

某大桥
pm1-pm6
波纹管线形检测
报告

北京同度工程物探技术有限公司

2013年3月13日

TDEG-北京同度

某市某大桥
pm1-pm6
波纹管线形检测报告

委托单位：中交二航局某市某大桥项目部

项目负责：贾 超

技术负责：赵永贵

参加人员：贾 超 王成

报告编写：王 成

报告审核：赵永贵

承担单位：北京同度工程物探技术有限公司

报告提交：2013年3月

1、工程概况及检测背景

某市某大桥西起长望路与银杉路交汇处，向东跨越观沙岭路、潇湘大道、滨江景观道、某、某大道，东至芙蓉北路。全长 3.575 公里，

某市某大桥项目河西岸上引桥 PM01~PM06 上部结构为五跨一联预应力混凝土连续箱梁，跨径布置为 (30+32+45+32+30) m。其中 PM06~PM03 桥宽 17.5m，PM03~PM01 桥宽从 17.5m 变化至 34.0m。箱梁混凝土标号为 C50。PM01~PM06 底板整联通长预应力钢束共有 B5a、B5b、B5c、B5d 四种类型共 8 束，单根长度分别如下表。预应力孔道内径均为 90mm，采取塑料波纹管成孔。每道钢束有 12 根 Φ s15.2 高强度低松弛钢绞线， $f_{pk}=1860\text{MPa}$ ， $EP=1.95\times 10^5\text{MPa}$ 。

钢束编号	B5a	B5b	B5c	B5d
单束长度 (m)	163.51	163.618	163.663	164.09

该联现浇箱梁采取从 PM06 向 PM01 逐跨浇筑，底板通长钢束的塑料波纹管根据浇筑节段分段安装，钢绞线采取后穿。在五跨一联现浇箱梁施工完成，进行底板通长束张拉时，发现实测伸长量与设计伸长量相比有一定的偏差。现在设计要根据这 8 束孔道的实际线形进行箱梁结构的验算和评估。

箱梁底板上、下各布一层 Φ 16 钢筋网片，网格间距 15cm。混凝土箱梁标准断面的底板厚 25cm，孔道中心距底板底面 12cm。现场实际箱梁底板实际厚度与设计厚度有偏差，孔道中心距底板顶面距离自 12cm 至 30cm 不等。

2、检测区域及检测内容

确定 pm1~pm6，5 跨一联箱梁底板 B5a、B5b、B5c、B5d 四种类型共 8 孔道的实际位置，检测位置选择为孔道分布的箱梁底板。由于检测位置位于箱梁内部，为便于工作开展，从箱梁底板顶进行检测。

检测内容包括标注孔道的现场实际水平位置和所标注点位的测量工作两部分。

3、技术标准

- (1) 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204-2002
- (2) 《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1-2004

4、地质雷达检测原理

地质雷达（Ground Penetrating Radar，简称 GPR）方法是一种用于确定目标体介质分布的广谱电磁波技术。其原理是利用天线向目标体发射电磁脉冲，并接收由目标体内不均匀界面的反射回波。电磁波在介质中传播时，其路径、电磁场强度与波形将随所通过介质的电磁性质（如介电常数 ϵ ）及几何形态的变化而变化。根据接收到回波的时间、幅度和波形等信息，可判定介质的结构与埋藏体的位置与形态。现雷达技术已被成功地应用于工程检测、勘察等诸多领域。其工作原理如图 1 所示。

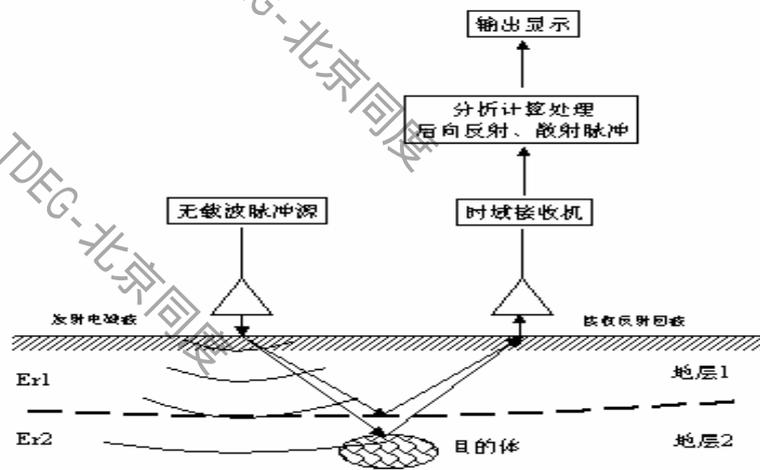


图 1 地质雷达工作原理示意图

脉冲波的走时为： $t = \sqrt{4h^2 + x^2} / v$

式中： t — 脉冲波走时（ns， $1\text{ns} = 10^{-9}\text{s}$ ）， h — 目标深度（m），

x — 发射天线（T）与接收天线（R）的距离（m）， v — 电磁波速度（m/ns）。

常见的岩土和混凝土为非铁磁性介质，电磁波的传播速度为：

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}$$

式中： $c = 0.3\text{m/ns}$ （光速） ϵ — 介质相对介电常数

当发射天线（T）和接收天线（R）相距很近时，探测目标深度的计算公式为：

$$h = \frac{t}{2} \cdot v$$

本次检测使用的雷达配备 1.6GHz 天线，见图 2。

检测时沿测线移动天线，进行连续扫描，实时显示监控，各测线记录单独成文件。



图 2 RIS-K2 主机和 1.6GHz 天线

钢筋混凝土中电磁波传播速度为约 0.12m/ns，此次检测目标为确定波纹管的水平位置，对埋深探测的精度未做要求，故未做电磁波波速标定，依照经验值设定。波纹管埋深为 125~300mm。雷达设置探测深度一般定为被测目标厚度的 1.5 倍左右。数据采集方式为测距轮模式，为满足横向分辨率，雷达扫描速率为 5 毫米/扫描线，即 200 扫描线/m。为满足纵向分辨率，雷达采样设置为采样 8ns 长度信号，采样 512 个样点/扫描线。

5、工作布置及完成工作量

此次需要检测的 8 束波纹管，雷达测线布置垂直波纹管走向，测线间距约 1 米，按照现场实际工作条件略作调整。测线布置见附图 1：pm1~pm6 孔道线形雷达测线布置图。

工作共完成雷达测线 195 条，采集雷达扫描图像 550 幅，累积扫描长度大于 1500 米。确定孔道位置点位 540 个，有效孔道位置点位大于 500 个，并勾画出 8 束孔道的位置。

6、判读依据及检测结果

波纹管的钢绞线为金属材料，是良导体，对雷达波有很强的负反射，在雷达图像上表现为淡蓝色或深蓝色双曲线同相轴；均匀的混凝土基本无明显反射波，图像中无强烈的反射同相轴，以淡绿色或深绿色或黄绿色为主。根据这些特征可以确定钢绞线的埋深与位置。下列几幅图像是一些典型实例。

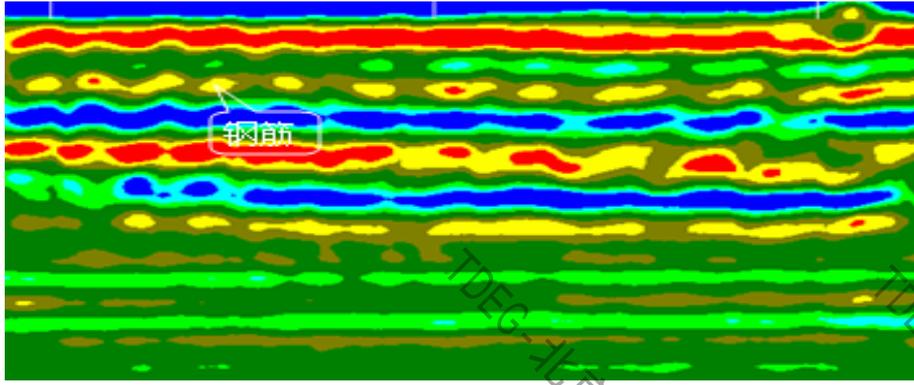


图3 混凝土中钢筋网雷达图像

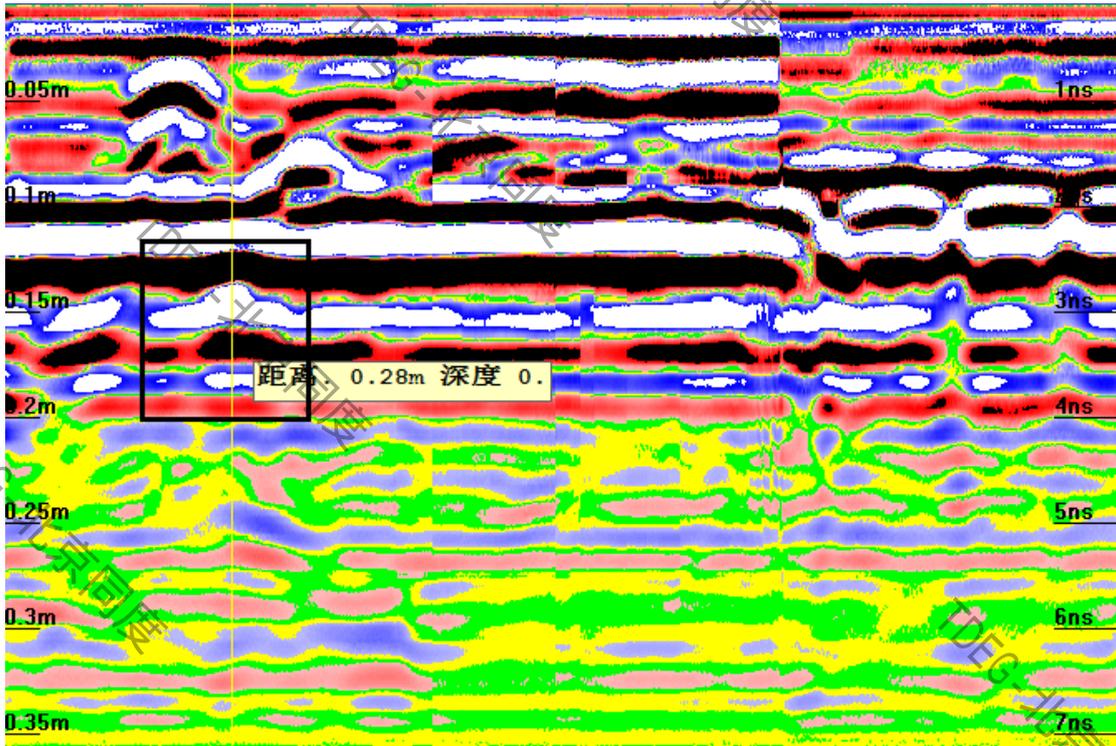


图4 波纹管钢绞线

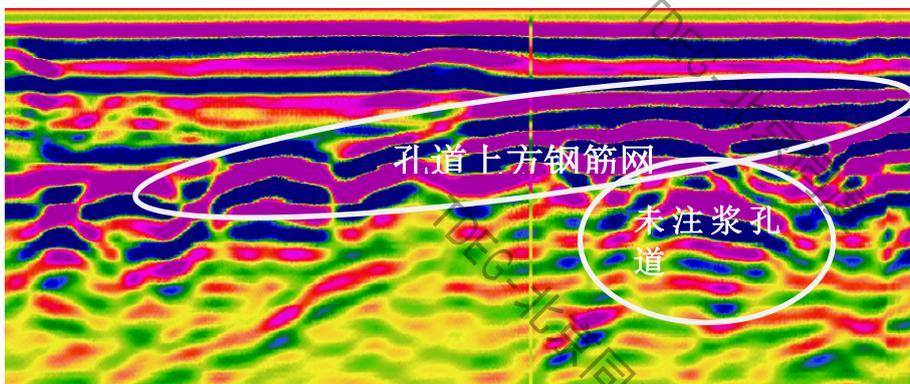


图5 钢筋网及未注浆孔道雷达图像

根据地质雷达检测结果在箱梁上实际标注点位，并测量。得到了 B5a、B5b、

B5c、B5d 四种类型共 8 束孔道的实际线性（见附图 1：现场实测记录，见附图 2：pm1~pm6 孔道实测线性图）。底板预应力检测图如附图 3；根据实际线性，计算 PM01~PM06 底板预应力束线形曲线参数及伸长量结果如表 1 所示。

表 1：PM01~PM06 底板预应力束线形曲线参数及伸长量表

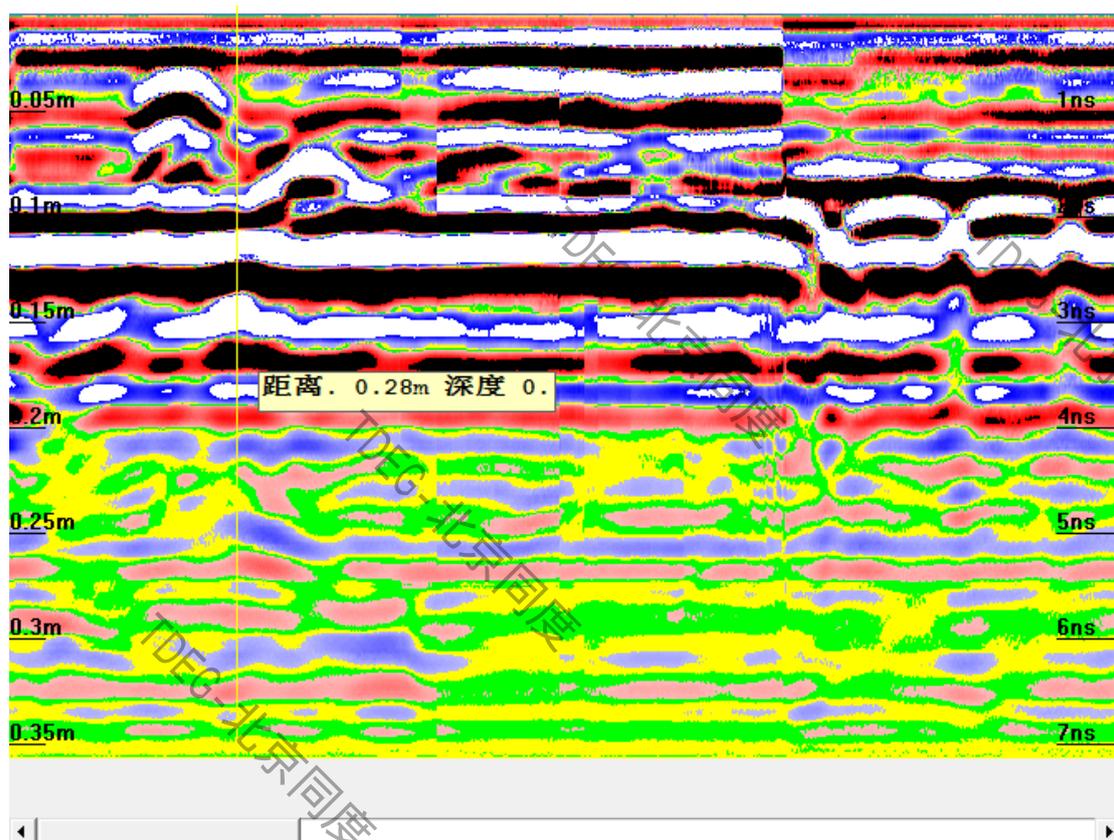
	曲线段序号	夹角 a	$\sin(a/2)$	$E \times \sin(a/2)$	R	分段长度 L
下游 B5d	1	175.2	0.99912283	20.18228117	23008.4	1928
	2	173.8	0.99853667	16.17629406	11054.4	1196
	3	168.8	0.9952274	25.47782144	5338.4	1044
	4	170.9	0.99684849	38.77740609	12304.4	1954
	5	175.3	0.99915899	9.392094535	11167.7	916
	6	174.5	0.99884839	22.07454934	19168.4	1840
	7	177	0.99965732	19.9931465	58344.3	3055
	8	177.3	0.99972243	19.9944486	72034.0	3395
	9	167.5	0.99405634	48.70876057	8195.1	1788
	10	164.7	0.99109975	84.24347853	9465.3	2528
	11	171.4	0.99718513	37.09528697	13178.3	1978
	12	169	0.9953962	33.84347074	7351.2	1411
	13	172.2	0.99768428	7.981474231	3446.6	469
	14	174.9	0.99900978	18.2818789	18462.4	1643
	15	166.4	0.99296551	137.6250194	19564.3	4644
	16	169.3	0.99564371	65.91161364	15130.2	2826
	17	174	0.99862953	9.986295348	7286.8	763
	18	176.7	0.99958537	19.99170736	48215.6	2777
	19	171.6	0.99731448	114.7908963	42744.3	6267
下游 B5c	1	170.8	0.99677888	9.469399345	2939.8	472
	2	176	0.99939083	8.994517443	14765.1	1031
	3	177.1	0.99967979	6.198014686	19356.0	980
	4	176.8	0.99961012	12.29520441	31535.5	1761
	5	176.6	0.99955986	8.896082755	20211.9	1199
	6	172.8	0.99802673	13.07415014	6625.6	833
	7	173	0.9981348	12.8759389	6903.2	843
	8	177.3	0.99972243	24.3932273	87881.4	4141
	9	175.7	0.99929604	42.86979993	60897.7	4570
	10	167	0.99357186	36.66280147	5703.5	1294
	11	165.1	0.99155839	72.28460659	8562.9	2227
	12	169.9	0.99611826	36.35831653	9366.5	1651
	13	166.1	0.99265212	33.15458097	4512.1	1095
	14	168.9	0.99531218	18.91093139	4034.1	782
	15	170.2	0.9963453	8.967107666	2453.6	420

	16	172	0.99756405	19.95128101	8190.4	1144
	17	175.7	0.99929604	17.68753983	25125.6	1886
	18	175.7	0.99929604	19.18648388	27254.9	2045
	19	163.4	0.98952579	74.6102445	7123.2	2064
	20	152.5	0.97134207	85.18669952	2972.5	1427
	21	168.7	0.99514186	29.85425592	6145.2	1212
	22	175.34	0.99917325	137.4862385	166296.3	13525
下游 B5b	1	175.8	0.99932839	8.494291347	12647.7	927
	2	171.7	0.99737801	11.76906052	4488.6	650
	3	175.9	0.99935999	13.99103987	21860.7	1564
	4	176.3	0.99947877	5.097341721	9779.4	632
	5	175.15	0.99910446	9.991044633	11156.5	944
	6	173.4	0.99834182	17.77048434	10716.8	1234
	7	174.3	0.99876313	19.97526255	16149.8	1607
	8	174	0.99862953	29.25984537	21350.3	2236
	9	174.3	0.99876313	21.97278881	17764.8	1767
	10	172.6	0.99791562	5.887702148	2824.7	365
	11	171.4	0.99718513	15.95496214	5668.1	851
	12	176.2	0.99945022	28.58427618	51991.8	3448
	13	177.4	0.99974261	9.997426093	38841.4	1763
	14	175.1	0.99908591	10.6902192	11694.9	1000
	15	170.3	0.99641946	58.09125435	16224.1	2747
	16	173.6	0.99844076	64.69896152	41494.0	4635
	17	176.1	0.9994209	7.295772585	12598.5	858
	18	171.3	0.99711932	33.30378537	11561.1	1755
	19	173.6	0.99844076	39.93763057	25613.6	2861
	20	173.7	0.9984891	34.94711841	23130.0	2543
	21	173.3	0.9982912	20.56479877	12034.7	1407
	22	176.6	0.99955986	19.9911972	45420.1	2695
下游 B5a	1	164.5	0.9908659	14.07029574	1540.4	417
	2	170.8	0.99677888	22.32784688	6931.7	1113
	3	169.8	0.99604107	29.88123196	7547.8	1344
	4	175.6	0.99926292	9.393071414	12743.6	979
	5	173.1	0.99818769	8.384776623	4626.6	557
	6	174.7	0.9989306	49.94653014	46705.3	4320
	7	171.3	0.99711932	31.60868252	10972.7	1666
	8	170.6	0.99663739	64.78143014	19265.2	3161
	9	175.2	0.99912283	15.98596528	18224.5	1527
	10	171.1	0.99698542	19.3415172	6416.0	997
	11	170.7	0.99670851	19.83449939	6026.0	978
	12	176.1	0.9994209	1.998841804	3451.6	235
	13	171.2	0.99705275	9.870822247	3349.2	514
	14	171.2	0.99705275	14.95579128	5074.5	779

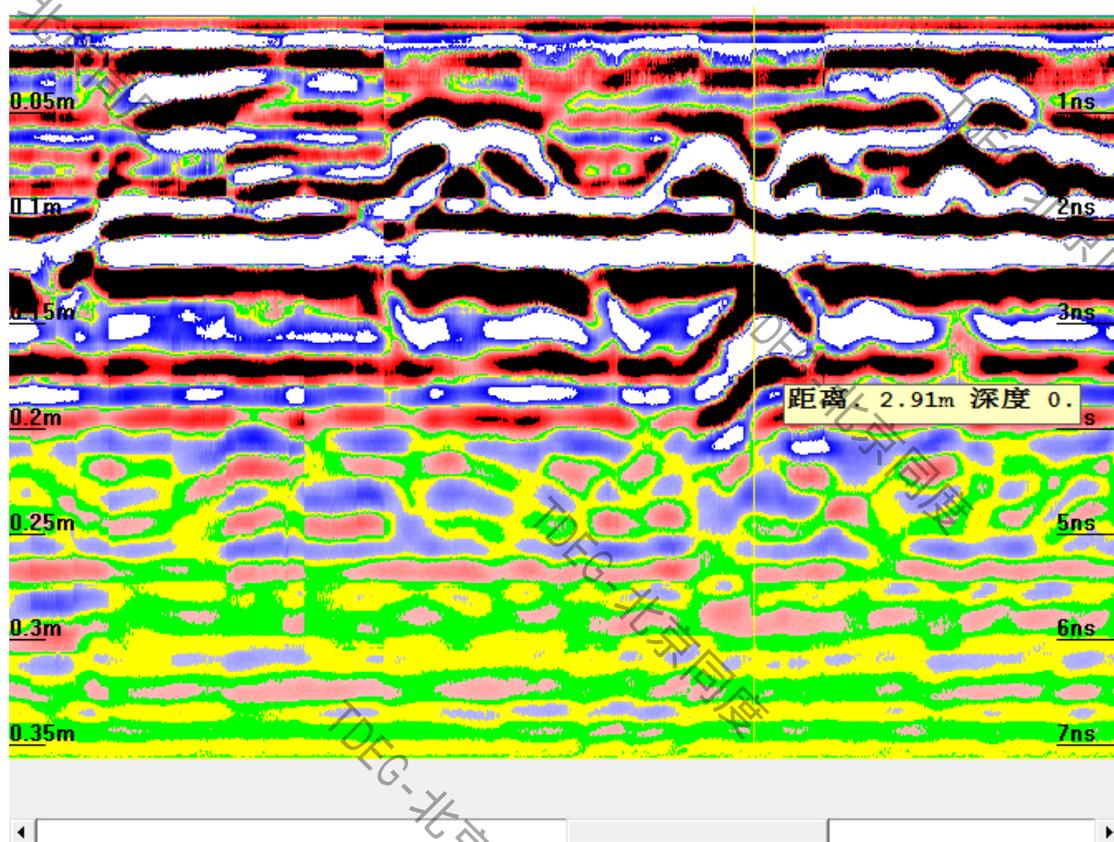
	15	176.3	0.99947877	34.68191327	66538.4	4297
	16	174.8	0.99897057	24.97426424	24260.3	2202
	17	173.8	0.99853667	39.94146681	27294.9	2954
	18	175.3	0.99915899	19.98317986	23761.0	1949
	19	174.9	0.99900978	19.48069063	19673.0	1751
	20	171.2	0.99705275	218.6536686	74189.1	11395
上游 B5d	1	172.5	0.99785892	91.0047338	42504.2	5564
	2	171.3	0.99711932	10.86860062	3772.9	573
	3	172.8	0.99802673	34.93093549	17702.0	2225
	4	170.9	0.99684849	58.21595156	18472.4	2934
	5	171.4	0.99718513	49.85925668	17712.8	2659
	6	175.8	0.99932839	79.9462715	119037.4	8726
	7	175.7	0.99929604	99.92960356	141952.6	10653
	8	175.7	0.99929604	29.97888107	42585.8	3196
	9	169.7	0.99596311	105.3728972	26102.5	4692
	10	171.56	0.99728885	44.87799832	16553.1	2438
	11	172.2	0.99768428	210.2120776	90776.1	12358
上游 B5c	1	176	0.99939083	39.97563308	65622.8	4581
	2	173	0.9981348	15.97015677	8562.2	1046
	3	175.3	0.99915899	13.9882259	16632.7	1364
	4	171.9	0.9975028	28.4288297	11384.3	1609
	5	172.6	0.99791562	29.93746855	14362.8	1855
	6	174.8	0.99897057	14.28527915	13876.9	1259
	7	174.4	0.99880614	93.68801568	78474.7	7670
	8	172.5	0.99785892	63.96275698	29874.1	3911
	9	173.9	0.99858348	59.91500897	42297.4	4503
	10	175.9	0.99935999	57.56313548	89941.1	6436
上游 B5b	1	176.8	0.99961012	17.89302106	45893.1	2563
	2	173	0.9981348	11.97761758	6421.6	785
	3	170.2	0.9963453	18.23311892	4988.9	853
	4	177.3	0.99972243	7.497918227	27012.7	1273
	5	172	0.99756405	17.9561529	7371.3	1029
	6	167.5	0.99405634	24.85140846	4181.2	912
	7	175.4	0.9991944	20.18372678	25054.1	2011
	8	177.7	0.99979858	3.399315167	16876.6	677
	9	171.25	0.99708613	49.85430662	17109.3	2613
	10	172	0.99756405	23.44275518	9623.7	1344
	11	178	0.9998477	23.49642084	154272.3	5385
	12	175.8	0.99932839	19.98656788	29759.4	2181
	13	175.7	0.99929604	19.98592071	28390.5	2131
	14	176.2	0.99945022	199.8900432	363579.2	24113
上游 B5a	1	174.2	0.99871936	53.1318698	41488.4	4200
	2	174.9	0.99900978	26.37385809	26634.2	2371

	3	173.2	0.99823983	49.9119914	28356.3	3365
	4	169.3	0.99564371	31.66146999	7268.0	1357
	5	169.7	0.99596311	34.85870889	8635.0	1552
	6	173.2	0.99823983	97.82750314	55578.4	6596
	7	174.4	0.99880614	74.9104603	62746.3	6133
	8	173.55	0.99841631	25.95882412	16391.4	1845
	9	172.8	0.99802673	49.90133642	25288.6	3178
	10	173.6	0.99844076	17.57255745	11270.0	1259
	11	175.2	0.99912283	17.98421094	20502.5	1718
	12	175.5	0.99922904	18.88542878	24495.9	1924
	13	173	0.9981348	14.97202198	8027.0	981
	14	173.3	0.9982912	21.96240645	12852.5	1503
	15	175	0.99904822	74.92861662	78724.9	6870
	16	172.65	0.99794368	13.97121153	6794.3	872
	17	175.6	0.99926292	11.991155	16268.4	1249
	18	175.9	0.99935999	16.08969585	25139.8	1799
	19	170.56	0.99660872	29.89826172	8816.2	1453
	20	174.9	0.99900978	24.9752444	25221.8	2245
	21	175.1	0.99908591	24.97714766	27324.5	2337
	22	170.9	0.99684849	54.82666671	17396.9	2763
	23	172.4	0.99780147	49.89007341	22692.5	3010
	24	164.3	0.99062903	148.5943544	15856.9	4345
	25	167.7	0.99424483	134.2230524	23322.2	5007

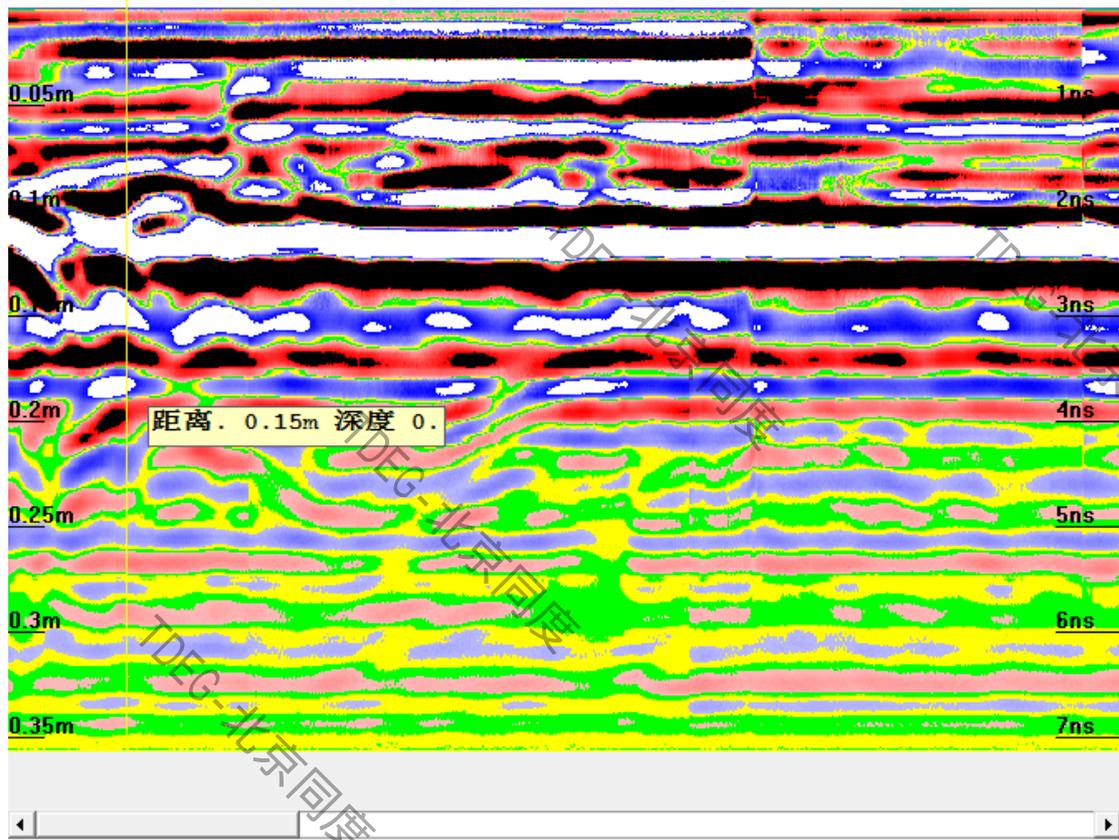
附图 1. 现场实测记录



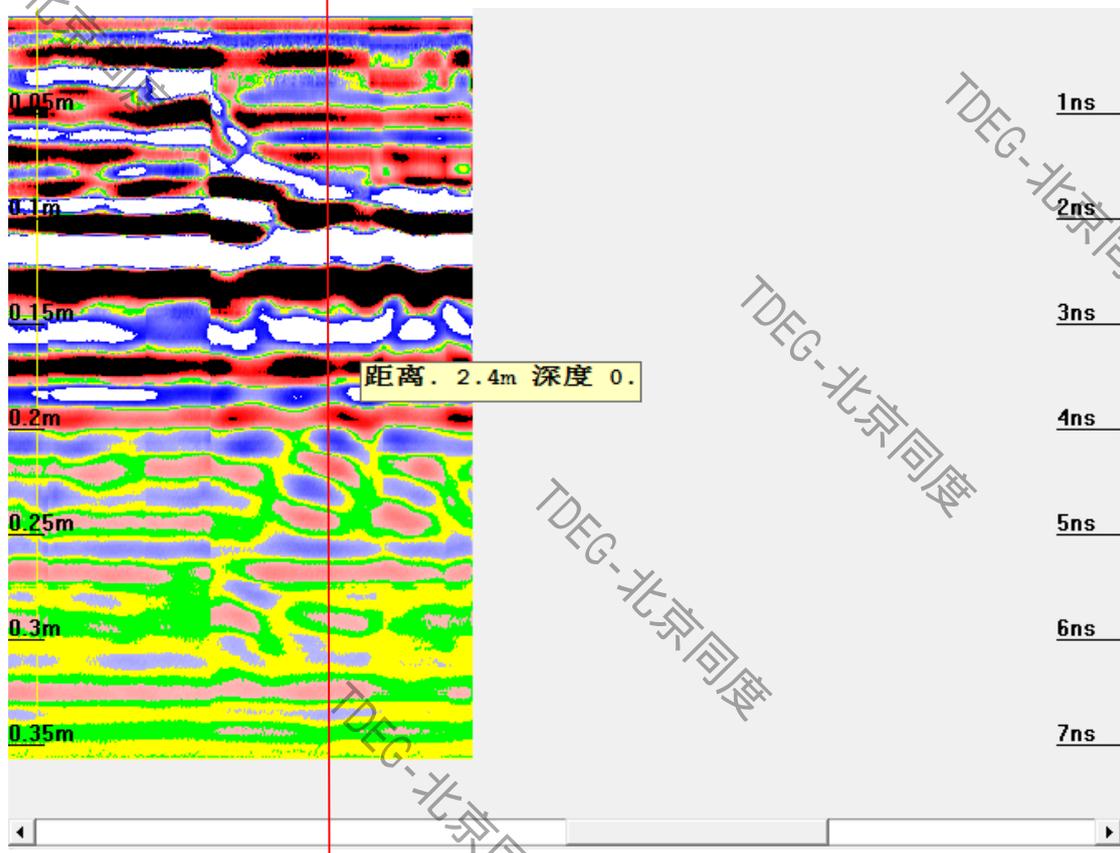
Line122 右侧



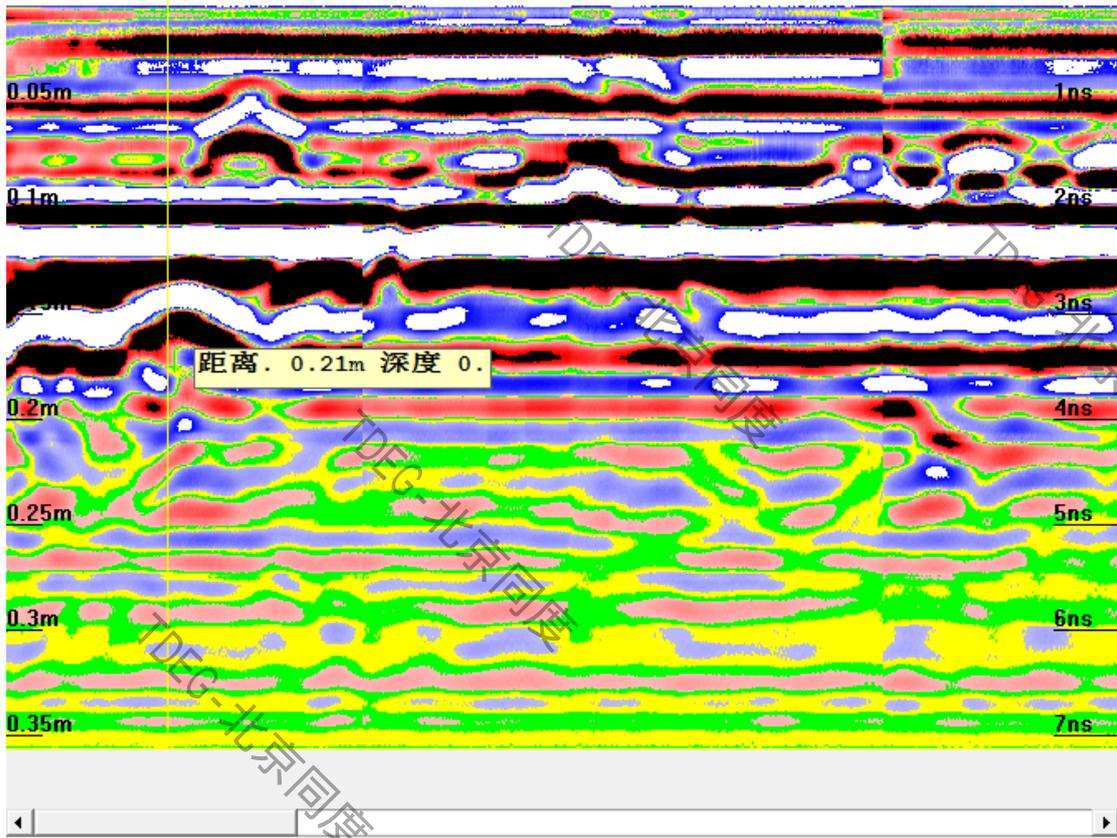
Line 121 左侧



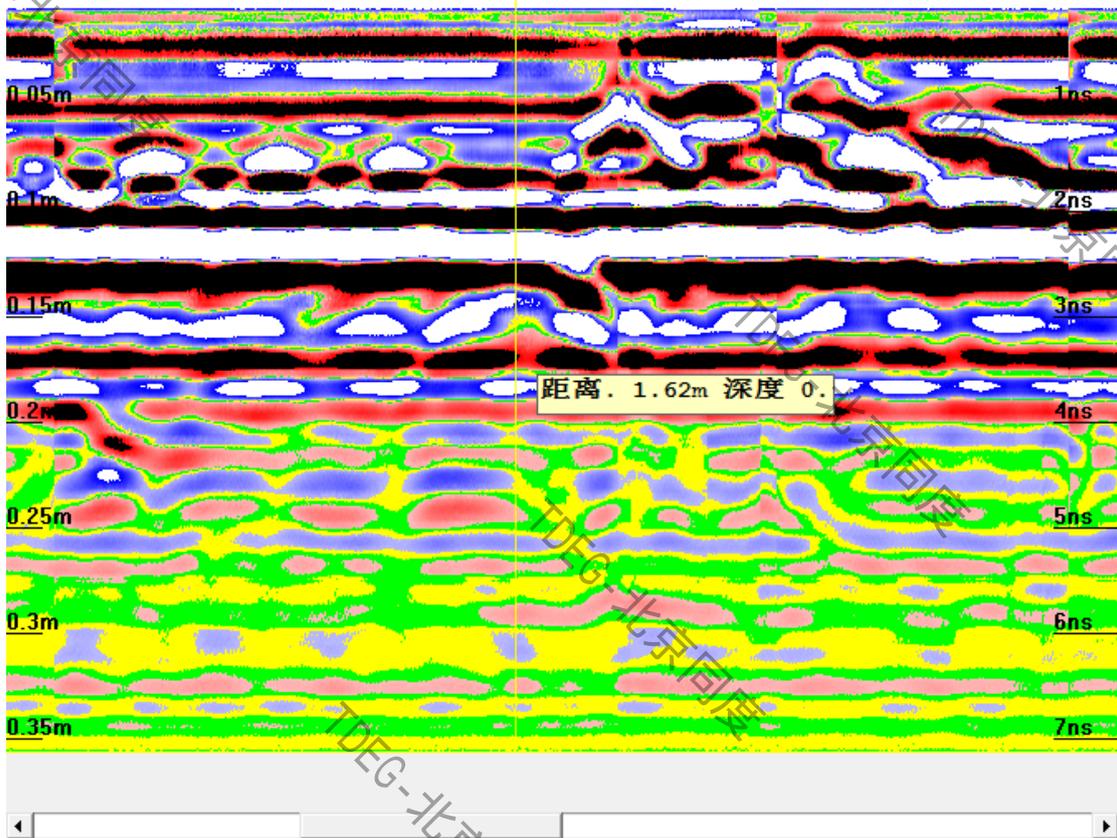
Line121 右侧



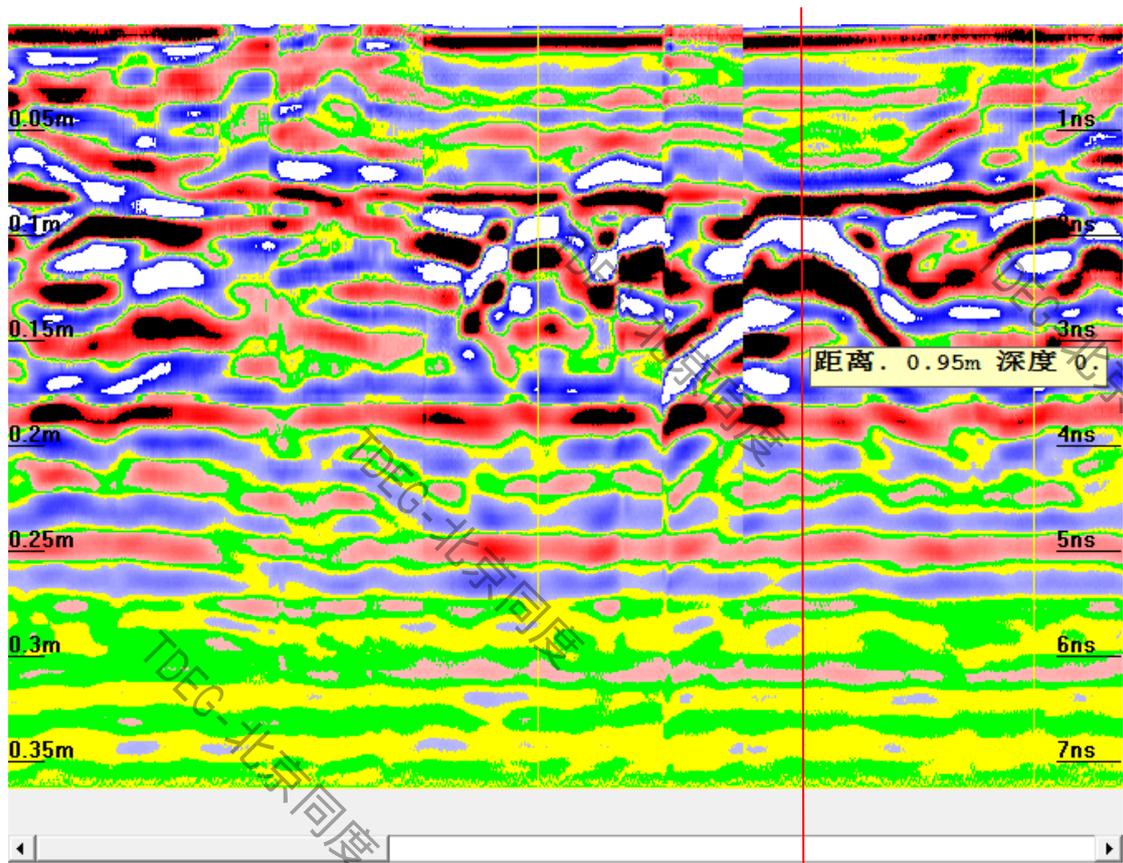
Line119 左侧



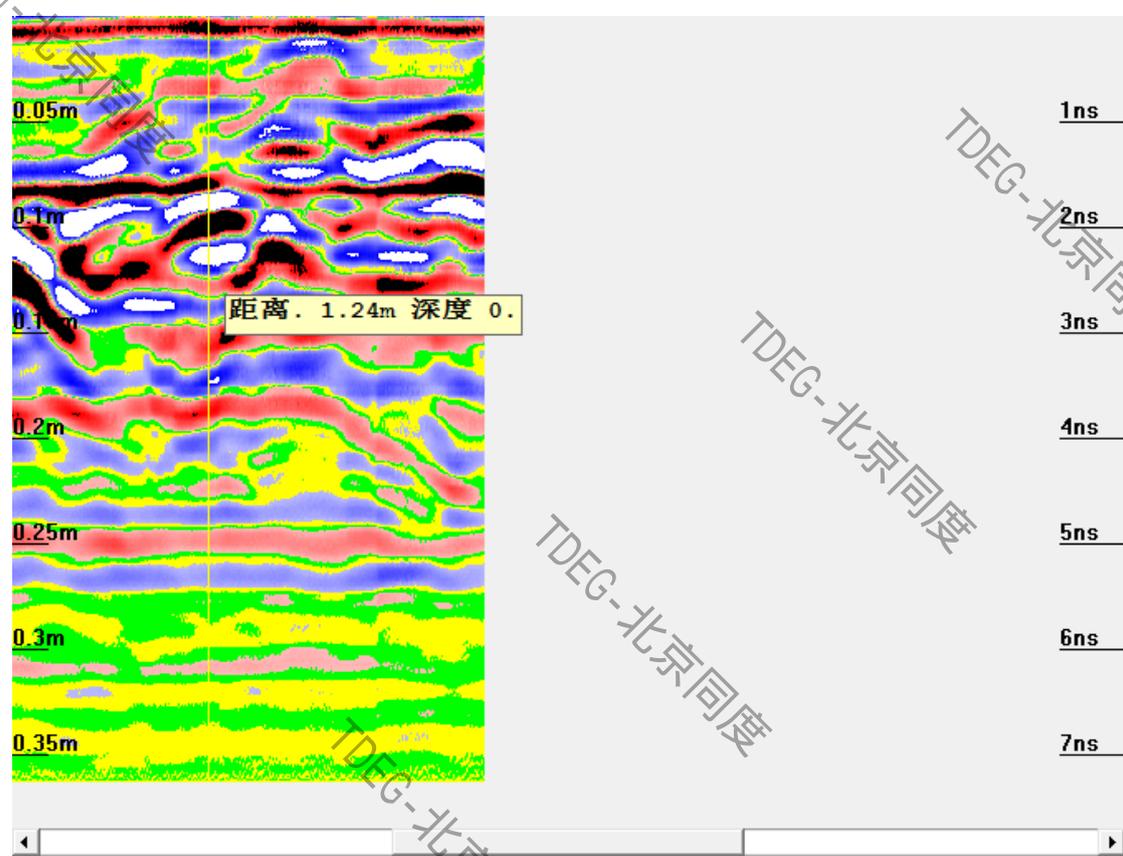
Line119 右侧



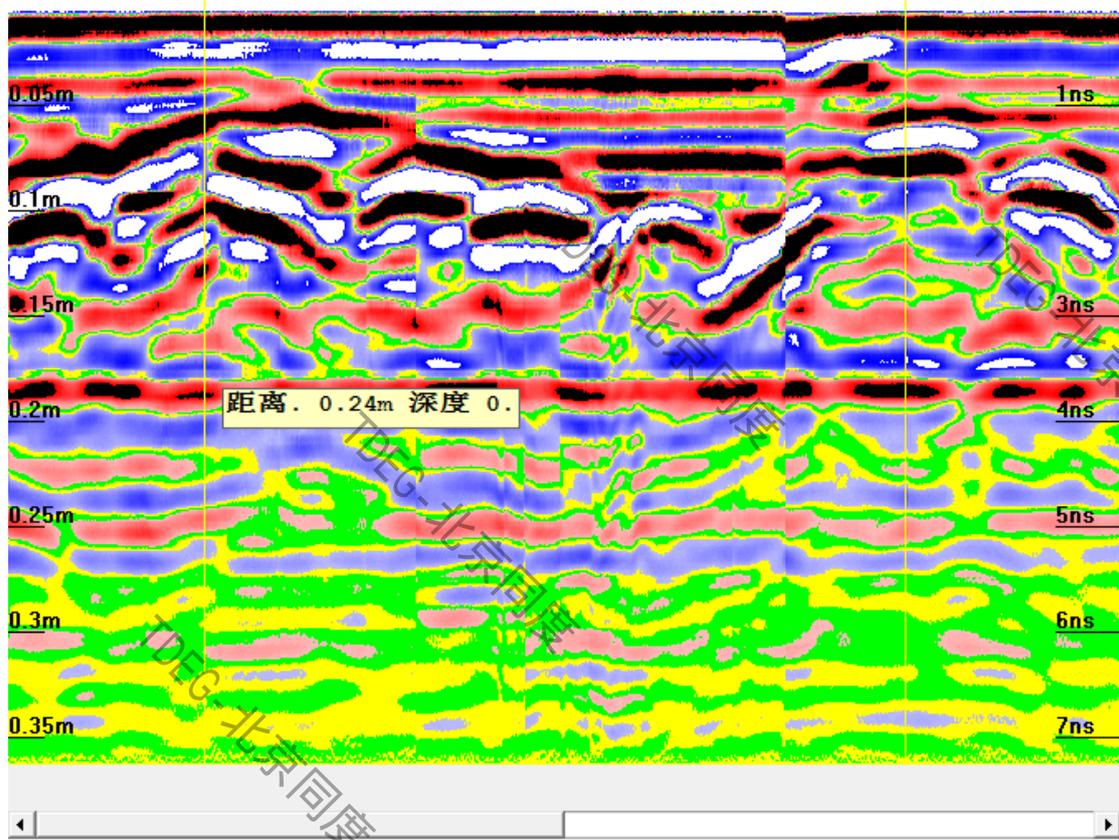
Line95 左侧



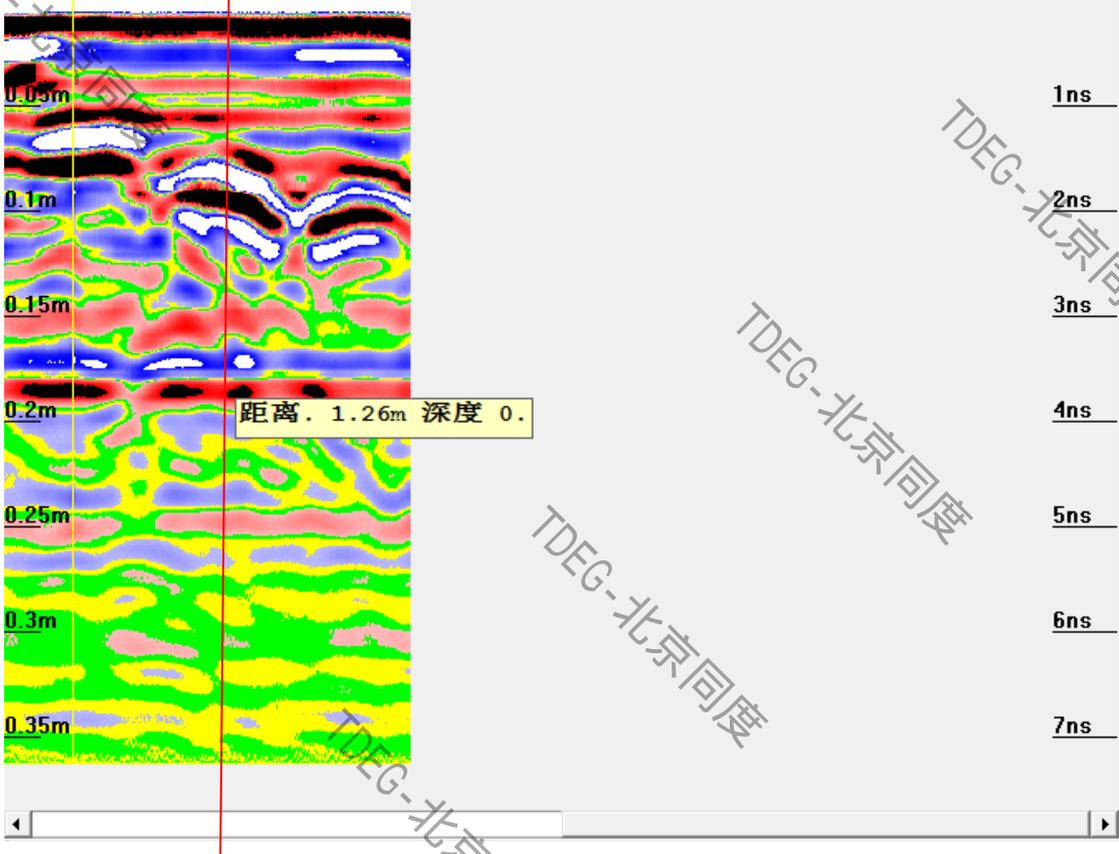
Line95 右侧



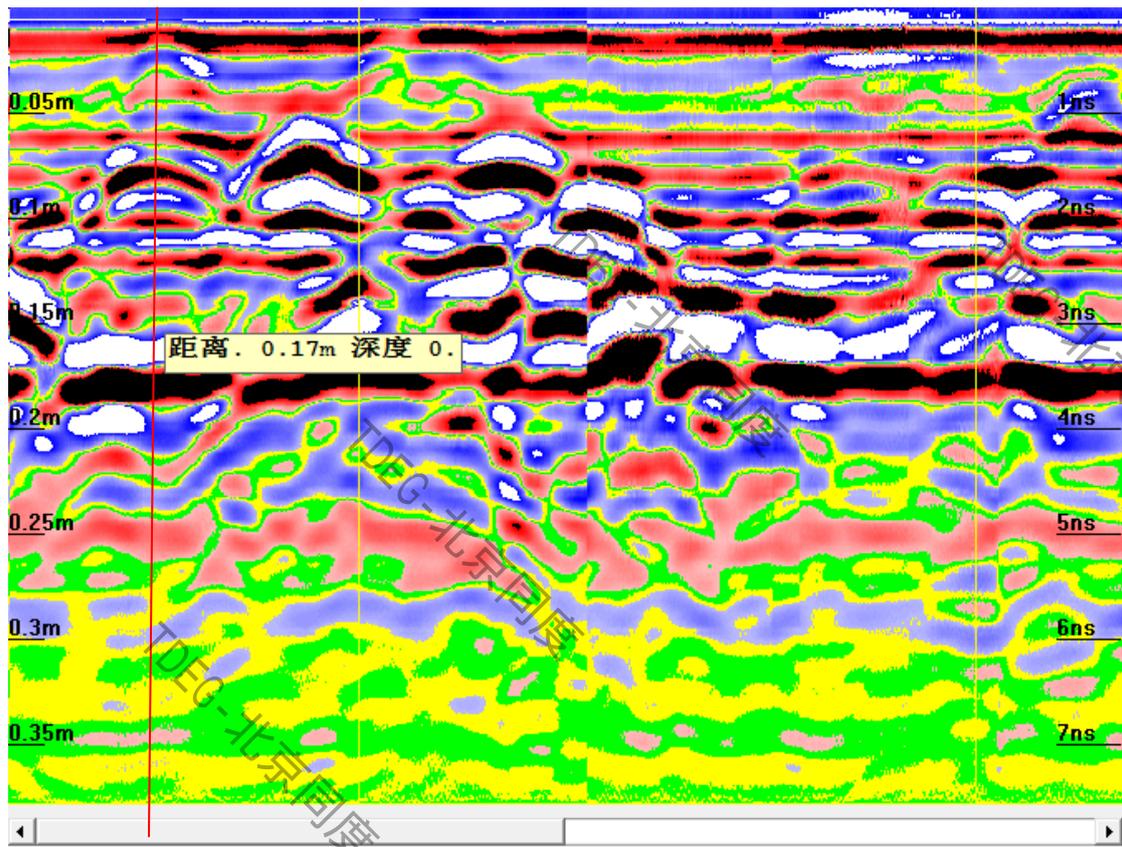
Line98 左侧



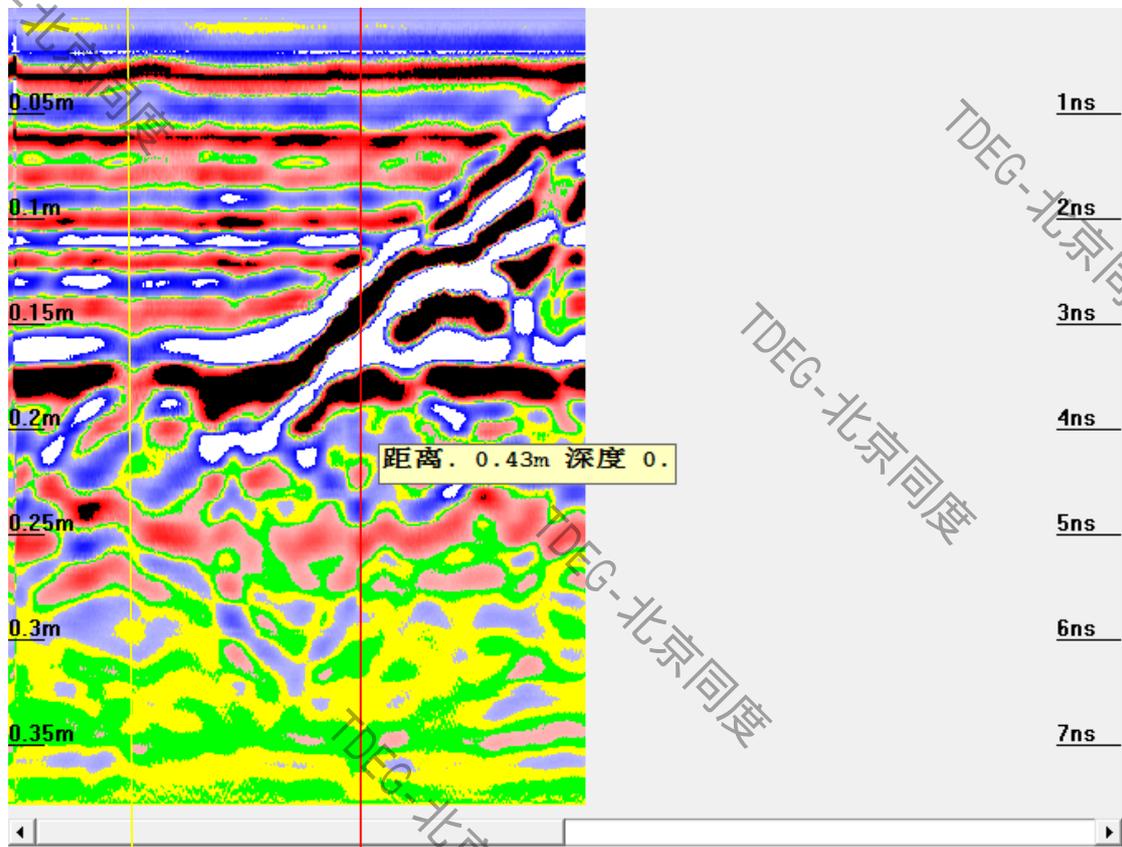
Line98 右侧



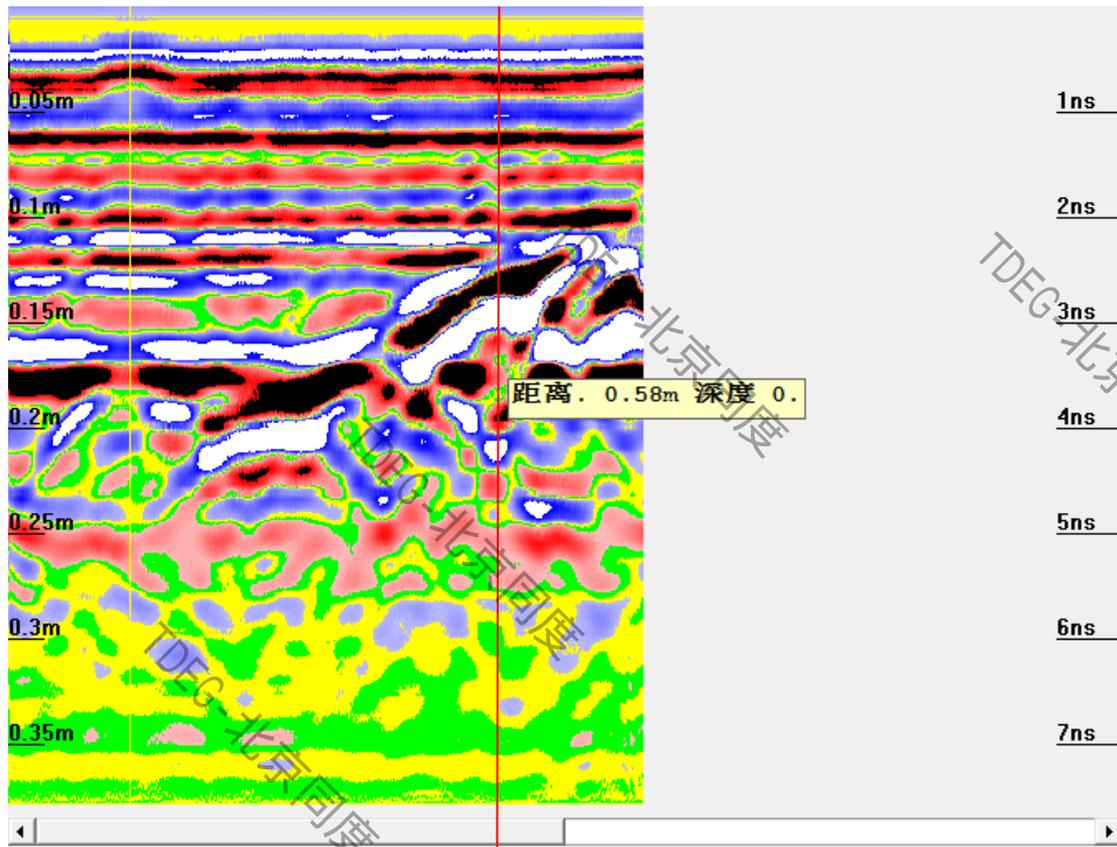
Line51 左侧



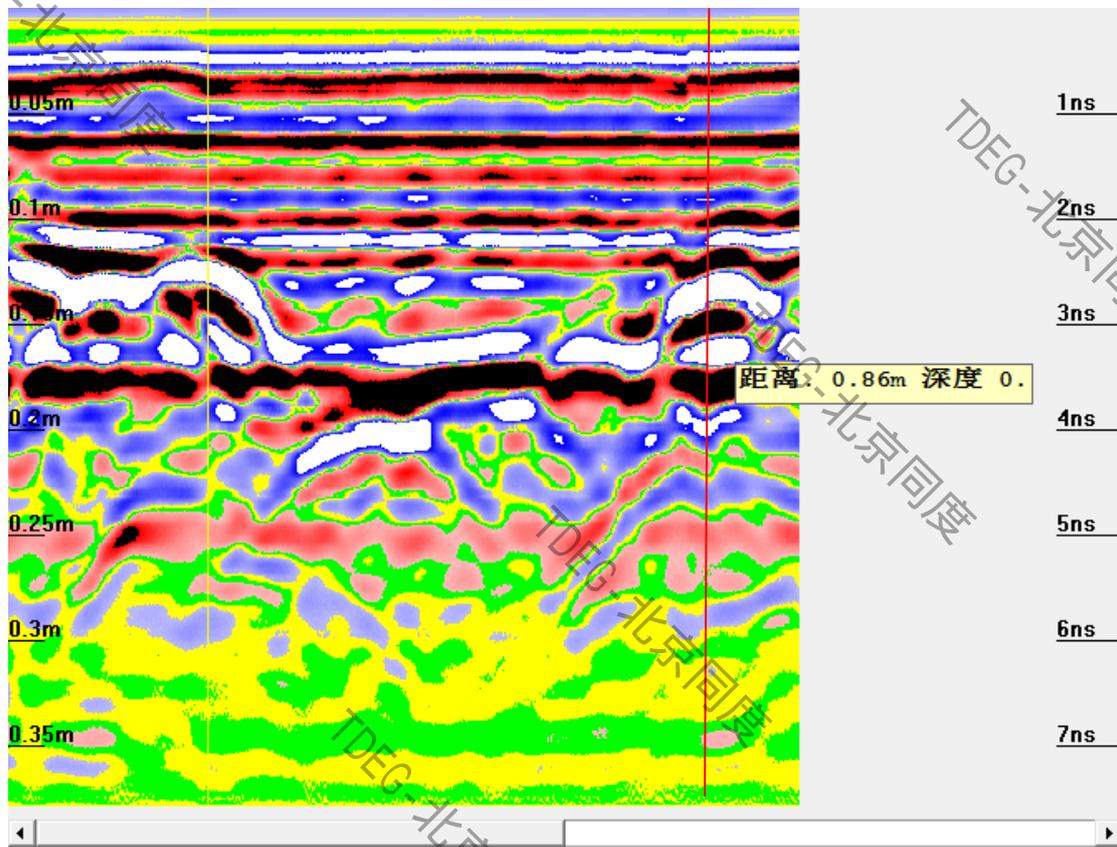
Line55 左侧



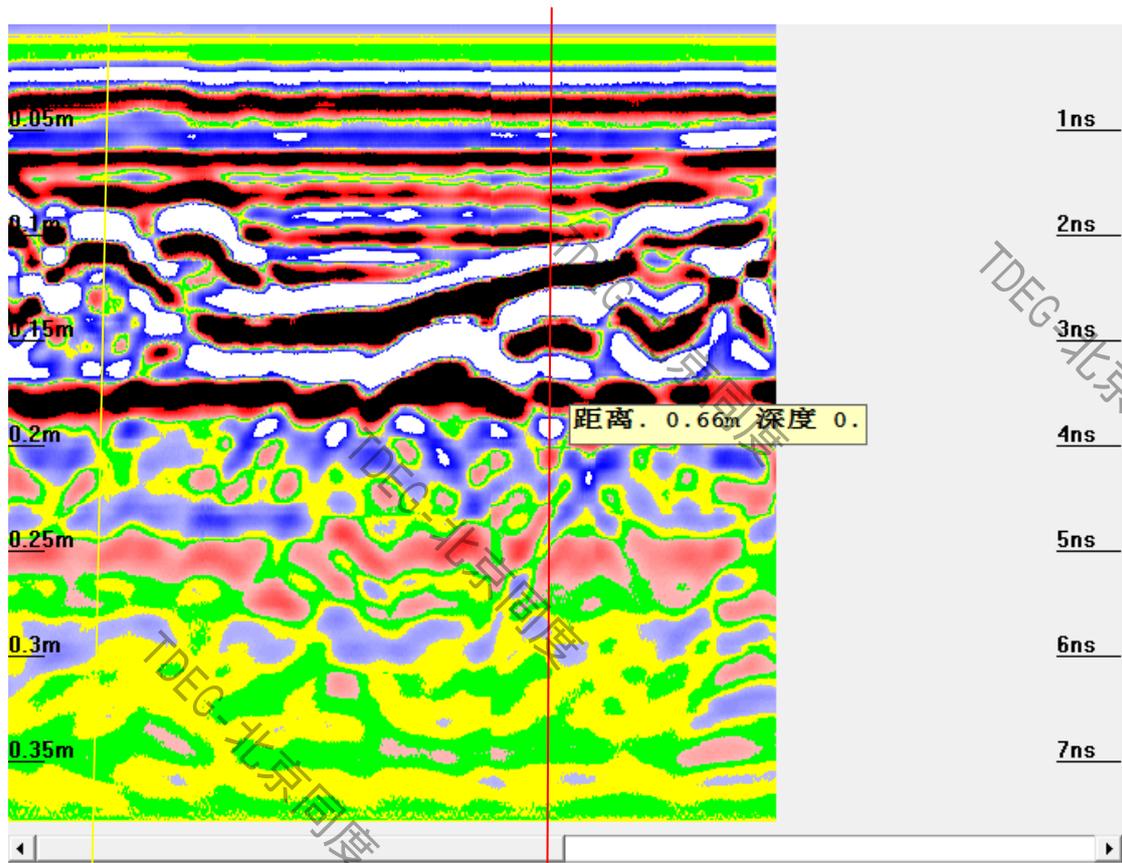
Line56 左侧



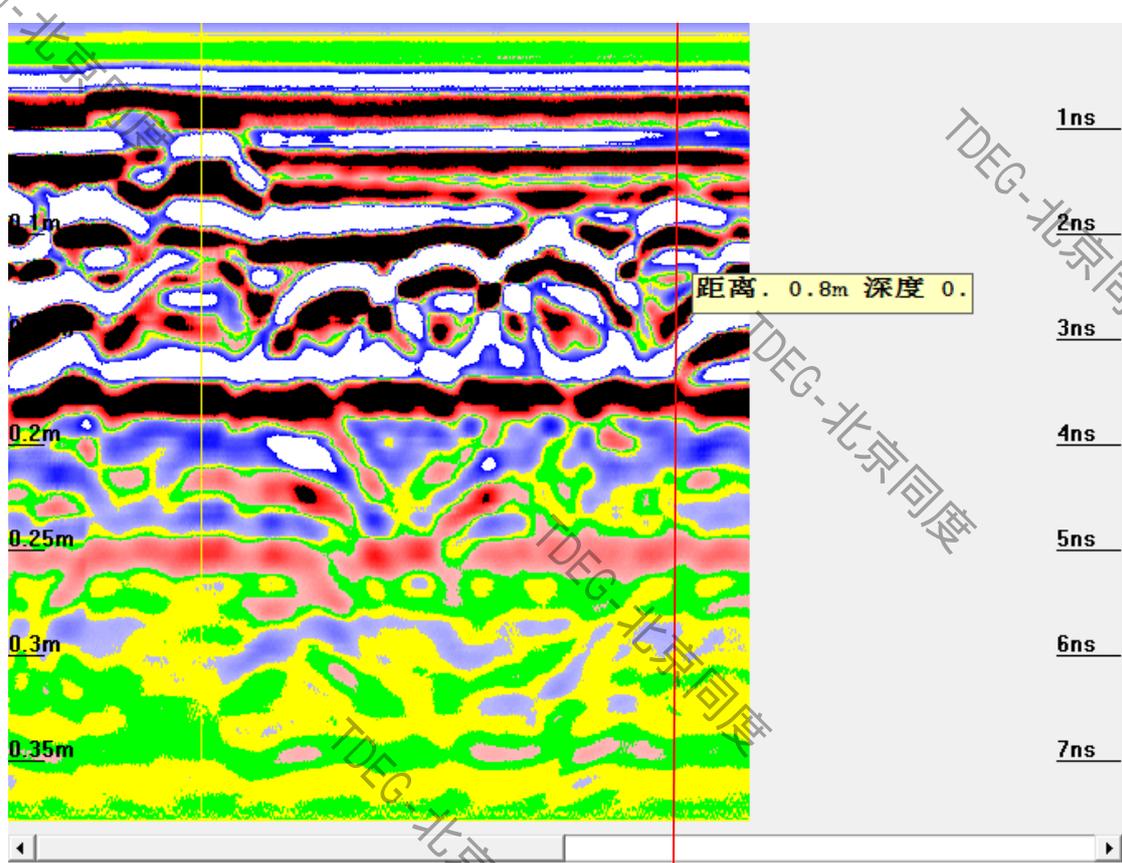
Line57 左侧



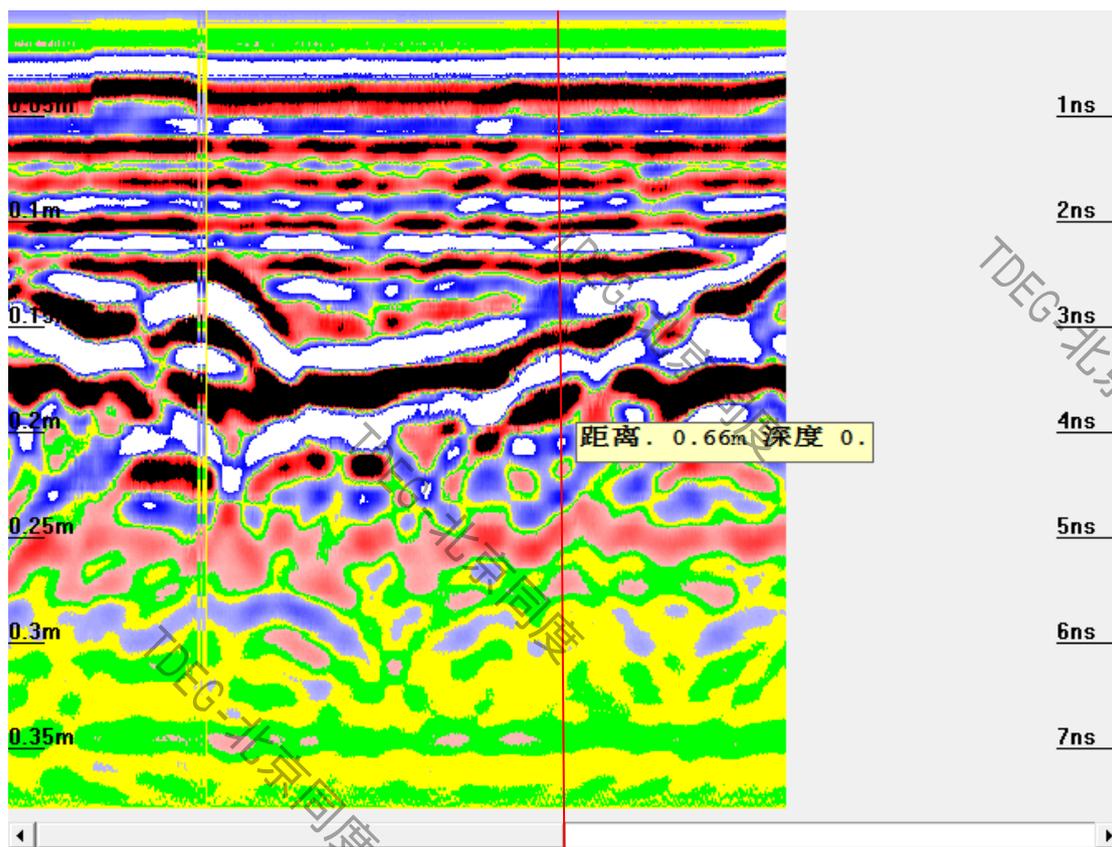
Line58 左侧



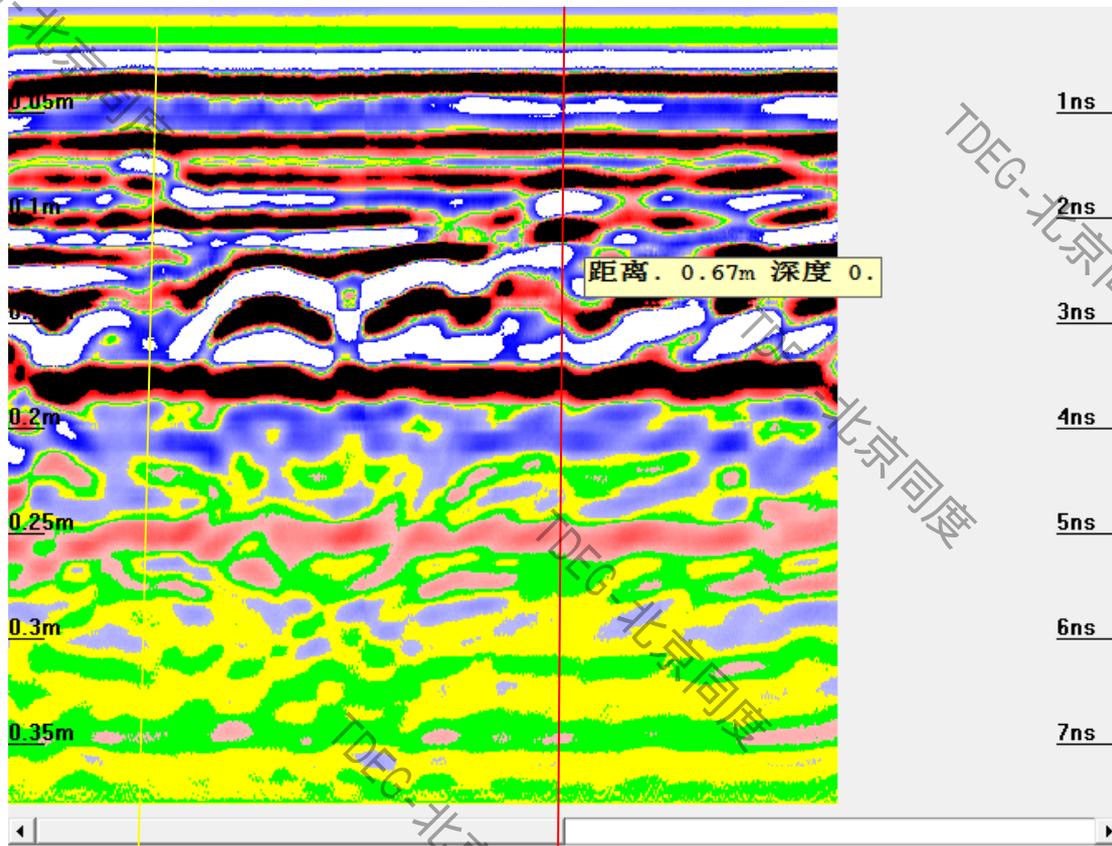
Line59 左侧



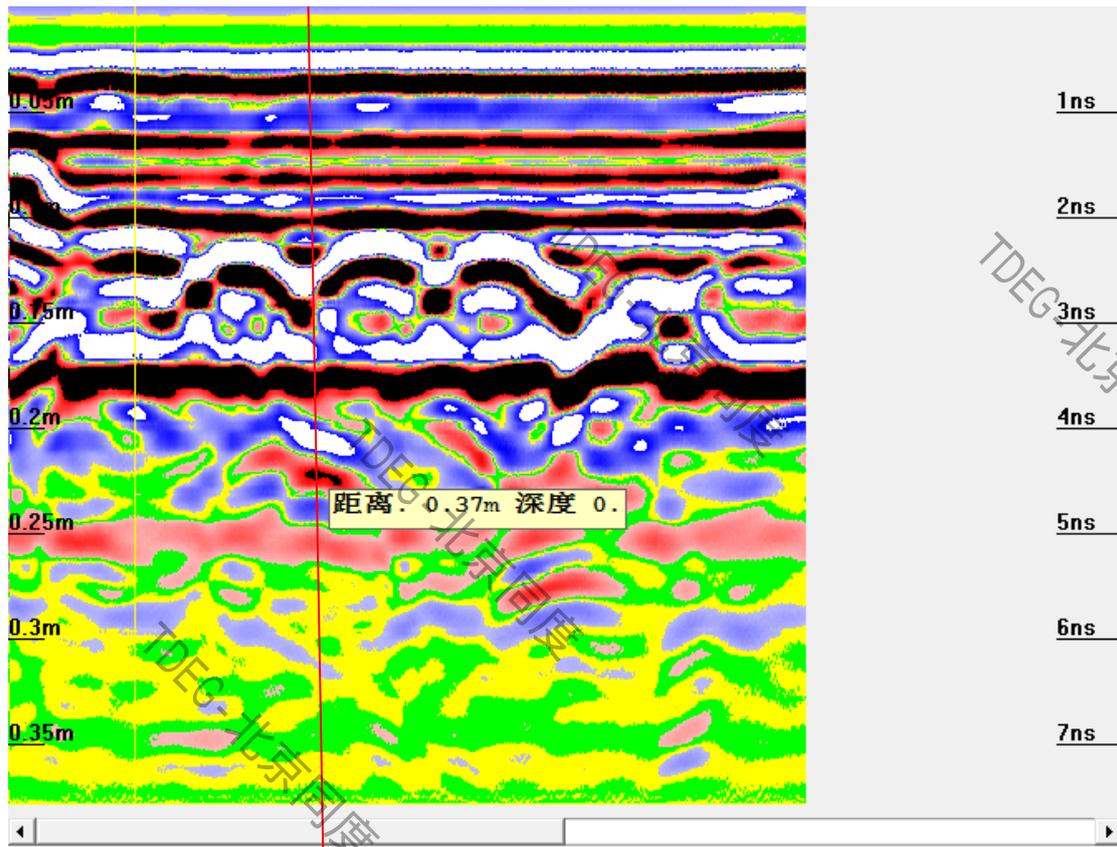
Line 60 左侧



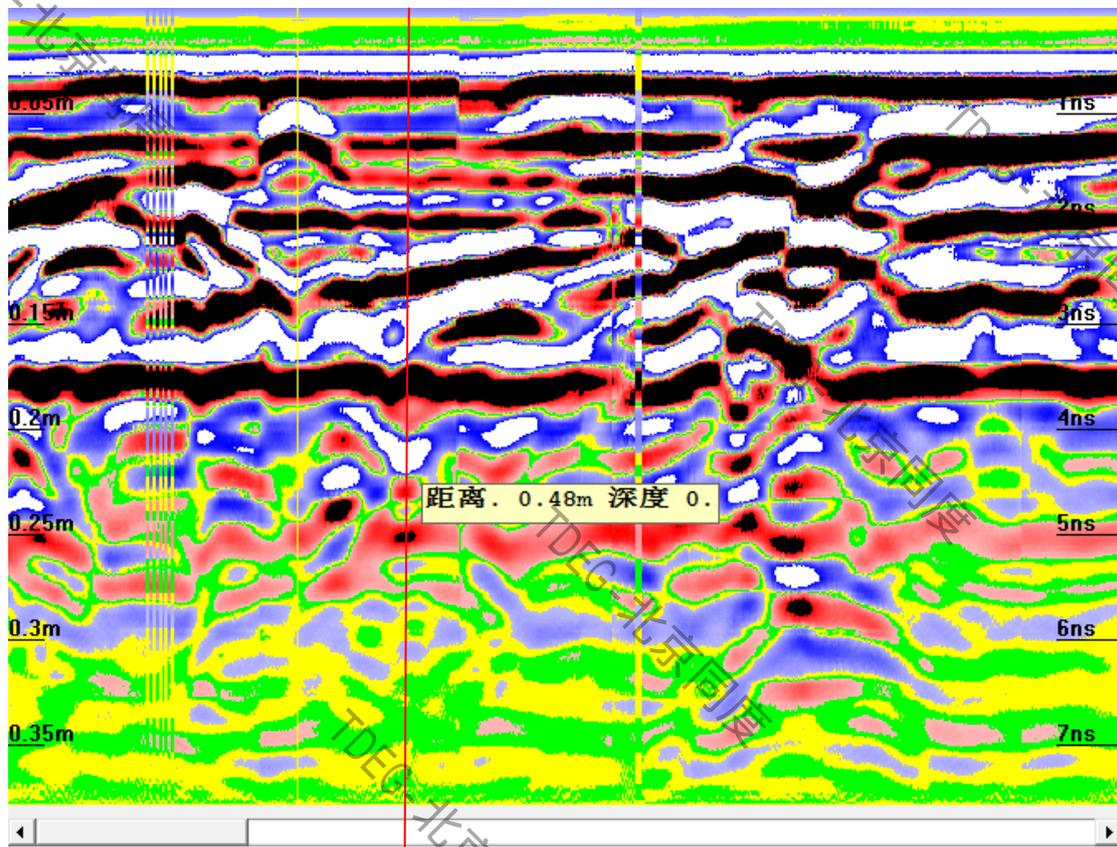
Line 61 左侧



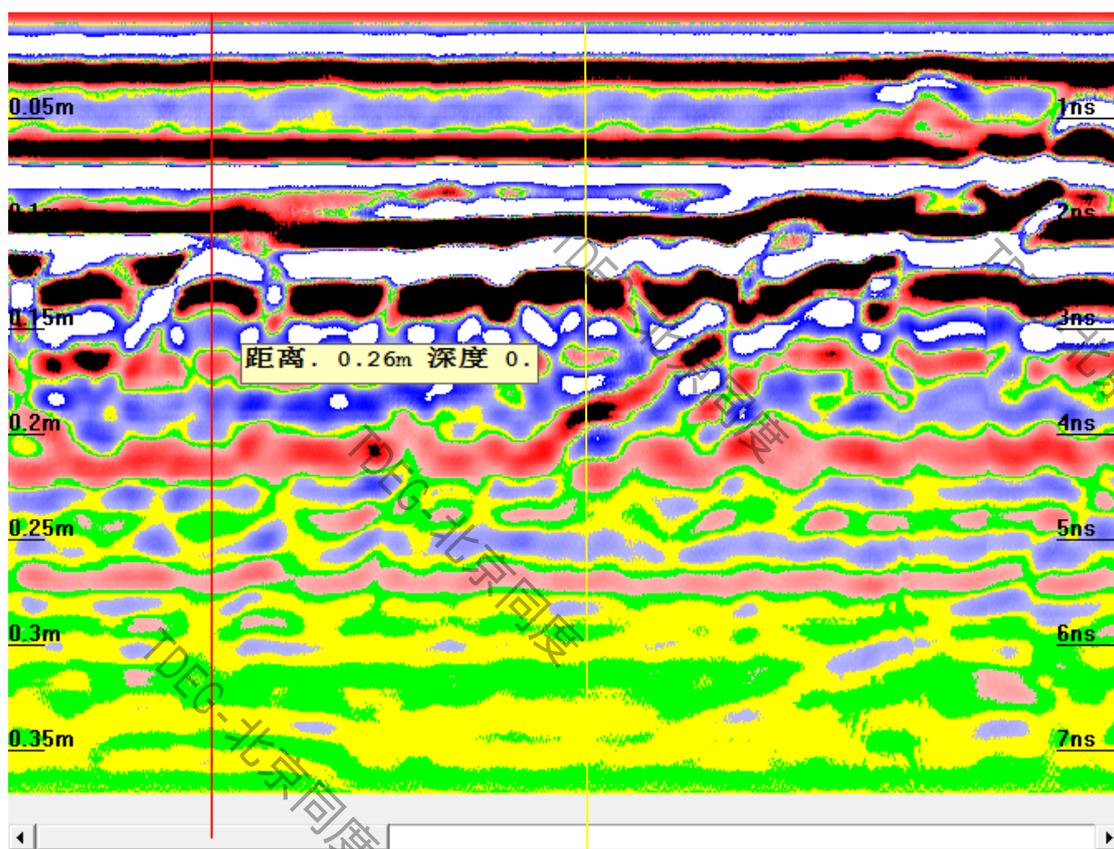
Line 62 左侧



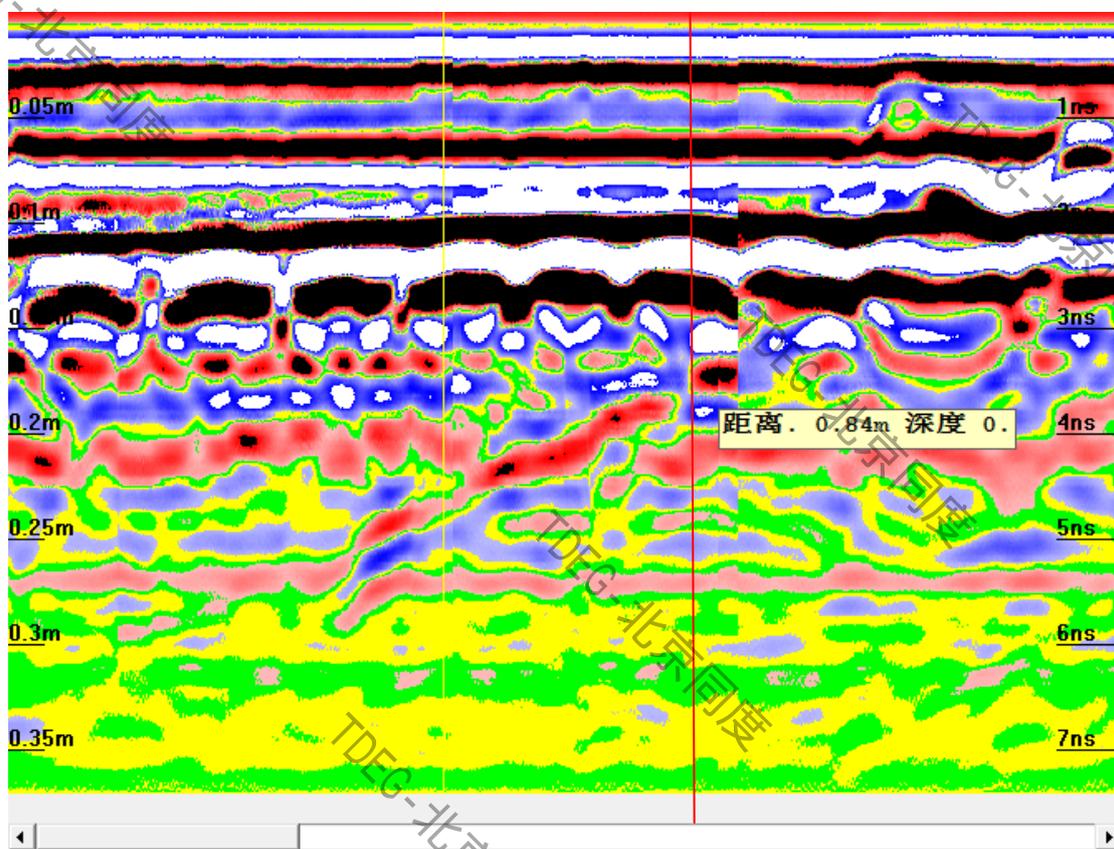
Line 63 左侧



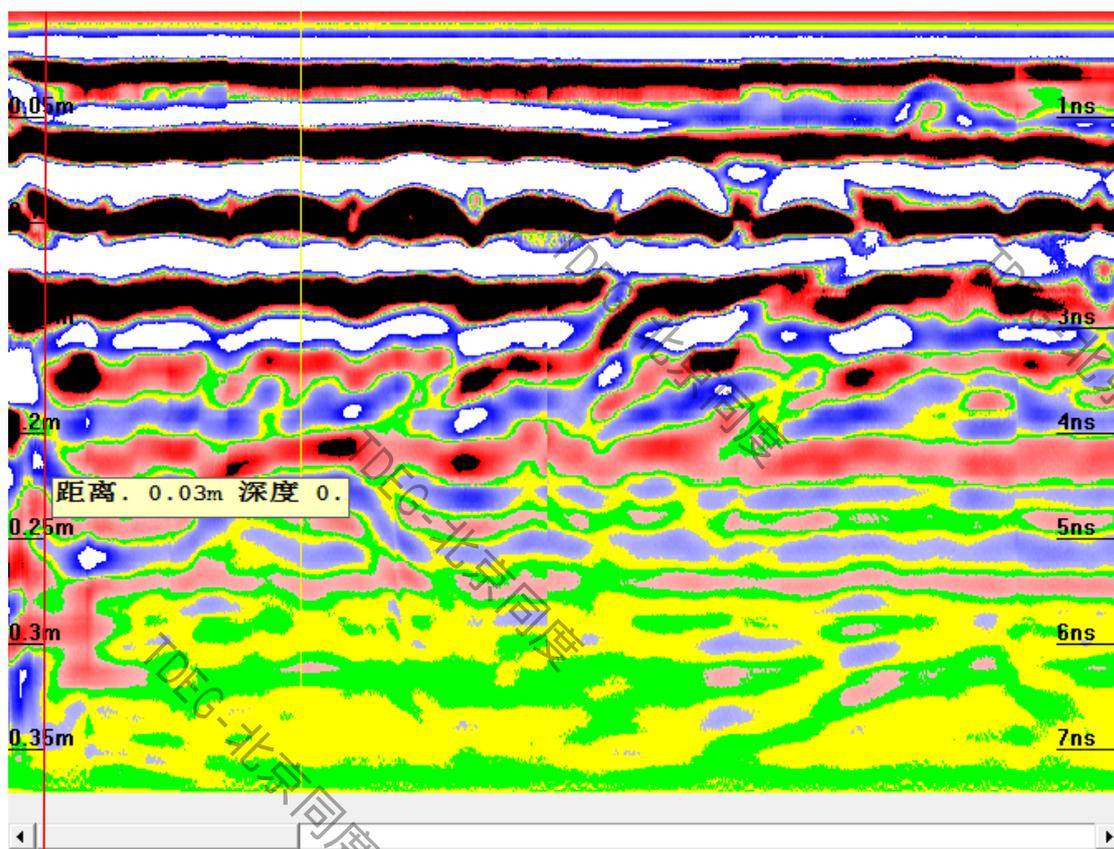
Line 181 左侧



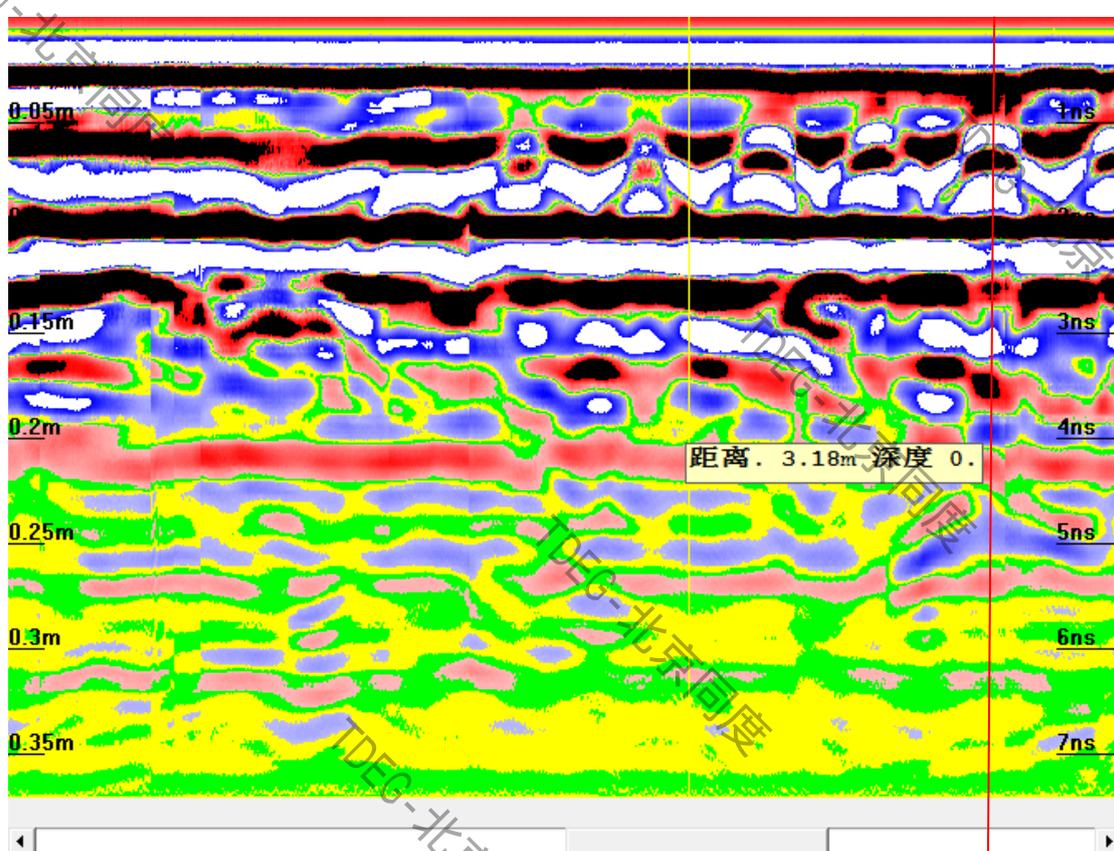
Line 182 左侧



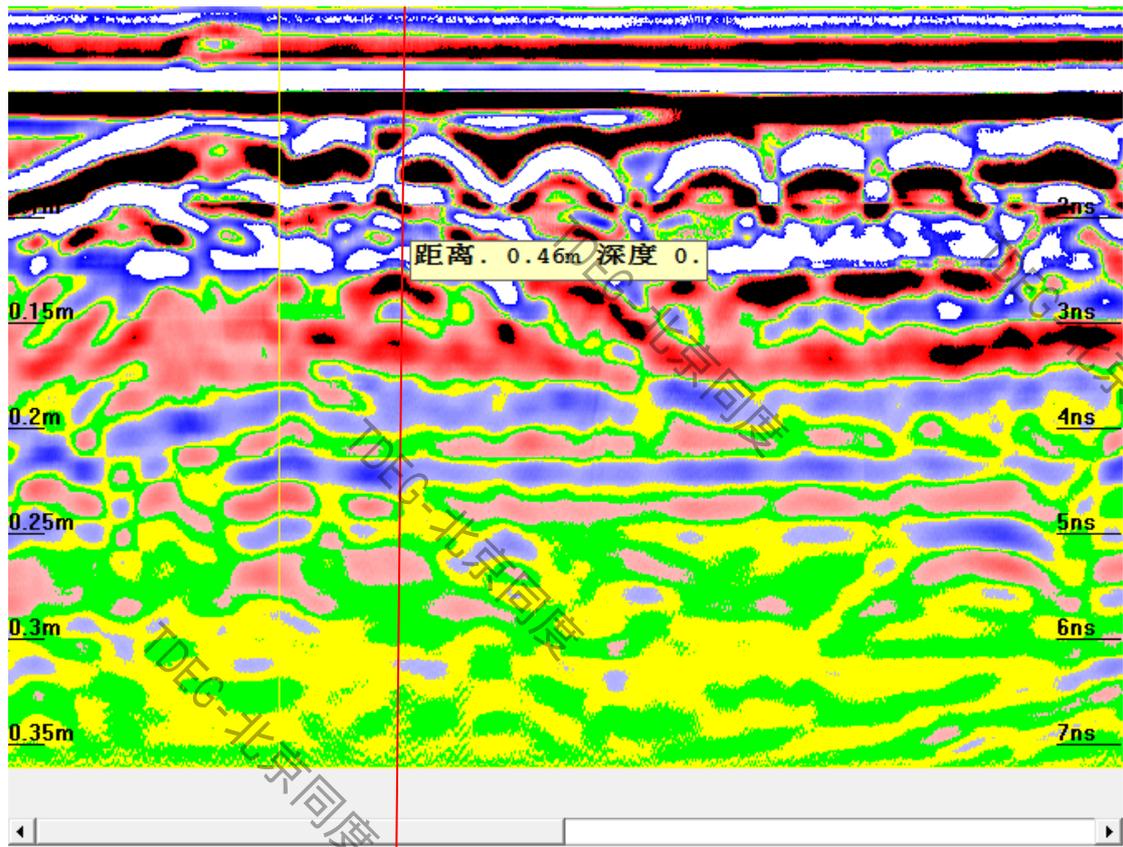
Line183 左侧



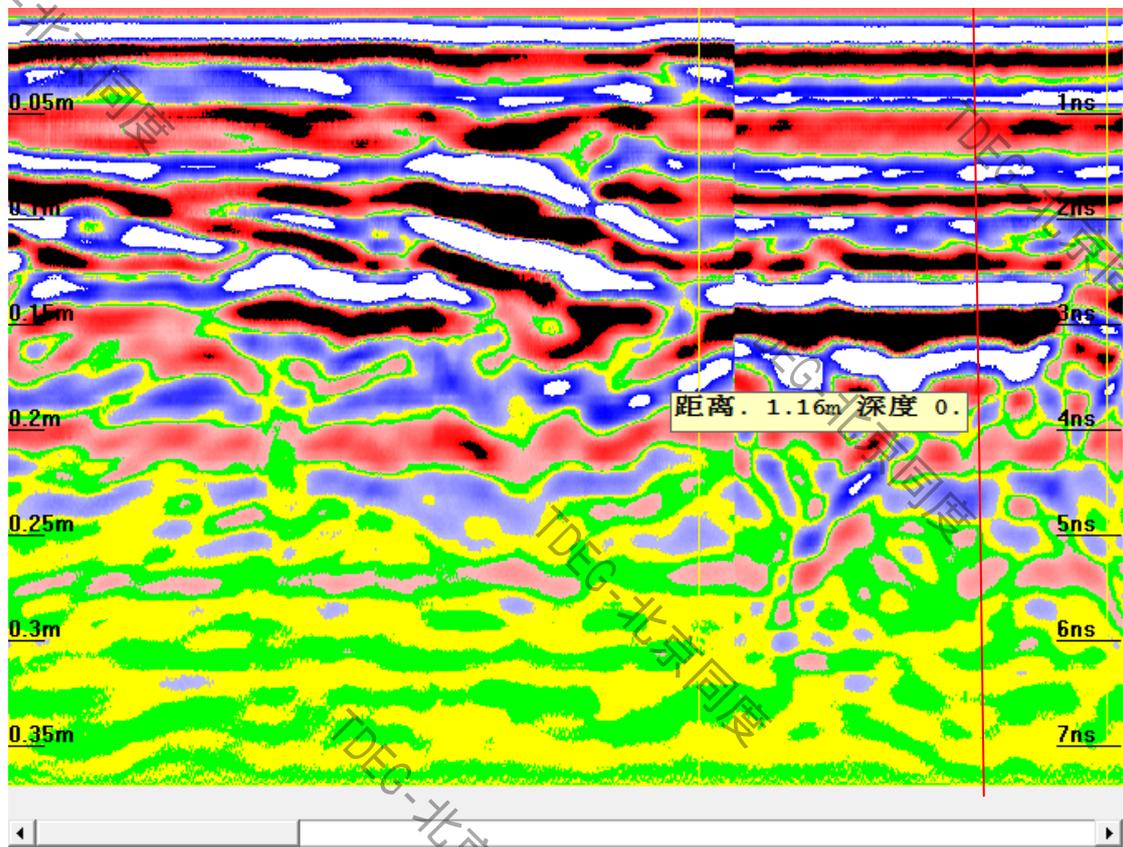
Line183 右侧



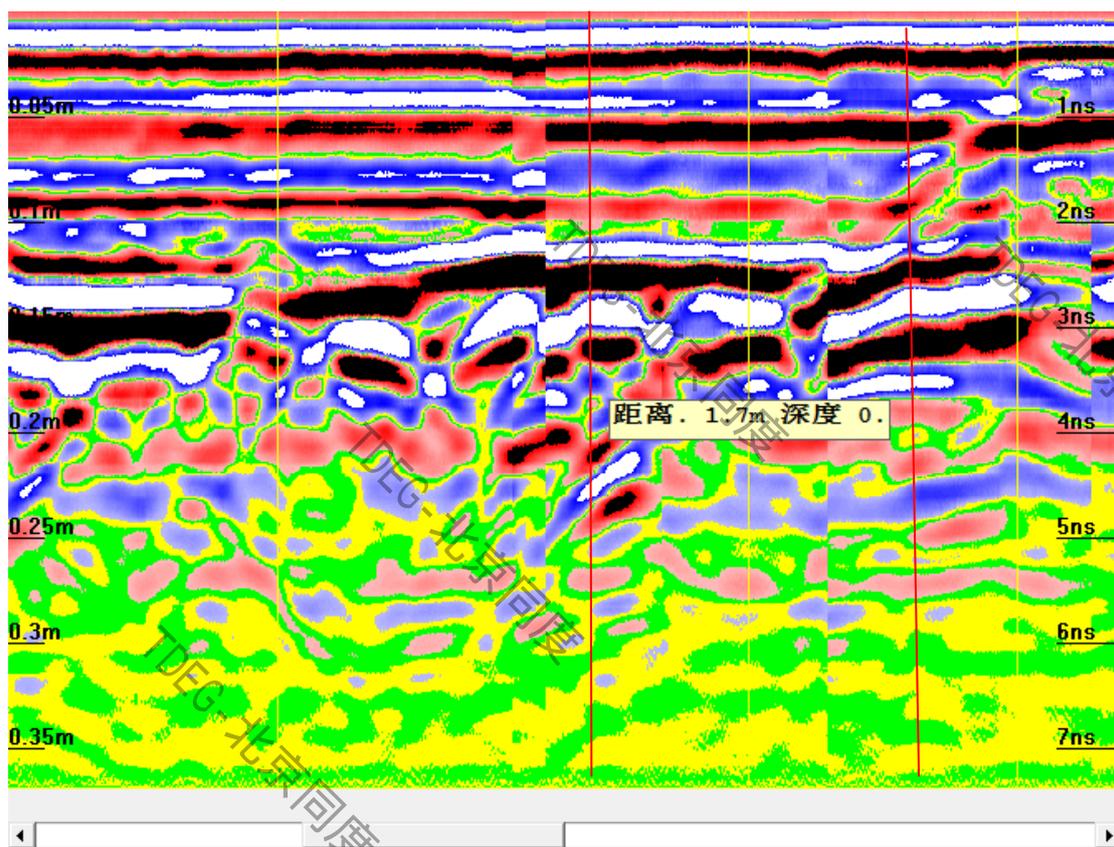
Line185 右侧



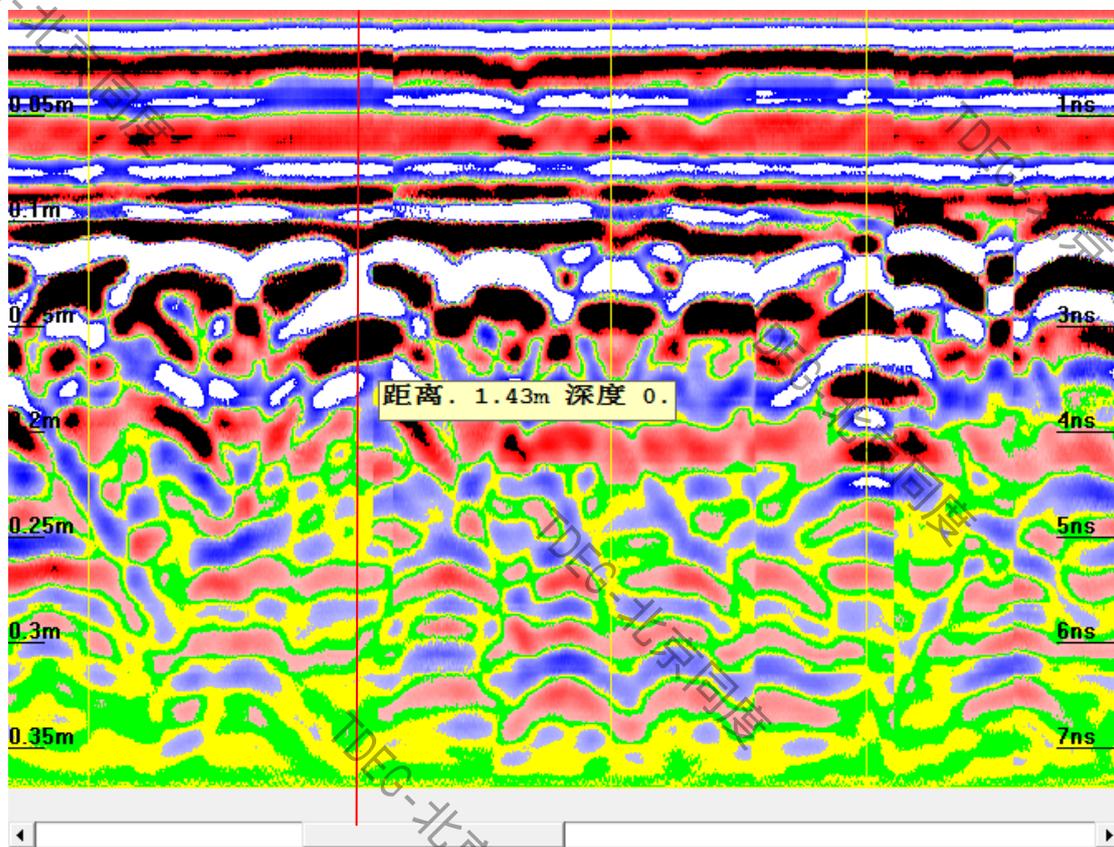
Line 49 左侧



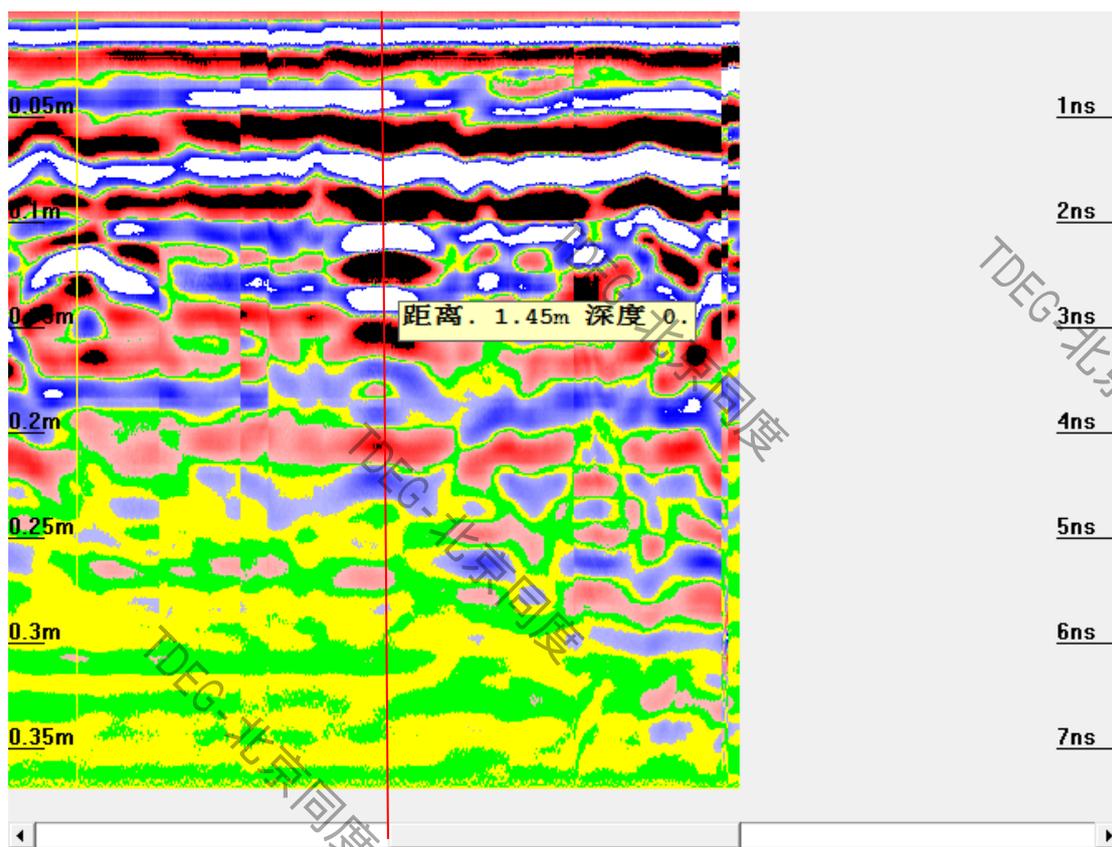
Line 49 右侧



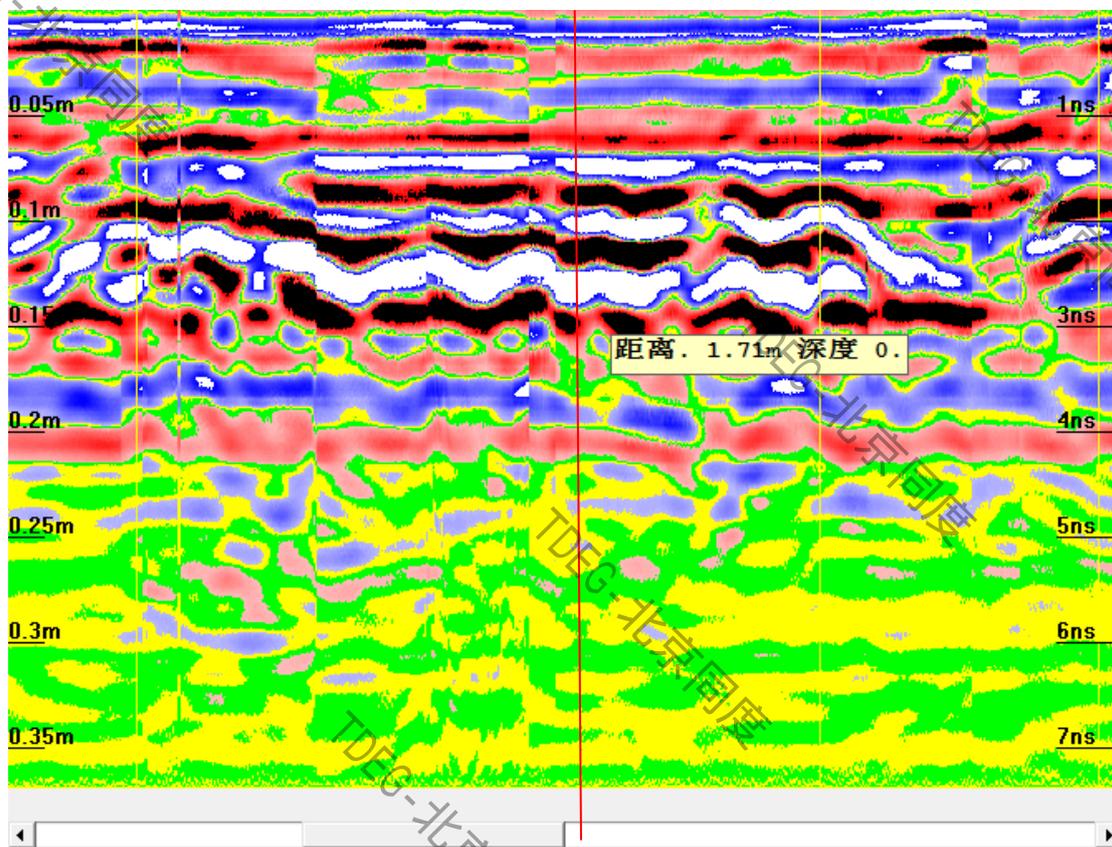
Line39 左侧



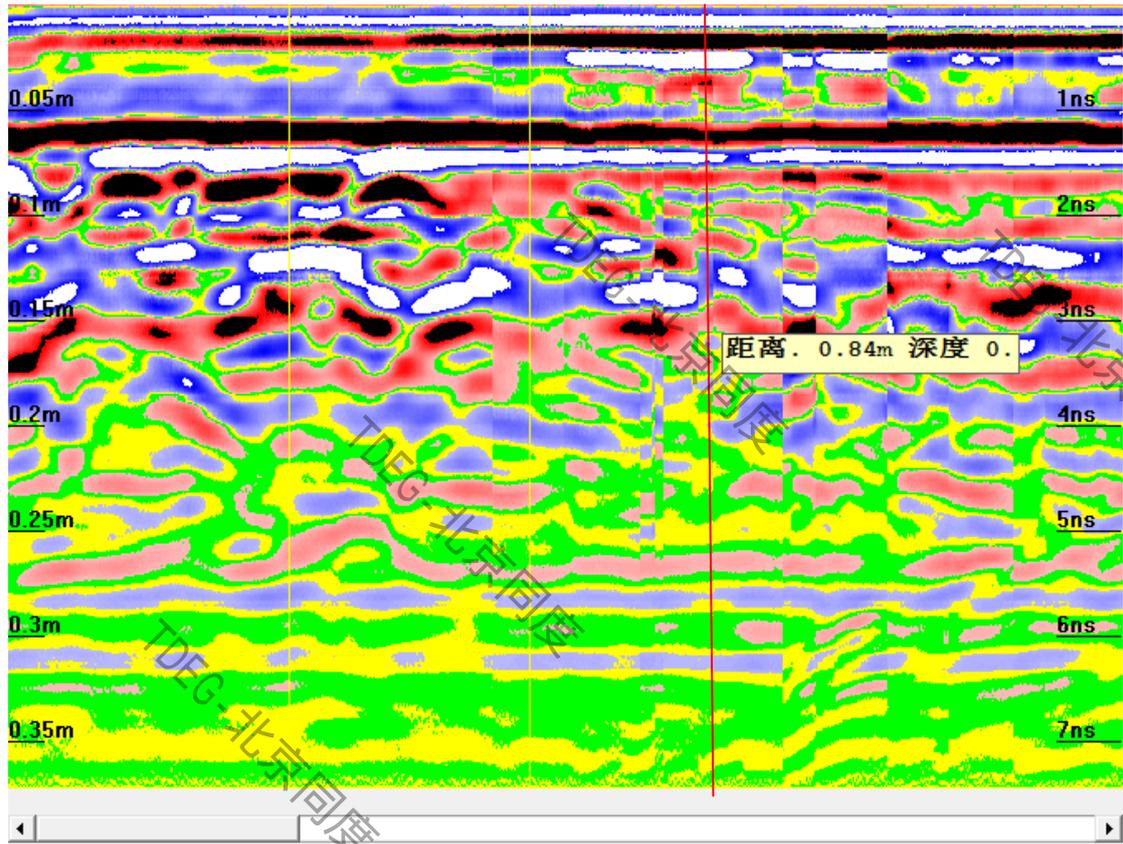
Line38 左侧



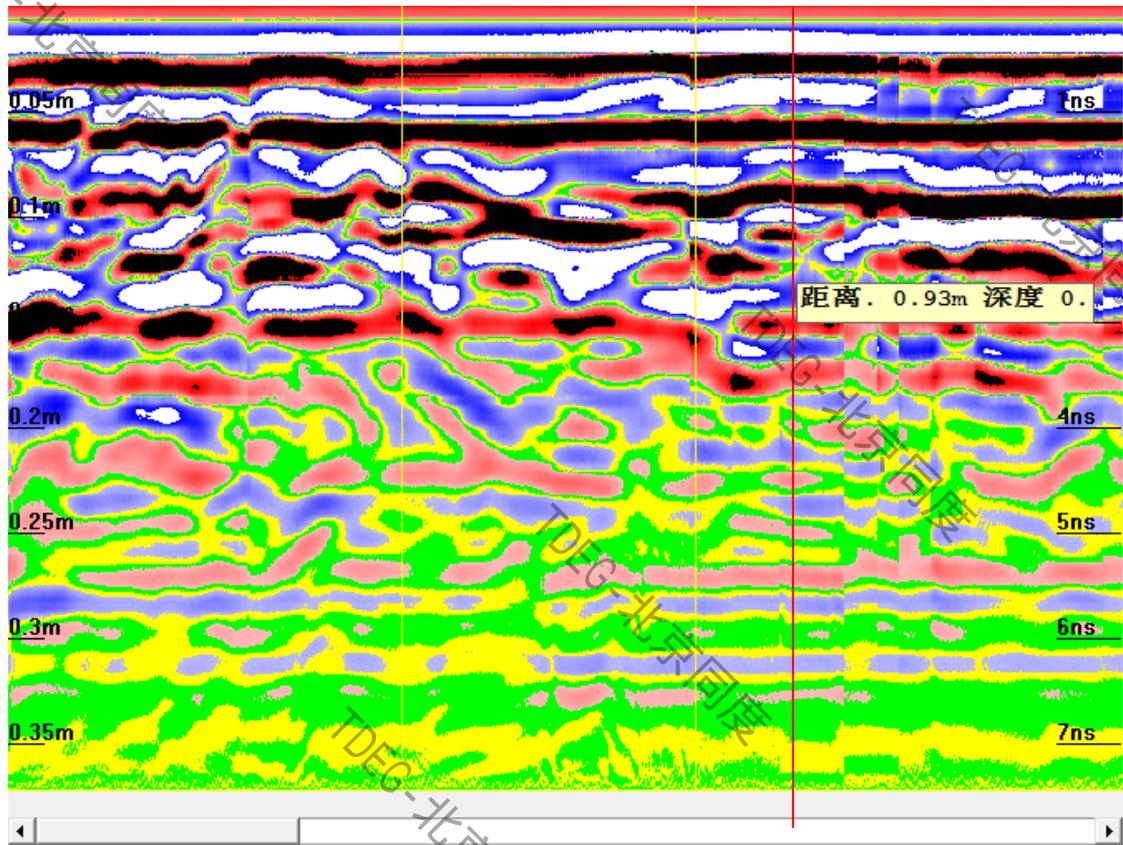
Line34 右侧



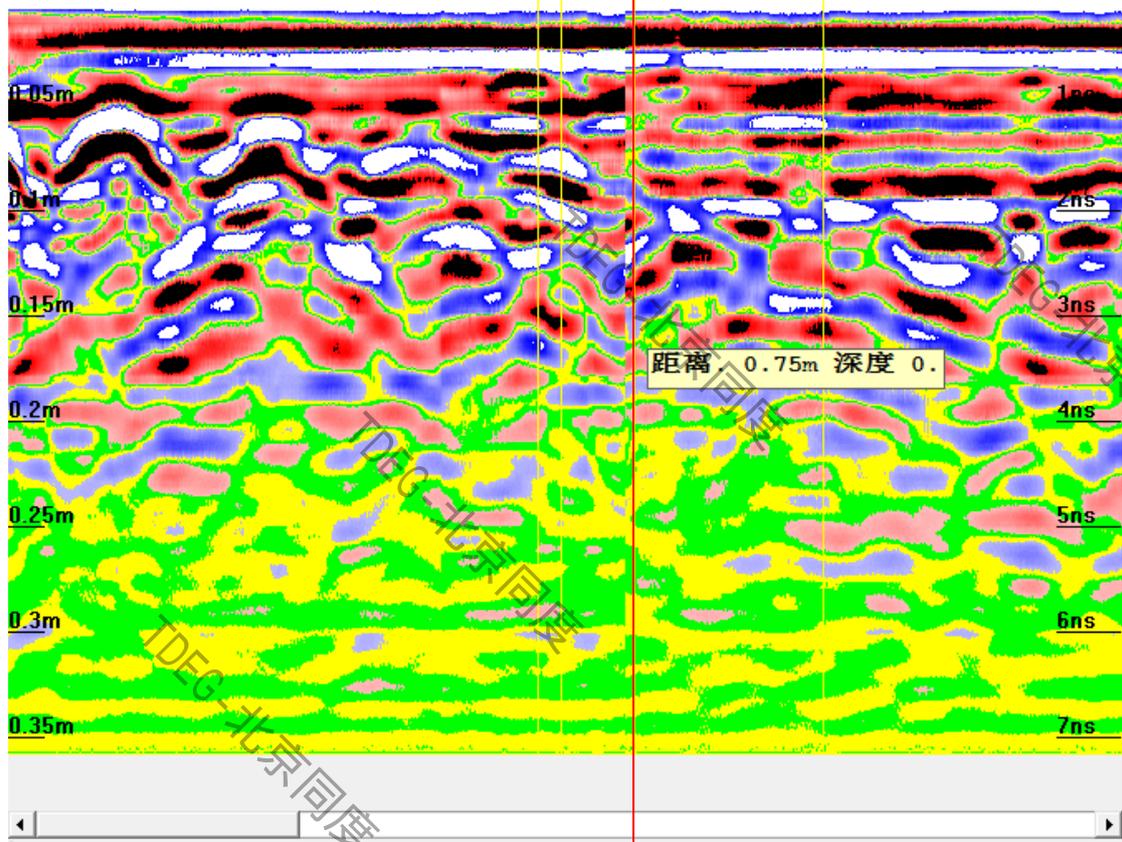
Line143 左侧



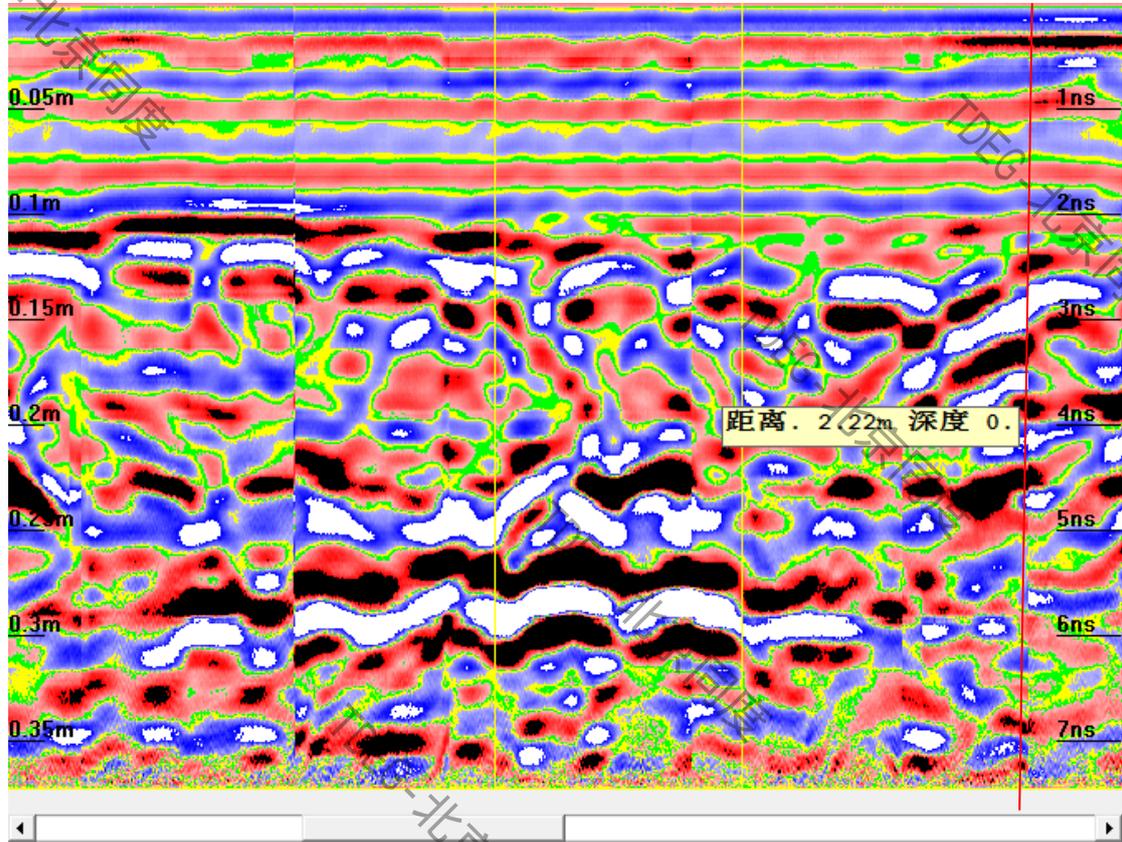
Line145 左侧



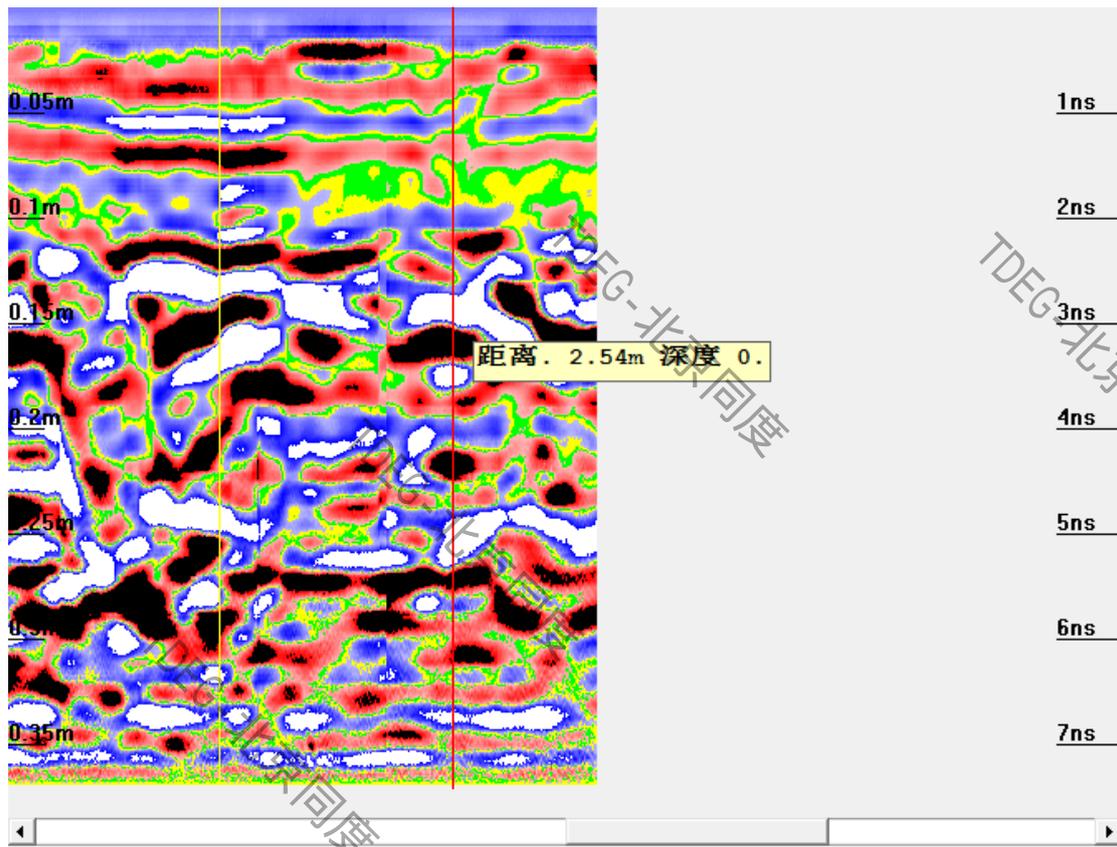
Line166 左侧



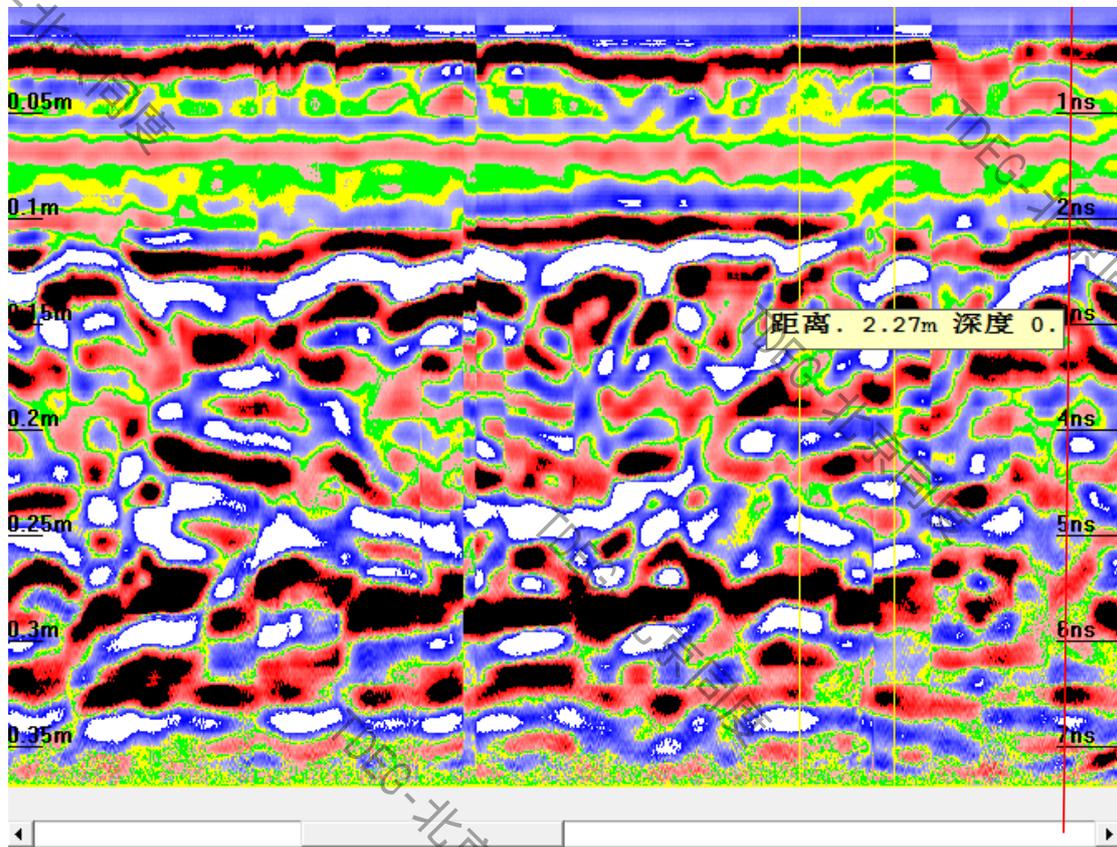
Line17 右侧



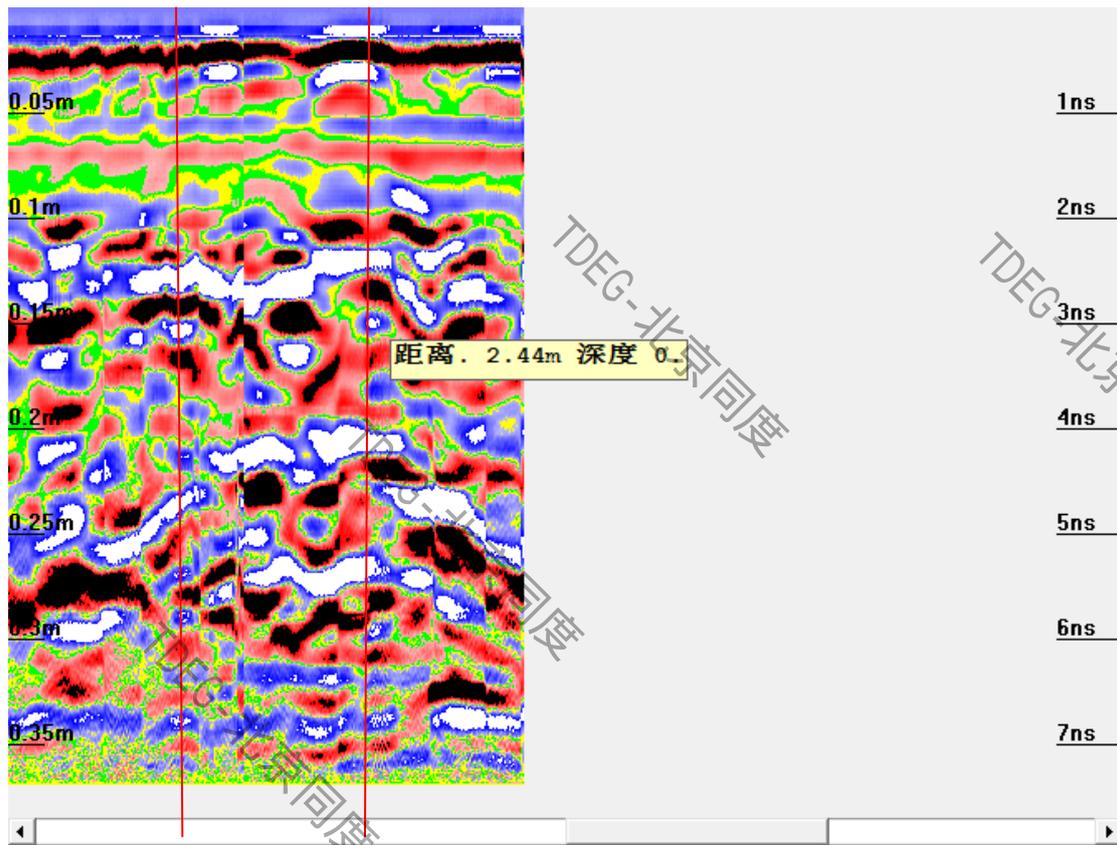
Line10 右侧



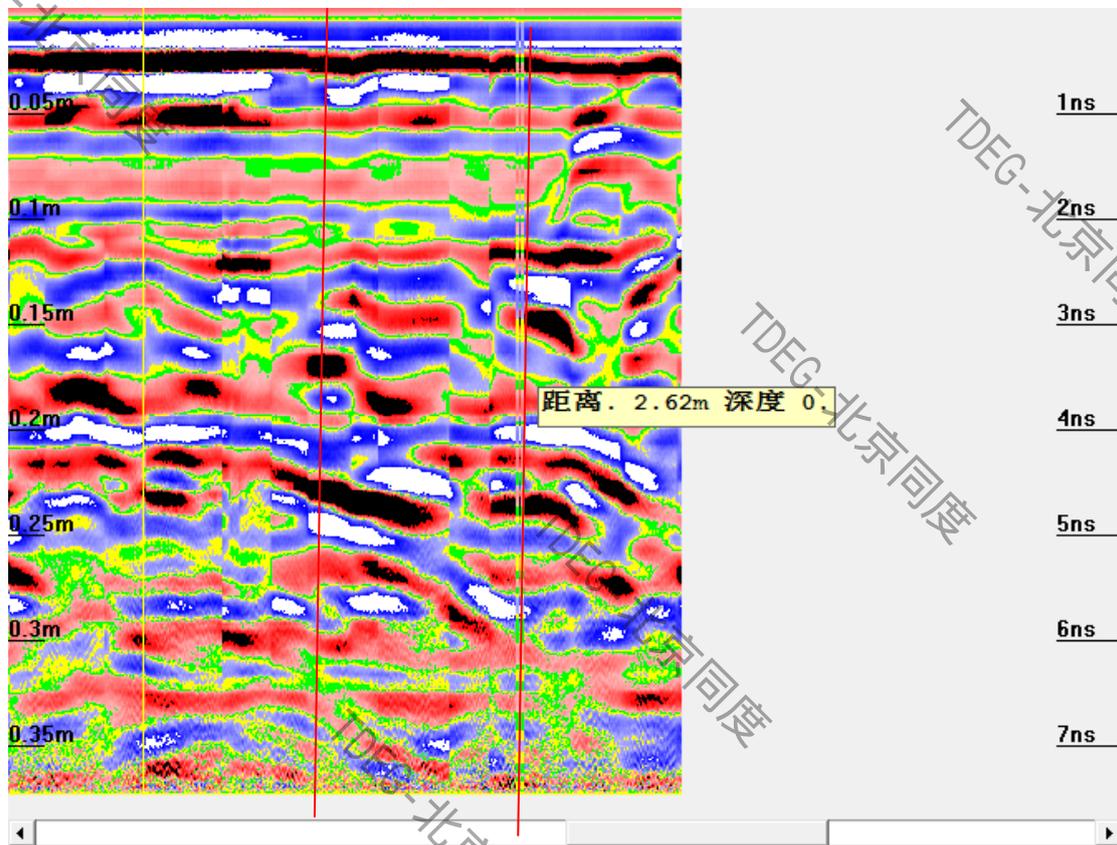
Line11 右侧



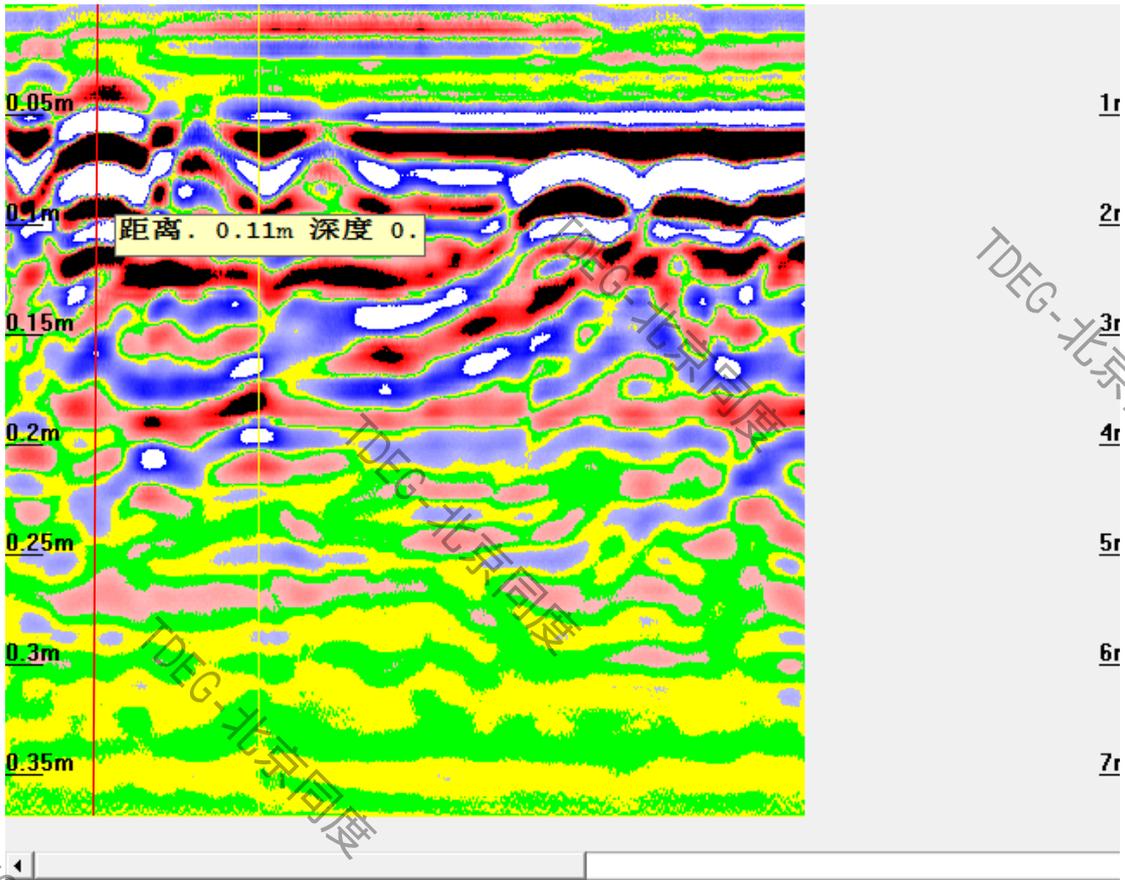
Line12 右侧



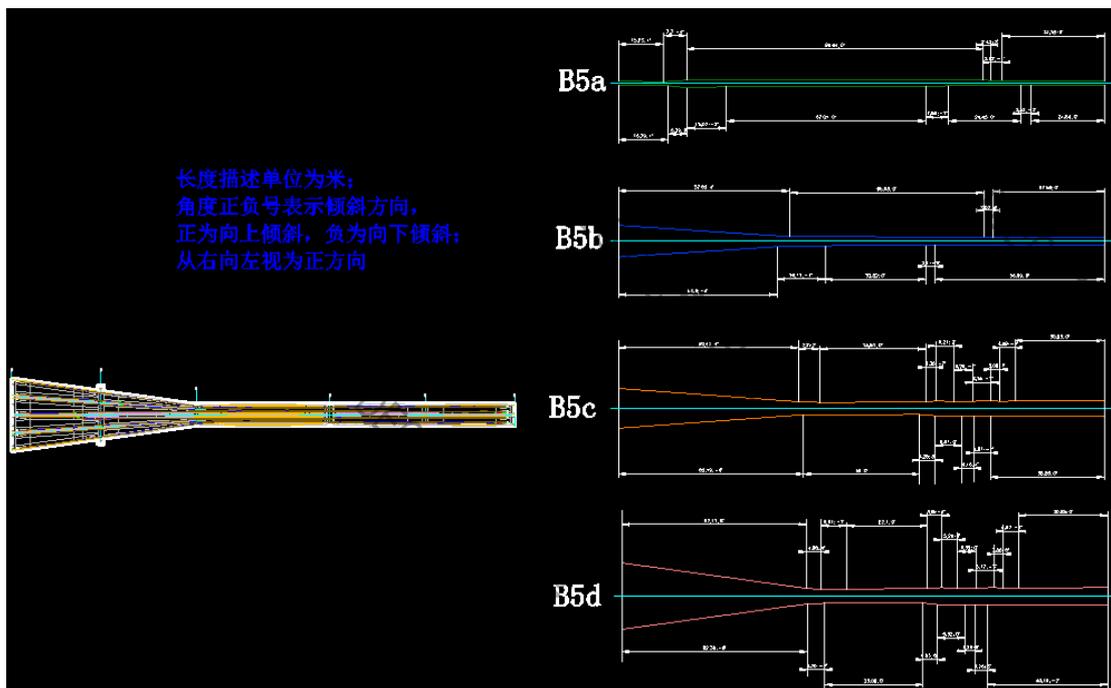
Line20 右侧



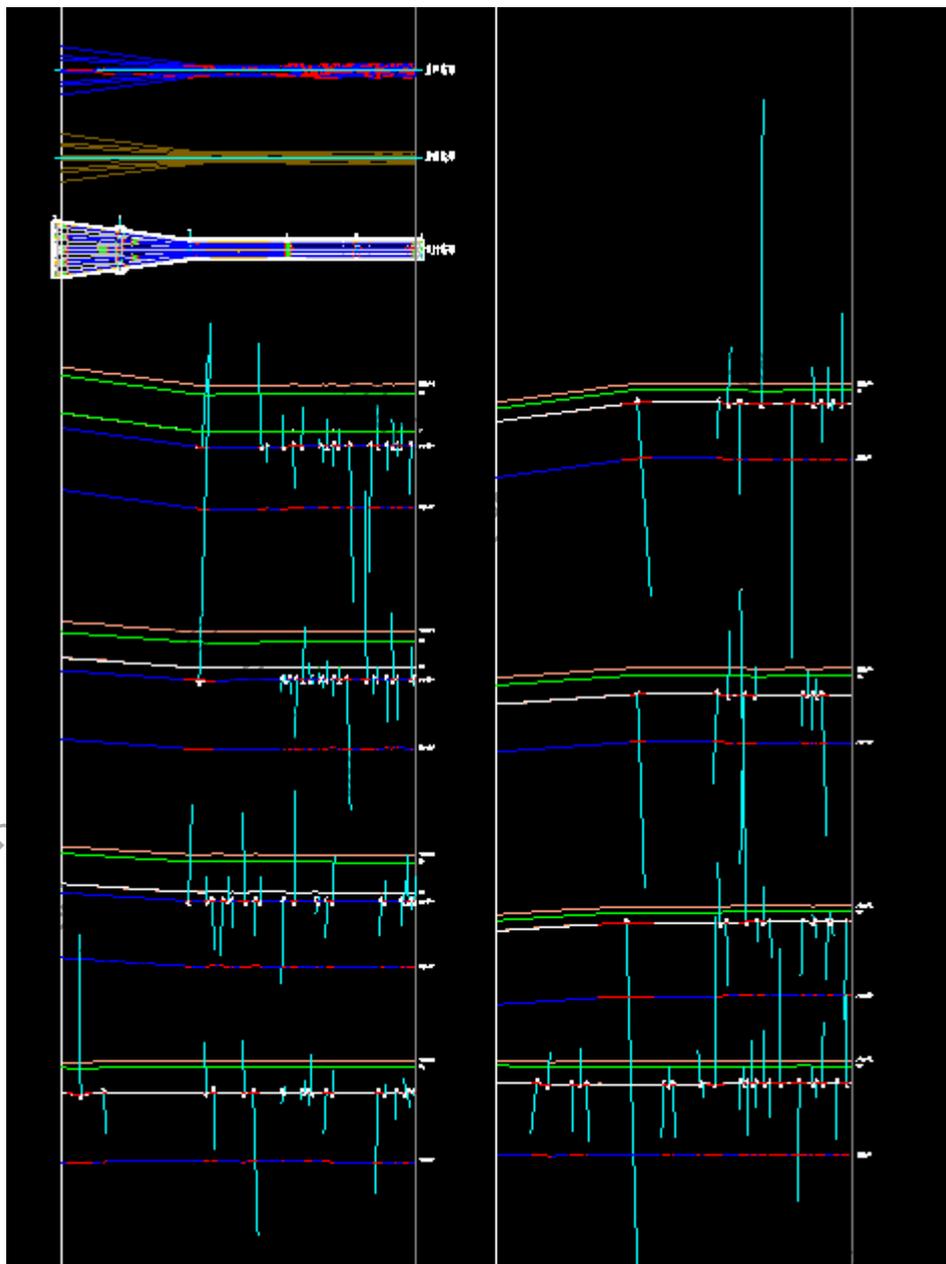
Line93 左侧



附图 2: pm1~pm6 孔道实测线性图(另附文件: 附图 2: pm1~pm6 孔道实测线性图. dwg)



附图 3:底板预应力检测图(另附文件: 附图 3: pm1~pm6 底板预应力孔道线形检测图. dwg)



附图 4：孔道线形雷达测线布置图（另附文件：附图 4： pm1~pm6 孔道线形雷达测线布置图. dwg）

