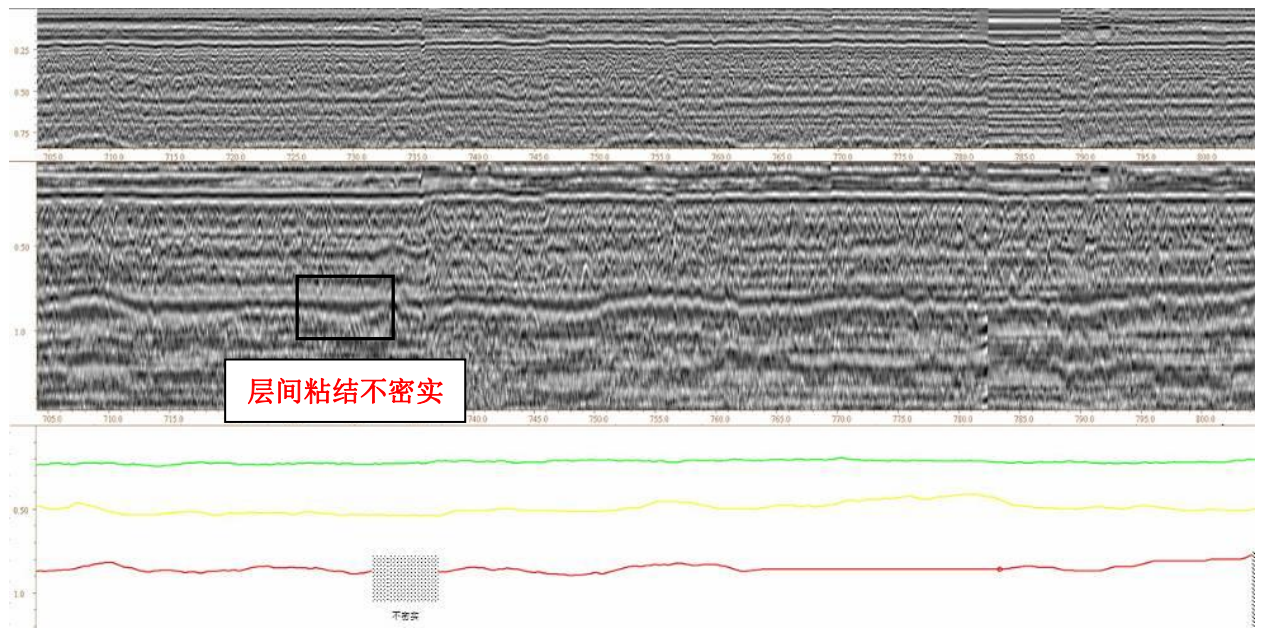


图 4.4.2-8 京沪高速 K74+605~K74+700 雷达图

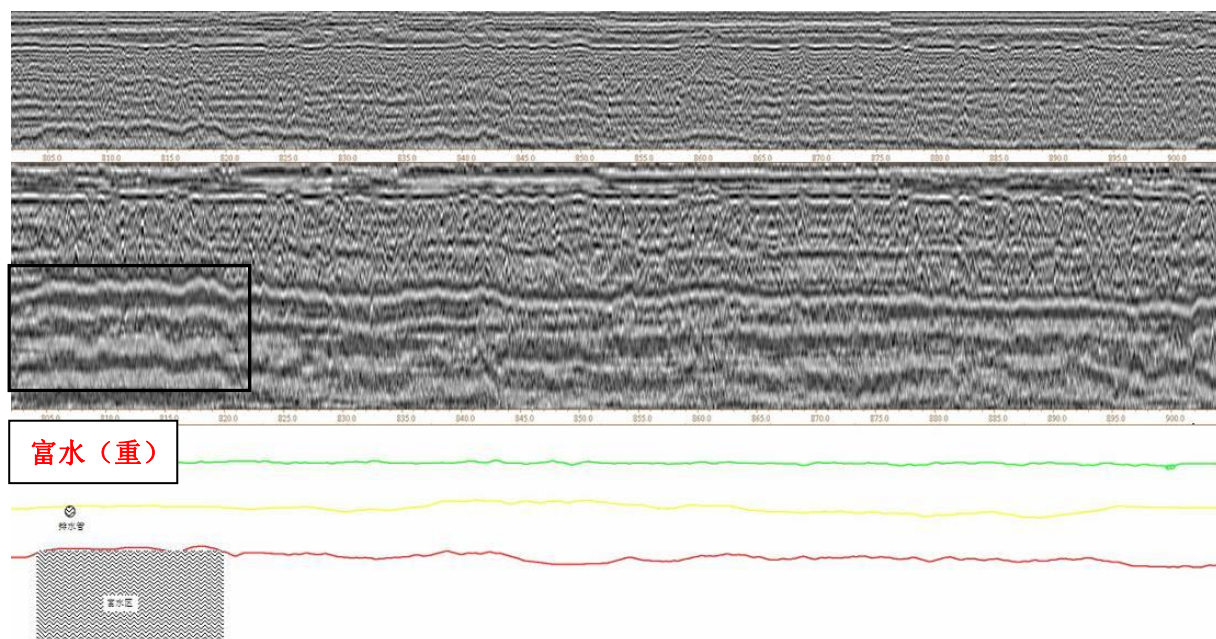


图 4.4.2-9 京沪高速 K74+705~K74+800 雷达图

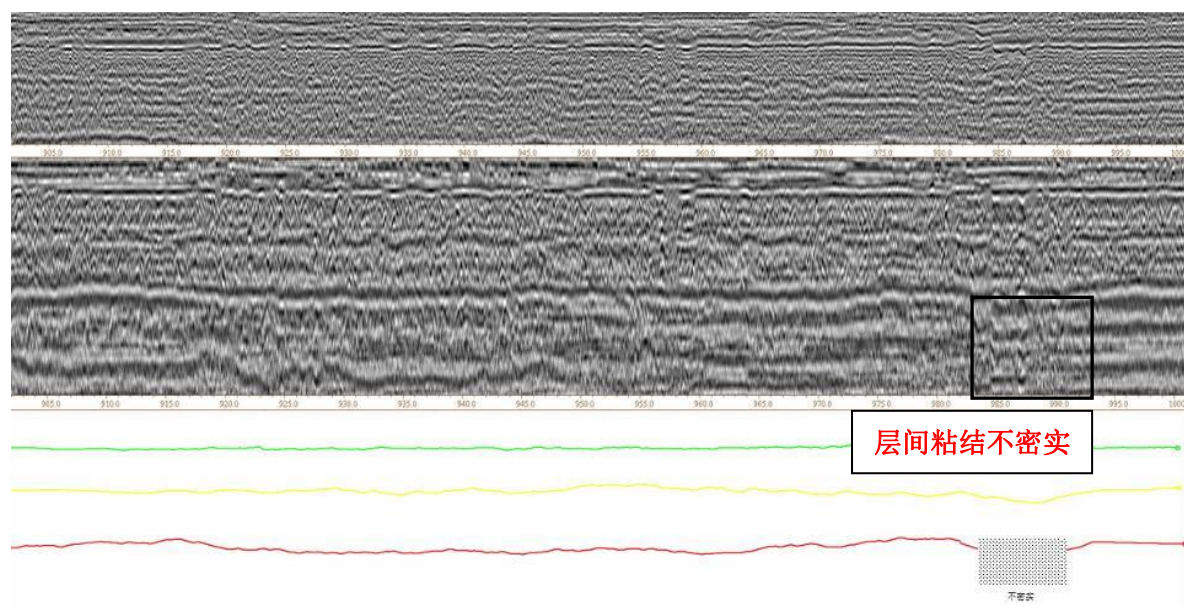


图 4.4.2-10 京沪高速 K74+805~K74+900 雷达图

(1) 对整段路进行评分

K73+900~K74+900: 94.0

(2) 对病害路段进行分段评分

K74+165~K74+250: 89.4

K74+345~K74+425: 79.0

K74+430~K74+515: 96.5

K74+605~K74+700: 96.5

K74+705~K74+800: 75.0

K74+805~K74+900: 95.1

建议进行分段评分，以 100m 左右为单元，这样可以更清晰的找到病害路段。从对京沪高速 K73+900~K74+900 的评价来看，整体是优良的，但在出现富水的路段，得分明显偏低。

### (3) 对评价结果进行验证



图 4.4.2-11 京沪高速 K74+430



图 4.4.2-12 京沪高速 K74+365

从图 4.4.2-11 和图 4.4.2-12 来看，现场情况与评价结果相符。除对京沪高速 K73+900~K74+900 路段进行评价之外，还对京沪高速 K222+300~K222+800，K239+880~K240+450 等路段进行了反复验证，证明该评价体系是可靠的。

## 5 采用国际标准程度及水平

无。

## 6 重大意见分歧的处理依据和结果

标准在起草过程中，未出现重大意见分歧。

## 7 与有关的现行法律、法规和国家标准的关系

目前探地雷达在公路检测领域的应用，还没有一套规范化、标准化的检测及评价方法，致使检测数据使用效率不高，准确率低，无法形成生产力。检测单位在评价路面结构内部质量、检测路面内部缺陷和路面结构层厚度时缺乏技术依据。

本标准适用于我省公路路面内部缺陷及结构层厚度的检测与评价，能够填补相关领域空白。

## 8 贯彻标准的措施建议

### (1) 加强标准的实际应用，推进标准实施

本标准适用于探地雷达法进行的公路路面质量检测与评价，在我省公路建设项目中进行本团体标准的实施应用，将本团体标准作为路面探地雷达法检测的直接依据，密切关注各方对本团体标准的执行力度，并执行奖惩制度。

### (2) 加大标准宣贯力度，扩大宣贯范围

在本团体标准实施后，组织标准宣贯培训班，对相关各方单位的

人员进行本团体标准的宣贯培训。标准的宣贯工作不仅包括标准文本本身，还应包括标准的编制说明，使得标准使用者不仅了解标准文本中规定的内容，还了解本标准编制说明中对于标准制定背景、制定依据等内容，以利于标准的贯彻执行。

### **(3) 做好信息反馈和适用性评价，提高标准实施效果**

标准宣贯实施过程中，要注重将标准的宣贯工作落实到实际中。在本标准宣贯后，要时刻跟踪本团体标准在适用范围内的各相关单位的实施情况，记录标准在实际应用中的具体效果，对于实用性不强、适用性差的条款要及时反馈，以便采取相应的措施。

## **9 其他应说明的事项**

本标准不涉及专利等相关的知识产权问题。