

隧道 检测报告

二〇一八年一月

目录

1 概述	1
1.1 隧道概况.....	1
1.2 主要目的.....	1
1.3 执行的技术标准.....	1
1.4 检测工作概况.....	1
2 探地雷达工作原理	1
3 现场检测	2
3.1 天线选型.....	2
3.2 参数设置.....	2
3.3 现场测线布置.....	3
4 探地雷达数据处理与解释	3
5 检测结果	6

隧道检测报告

1 概述

1.1 隧道概况

主要目的为使用探地雷达对二衬内部混凝土结构质量进行检测，主要目检查初支与二衬交界处是否存在贴合不密实以及是否存在衬砌厚度不足的区域。

1.2 执行的技术标准

TB10012-2001 铁路地质工程勘查规范

TB10223-2004 铁路隧道衬砌质量无损检测规程

1.3 检测工作概况

本次主要工作内容是：使用探地雷达法，隧道拱顶及两侧拱腰钢筋分布及结构进行检测分析。工作时间：2018 年 1 月 1 日；测量测线里程：k37+700-k37+940。

2 探地雷达工作原理

探地雷达方法基于电磁波在不同介质中的传播特性。电磁波的传播取决于介质的电性，介质的电性主要有电导率 μ 和介电常数 ϵ ，前者主要影响电磁波的穿透(探测)深度，在电导率适中的情况下，后者决定电磁波在该物体中的传播速度，因此，所谓电性介面也就是电磁波传播的速度介面。不同的地质体(物体)具有不同的电性，因此，当发射天线发射的高频电磁波遇到介电常数不同的界面时，都会产生反射回波，根据接收天线接收到反射回波的时间和形式，能够确定反射界面的距离及判定反射体的可能性质。基本目标体探测原理见下图：

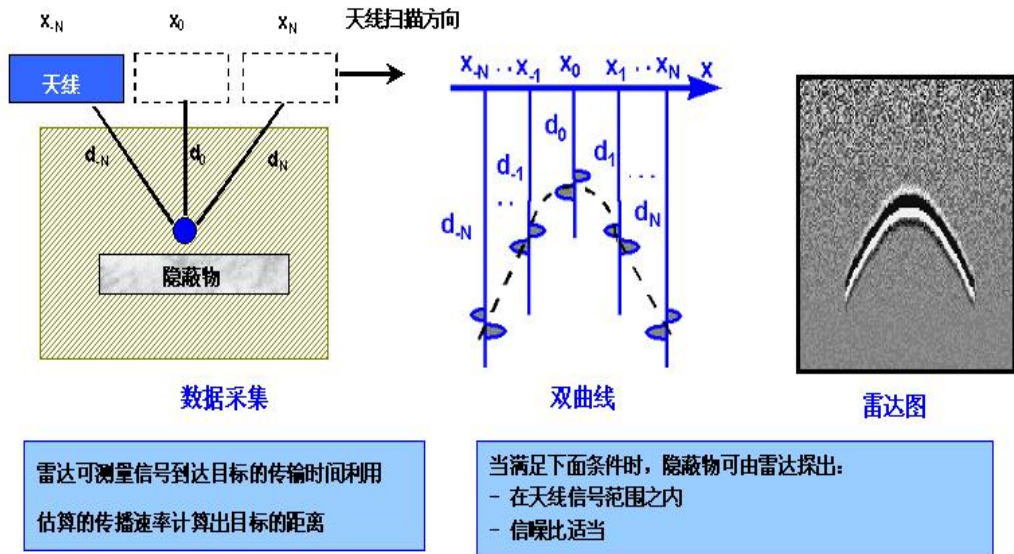


图 1-1 探地雷达的工作原理

3 现场检测

3.1 天线选型

针对本次质量检测，从分辨率、穿透力和稳定性三个方面综合衡量，使用中国电波传播研究所研发的 LTD-2600 探地雷达主机，配置 GC900MHz 屏蔽天线完成检测任务。天线如下所示：

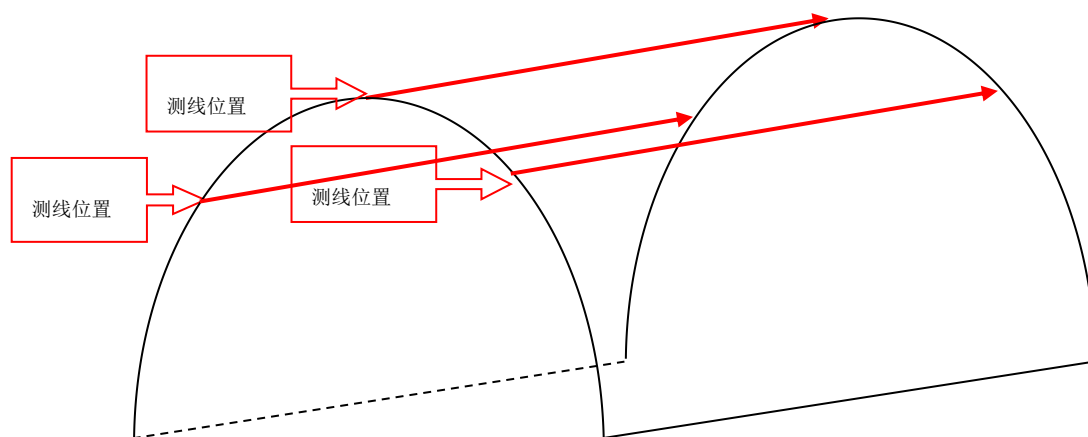


图 2-1 LTD-2600 主机+GC900MHz 屏蔽天线

3.2 参数设置

采样点 512，墙面采集时窗 30ns，采用距离触发方式工作，采样间距 1cm，有效检测深度 100cm，检测精度和深度可满足 100cm 内目标的需求。二衬混凝土波速经校正后定位 $v=10.8\text{cm/ns}$ 。

3.3 现场测线布置

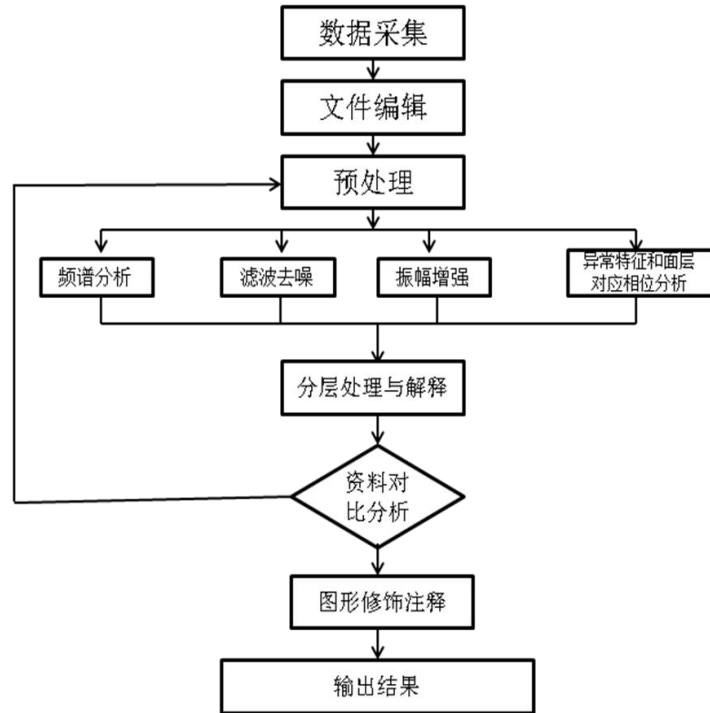


如图所示在隧道左拱腰，右拱腰及拱顶各布设 1 条纵向侧线。检测过程中每隔 5 米做一条定位标记用于距离校正。

4 探地雷达数据处理与解释

探地雷达数据处理包括预处理（标记和桩号校正，添加标题、标识等）和处理分析，其处理流程如图所示，其目的在于压制规则和随机干扰，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。

探地雷达所接收的是来自地下不同电性界面的反射波，其正确解释取决于检测参数选择合理、数据处理得当、模拟实验类比和读图经验等因素。

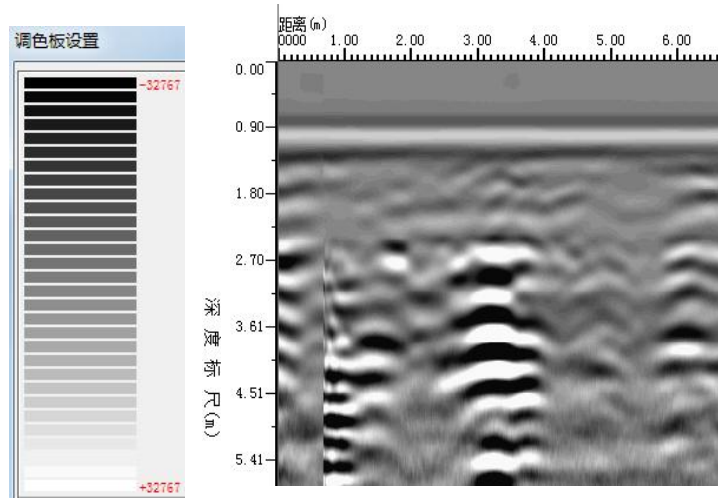


雷达数据的采集是分析解释的基础，数据处理则是提高信噪比，将异常突出化的过程。将现场采集的探地雷达数据传输至计算机中，应用配套的探地雷达处理软件进行处理。首先进行预处理，即定标点的编辑、文件头参数设定及距离均一化。

经过预处理后，还要进行一系列的数字化信号处理，通常的信号分析处理模块有：振幅谱分析、功率谱分析、相位谱分析、滑动平均谱分析、二维谱分析；常规信号处理模块有：漂移去除、零线设定、背景去噪、增益、谱值平衡、一维滤波、二维滤波、希尔伯特变换、反褶积、小波变换；运算模块有：道间平衡加强、滑动平均、文件叠加、文件拼接、混波处理、单道漂移去除、数学运算、积分运算、微分运算；图形编辑模块有：图形的放大、缩小、压缩、截取等。

经过上述数字信号处理后，可以有效地压制干扰信号的能量，提高雷达信号的信噪比，使雷达图象更易于识别地质信息，清晰的反映地质现象，从而提供更准确的解释结果。数据处理采用中国电波传播研究所自行开发的 IDSP6.0 探地雷达处理解释软件。处理过程包括预处理（步骤：①修改文件头参数；②标记和桩号校正；③剖面翻转和道标准化；④添加标题、标识等）和处理分析（包括①浏览整个剖面，查找明显的异常；②频谱分析；③滤波去噪；④振幅增强；⑤异常特征和面层对应相位分析；⑥剖面修饰等）。

经过处理后的检测剖面中不同的明暗度对应不同的幅度强度，横轴代表里程桩号（单位为 m），纵轴表示电磁波传播的双程走时经速度计算后显示为深度（单位为 m）。



探地雷达剖面调色板及灰度图显示

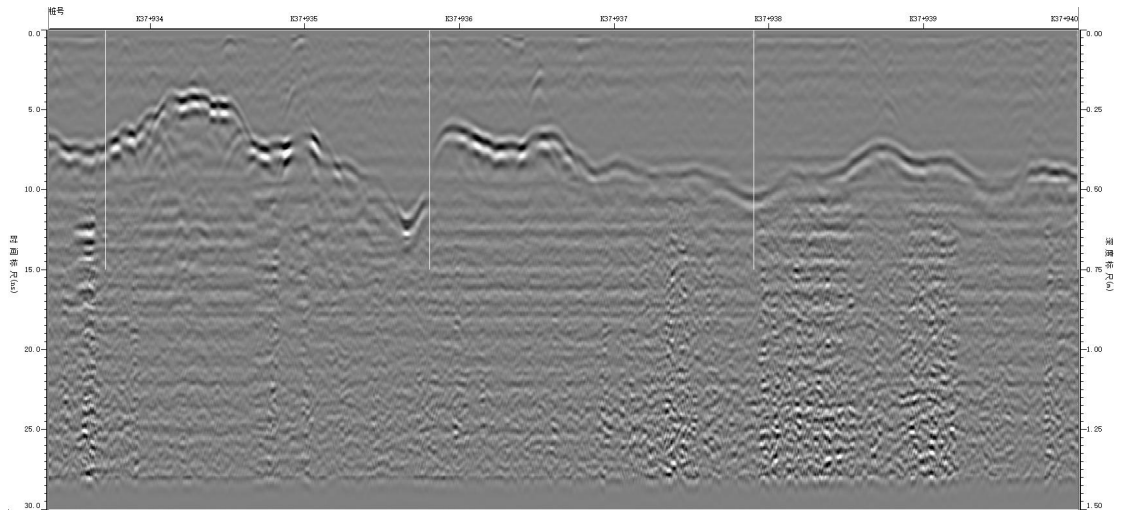
探地雷达图像的分析有定性和定量两种，定性分析主要表现在对空洞、异常、产状的判断上，定量分析主要在异常深度及长度的判定上。异常深度的判定可由电磁波从地面到异常体的双程走时来确定，由于异常体与周围介质存在一定的电性差异，特别是有空洞、空隙存在时，泥土、空气与围岩三者之间存在较大差异，在该界面位置出现强反射，电磁波能量显著增强，形成强反射界面，但当土壤含水量较高时会严重吸收电磁波能量使得反应地下深层的信号强度大大减小；电磁波波速则是根据土壤的成分及含水量等因素确定，电磁波在土壤中的相对介电常数 ϵ_r ，然后利用以下公式即可计算出异常体埋深。

$$r = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}} \quad v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}$$

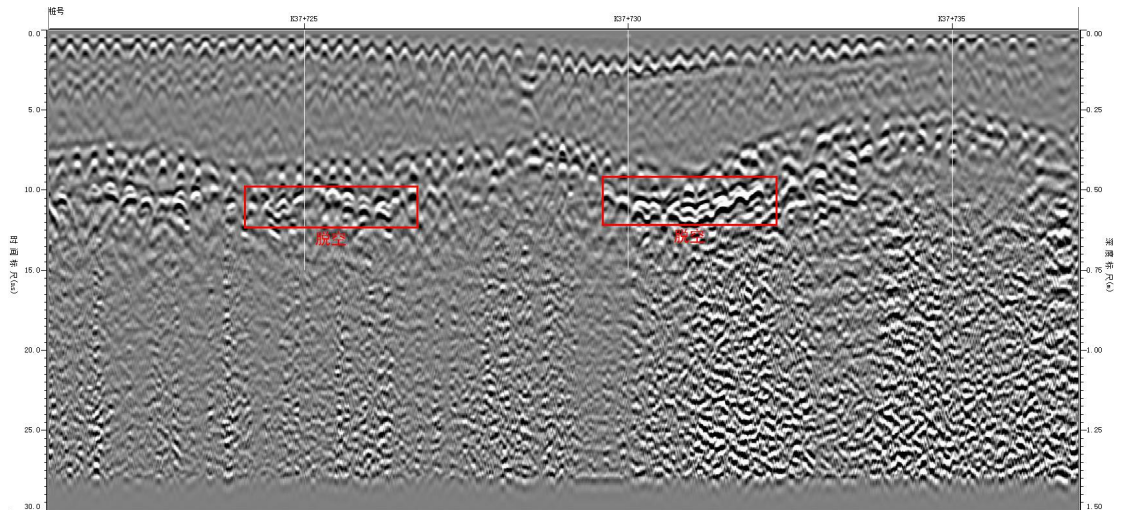
对于地下异常体的判读方法，这主要根据电磁波波形、振幅大小及电磁波同相轴连续性的好坏来进行判断。当地下土壤较为均一，不存在裂缝及空洞时，雷达图像上表现为雷达波同相轴连续性较好。反之在雷达图像上会表现为反射能量强、同相轴连续性较差，甚至产生双曲线形态等异常现象。

5 检测结果

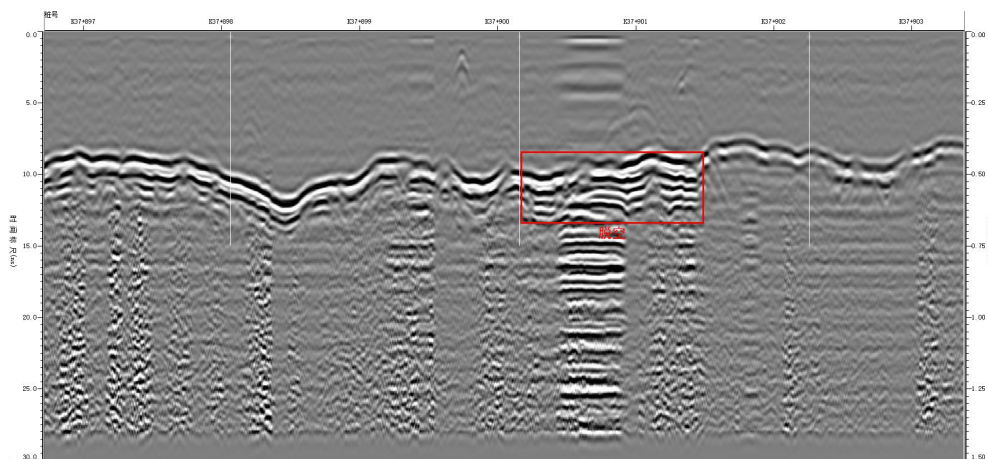
此次检测主要对二衬内部存在的病害以及二衬厚度不足区域进行检测，此次检测隧道入口段（k37+700-740）二衬内含双层钢筋网结构，通过雷达可以清晰看到双层钢筋的图像，且对第二层钢筋后方衬砌界面能够有较好的反应。后段（k37+740 以后）二衬内部不含钢筋，检测效果非常理想，二衬与初支接触面成像效果清晰，其内部存在的缺陷识别度高。同时经过波速校正，可以精确判断衬砌厚度，通过后处理软件可以快速生成衬砌厚度报表。



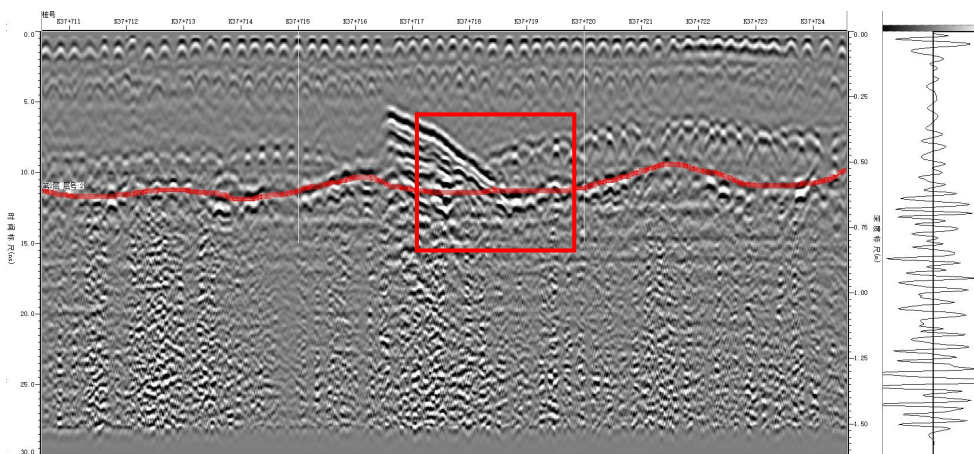
此段为素混凝土段衬砌检测图像，图像中可以看到整体能量反射较弱，仅在衬砌界面处有一条能量反射较弱的衬砌界面曲线，说明混凝土整体密实度较好且与二衬与初支贴合紧密。



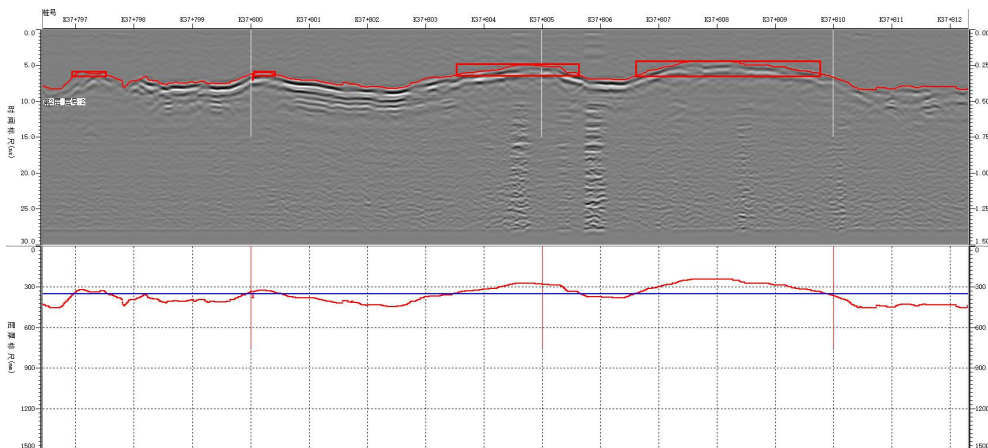
此段为进洞口附近双层钢筋网处衬砌检测效果。图中可以清晰看到双层钢筋的反射出图像，且可以看到在第二层钢筋网后方个别位置存在不密实的缺陷反应。



此段为素混凝土段二衬检测图像。图像中可以看出在部分衬砌接触曲线后方（红框标识区域）出现明显多次震荡反应，三振相反应明显，且存在多次波，说明此区域二衬与初支接触不良，存在有缝隙。



此段为进洞口处拱顶检测图像，可以看到在二衬中出现反应明显的强反射信号（红框表示区域），其反射能量强且存在多次波反射，经判定为拱顶注浆孔附近注浆不密实。



此为后处理软件中对衬砌厚度处理图像，上下两图中红线为经软件自

动追踪处理后生成的厚度曲线，下半图中蓝色横线代表衬砌厚度设计深度，通过对比可以轻易得出衬砌厚度不足区域信息，及上半图中红框标识区域，最后通过软件可以生成厚度不足区域信息报表。

详细检测结果报表

二衬混凝土缺陷检测（里程:k37+700~855，k37+875~940）

拱顶病害检测明细表

病害序号	病害类型	起始位置	终止位置	起始深度 (m)	终止深度 (m)	病害尺寸 (m)
1	空洞	K37+716.47	K37+718.49	0.27	0.67	2.02
2	脱空	K37+740.04	K37+748.88	0.46	0.68	8.84
3	脱空	K37+760.24	K37+763.08	0.46	0.62	2.84
4	脱空	K37+768.39	K37+769.17	0.46	0.59	0.78
5	脱空	K37+801.56	K37+803.54	0.49	0.58	1.98
6	脱空	K37+920.48	K37+924.96	0.42	0.53	4.48
7	脱空	K37+934.52	K37+937.46	0.33	0.50	2.94

右拱腰病害检测明细表

病害序号	病害类型	起始位置	终止位置	起始深度 (m)	终止深度 (m)	病害尺寸 (m)
1	脱空	K37+716.80	K37+722.60	0.36	0.54	5.80
2	脱空	K37+730.12	K37+733.22	0.52	0.67	3.10
3	脱空	K37+743.75	K37+747.71	0.46	0.71	3.96
4	脱空	K37+750.40	K37+756.14	0.43	0.60	5.74
5	脱空	K37+758.17	K37+760.31	0.49	0.65	2.14
6	脱空	K37+763.07	K37+765.79	0.42	0.59	2.72
7	脱空	K37+768.63	K37+770.73	0.42	0.55	2.10
8	脱空	K37+772.37	K37+773.89	0.42	0.56	1.52
9	脱空	K37+800.59	K37+802.71	0.38	0.58	2.12
10	脱空	K37+918.81	K37+919.85	0.45	0.55	1.04
11	脱空	K37+926.13	K37+926.91	0.38	0.47	0.78
12	脱空	K37+929.13	K37+930.07	0.33	0.43	0.94

左拱腰病害检测明细表

病害序号	病害类型	起始位置	终止位置	起始深度 (m)	终止深度 (m)	病害尺寸 (m)
1	脱空	K37+716.78	K37+718.86	0.50	0.59	2.08
2	脱空	K37+729.59	K37+732.27	0.46	0.61	2.68
3	脱空	K37+740.93	K37+743.99	0.42	0.63	3.06
4	脱空	K37+752.07	K37+760.81	0.44	0.69	8.74
5	脱空	K37+774.72	K37+779.62	0.43	0.64	4.90
6	脱空	K37+841.61	K37+843.97	0.46	0.67	2.36
7	脱空	K37+894.77	K37+895.47	0.37	0.48	0.70
8	脱空	K37+926.38	K37+928.72	0.31	0.45	2.34

二衬厚度缺陷检测表（里程:k37+700~855 ， k37+875~940）

拱顶厚度不足检测明细表

序号	起始位置	终止位置	最小深度 (m)	设计深度 (m)	缺陷长度 (m)
1	K37+772.59	K37+773.10	0.35	0.40	0.51
2	K37+775.95	K37+776.68	0.34	0.40	0.73
3	K37+789.47	K37+793.39	0.20	0.40	3.92
4	K37+794.47	K37+794.97	0.30	0.40	0.5
5	K37+807.02	K37+811.45	0.22	0.35	4.43
6	K37+817.01	K37+819.46	0.27	0.35	2.45
7	K37+821.66	K37+822.20	0.30	0.35	0.54
8	K37+833.53	K37+837.06	0.29	0.35	3.53
9	K37+840.06	K37+842.22	0.19	0.35	2.16
10	K37+844.90	K37+847.19	0.28	0.40	2.29
11	K37+914.03	K37+917.39	0.23	0.30	3.36
12	K37+937.89	K37+939.08	0.26	0.30	1.19

右拱腰厚度不足检测明细表

序号	起始位置	终止位置	最小深度	设计深度	缺陷长度
----	------	------	------	------	------

			(m)	(m)	(m)
1	K37+704.00	K37+707.30	0.37	0.40	3.3
2	K37+708.50	K37+708.92	0.39	0.40	0.42
3	K37+716.14	K37+717.52	0.37	0.40	1.38
4	K37+742.61	K37+743.41	0.30	0.35	0.8
5	K37+747.80	K37+749.76	0.31	0.35	1.96
6	K37+774.23	K37+776.75	0.32	0.35	2.52
7	K37+796.92	K37+797.50	0.29	0.35	0.58
8	K37+800.04	K37+800.40	0.29	0.35	0.36
9	K37+803.52	K37+805.62	0.24	0.35	2.1
10	K37+806.60	K37+809.76	0.22	0.35	3.16
11	K37+819.52	K37+823.56	0.23	0.35	4.04
12	K37+824.68	K37+826.38	0.28	0.35	1.7
13	K37+841.74	K37+844.30	0.23	0.35	2.56
14	K37+875.98	K37+882.02	0.25	0.35	6.04
15	K37+883.34	K37+884.24	0.28	0.35	0.9
16	K37+898.87	K37+899.27	0.30	0.35	0.4
17	K37+916.48	K37+916.78	0.25	0.30	0.3

左拱腰厚度不足检测明细表

序号	起始位置	终止位置	最小深度 (m)	设计深度 (m)	缺陷长度 (m)
1	K37+733.40	K37+736.42	0.37	0.45	3.02
2	K37+738.23	K37+740.00	0.38	0.45	1.77
3	K37+744.11	K37+745.77	0.35	0.40	1.66
4	K37+761.57	K37+762.03	0.38	0.40	0.46
5	K37+763.47	K37+764.07	0.37	0.40	0.6
6	K37+766.80	K37+771.32	0.34	0.40	4.52

7	K37+771.78	K37+773.38	0.35	0.40	1.6
8	K37+777.13	K37+777.99	0.36	0.40	0.86
9	K37+778.16	K37+778.60	0.37	0.40	0.44
10	K37+791.45	K37+793.33	0.33	0.35	1.88
11	K37+794.53	K37+796.03	0.33	0.35	1.5
12	K37+807.64	K37+811.14	0.30	0.35	3.5
13	K37+833.85	K37+835.95	0.26	0.35	2.1
14	K37+837.90	K37+841.04	0.28	0.35	3.14
15	K37+879.76	K37+880.50	0.27	0.30	0.74
16	K37+890.82	K37+891.88	0.25	0.30	1.06
17	K37+914.69	K37+917.95	0.19	0.30	3.26
28	K37+929.75	K37+931.09	0.23	0.30	1.34