

报告编号：RDscan-140425

北京地铁某号线某标段 某区间地下脱空区 探测报告

北京同度工程物探技术有限公司

二〇一四年四月二十五日

北京地铁某号线某标段 某区间地下脱空区 探测报告

委托单位：中铁某局某号线某标段项目经理部

项目负责：贾 超

技术负责：赵永贵

参加人员：贾 超 柳 超 王 成 候景方

报告编写：贾 超 柳 超

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：2014 年 4 月

TDEG-北京同度

一 工程概况

地铁某号线某标段位于某中街，起点里程 K32+899.950，终点里程 K34+907.7，全长 2007.750m。由中铁某局集团轨道公司承建，2010 年 12 月 27 日正式开工。标内由 1 站 2 区间组成。地铁某号线是单洞双线隧道，跨径 10.22m，采用 PBA 法施工。标内地铁某号线联络线与其并行，隧道跨径 6m。某号线为大隧道，称左线，某号联络线为小隧道，称右线。

图 1 地铁某号线断面图 (据王梦恕, 2014)

根据工程地质勘查报告，标内地层从上至下分为人工堆积层、全新世冲洪积层、晚更新世冲洪积层三套地层。第四系冲洪积层岩性为粘性土、粉土、砂类土、卵石组成，交互沉积，土质松散，遇水不稳定，成拱条件差。地下水位较高，透镜体发育，透水性不均。由于不利的工程地质与水文地质条件以及隧道大跨径施工，施工中易产生土体松动、松散及脱空等情况，引起地面下沉甚至路面塌陷等问题。为减小地铁工程对地下管网、地面沉降及建筑物的影响，施工中已经采取了土层加固的措施，从隧道内外进行注浆加固。为确保工程质量，减小对周边环境的影响，消除隐患，十九局集团轨道公司邀请北京同度工程物探技术公司应用先进技术，对某号线、某号联络线部分区段进行探测，寻找隐伏松散区和脱空区，为进一步的加固治理提供科学依据。

二 探测技术与原理

本次探测使用 RDscan 道路隐患探测技术。它是一种声频地震散射新技术，具有分辨率高、抗干扰性强、不破损路面、不中断交通等优点，探测深度超过 30m，适合城市地铁与道路隐患的探测。该探测技术通过对地层波速与地质结构实施成像，寻找低速异常区分布来确定松散区与脱空区位置与严重程度。

地层波速是表征土体密实性与承载力的定量指标。波速高表示土体密实、承载力大，

反之亦然。地下工程引起的土体扰动，造成土体松动、松散，甚至产生脱空。使土体的密实性降低，固结力、内摩擦力与变形模量降低，伴随有裂隙、空隙、裂缝生成。这些因素使土体波速大大降低。因而通过寻找地层中的低速异常区，可发现松动、松散与脱空的部位。在应用中，将波速降低到 10-20%的区域定为松动区，此时土体处于卸荷与变形状态，密实度下降，粘结力降低，微裂隙稍发育，但仍处于稳定状态；波速降低到 20%-40%时的低速异常区称松散区。此时土体内发育有大量的微裂隙与宏观裂缝，呈松散状态，很不稳定，遇水易变产生液化，形成脱空区；对于完全由空气充填的空洞，波速降至 350m/s。较大尺度时称空洞，尺度小于 0.5m 时称脱空。根据速度图像中速度异常的大小与范围，对松散区、脱空区进行解释与判识。

三 探测工程布置

某号线某标段地下脱空探测沿某中街布置，里程 K33+700--K34+300，长 670m。分左、右两线，左线沿某号线轴线，右线沿某号联络线轴线。在左线只能怪将里程 k33+500—k33+700 的范围定为重点探测区，路边建筑比较集中。探测中检波器间距 0.5m，敲击点距 1.0m。在重点探测路段，检波器间距为 0.25m，敲击点距 0.5m，加密布测。探测工作区位置见图 2。现场探测工作从 4 月 17 日开始到 20 日结束。

某中街车流量较大，探测施工中不中断交通，通过设置局部流动警示标志滚动前进。道路上的振动噪声与电磁干扰很强，特别是在道路中间车行道探测时，激震能量有时难以压制环境噪声干扰，必须进行多次敲击进行比较取舍。



图 2 脱空区探测位置

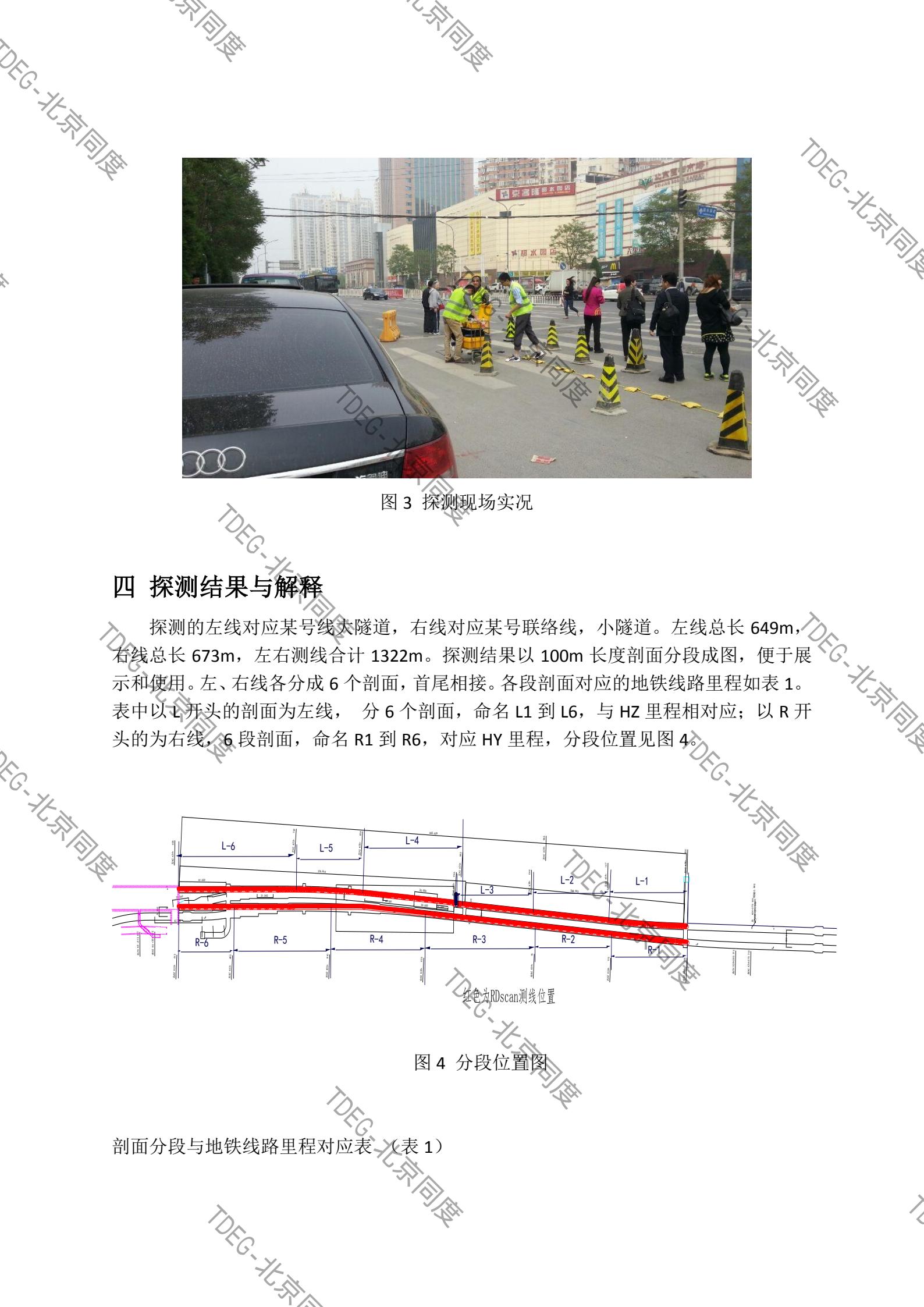


图 3 探测现场实况

四 探测结果与解释

探测的左线对应某号线大隧道，右线对应某号联络线，小隧道。左线总长 649m，右线总长 673m，左右测线合计 1322m。探测结果以 100m 长度剖面分段成图，便于展示和使用。左、右线各分成 6 个剖面，首尾相接。各段剖面对应的地铁线路里程如表 1。表中以 L 开头的剖面为左线，分 6 个剖面，命名 L1 到 L6，与 HZ 里程相对应；以 R 开头的为右线，6 段剖面，命名 R1 到 R6，对应 HY 里程，分段位置见图 4。

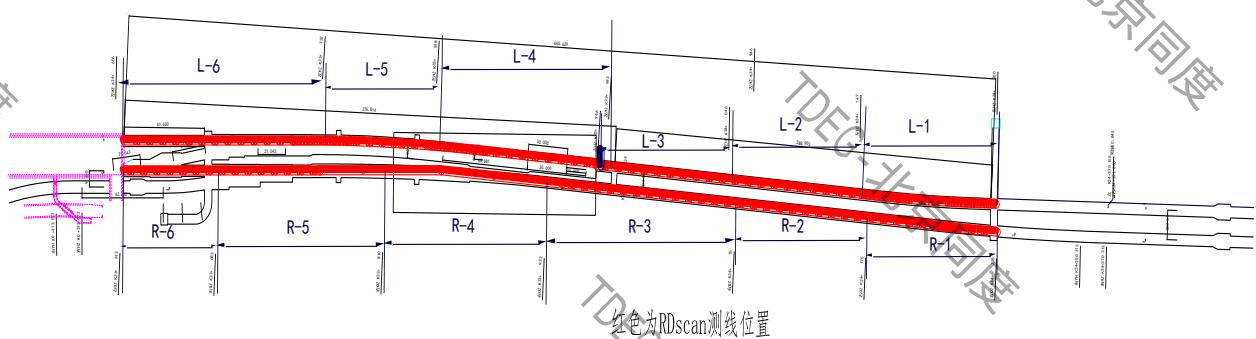


图 4 分段位置图

剖面分段与地铁线路里程对应表（表 1）

TDEG-北京同度

测线名称	线路起始里程	线路结束里程	剖面起始坐标	剖面结束坐标	测线长度
L-1	HZ K34+250	HZ K34+147	218.5	311.5	103
L-2	HZ K34+147	HZ K34+046	108.5	218.5	100
L-3	HZ K34+046	HZ K33+946	8.5	108.5	100
L-4	HZ K33+818	HZ K33+943	0	135	135
L-5	HZ K33+732	HZ K33+818	0	87	87
L-6	HZ K33+606	HZ K33+732	8.5	132.5	124
R-1	HY K34+175	HY K34+275	0	100	100
R-2	HY K34+075	HY K34+175	100	200	100
R-3	HY K33+933	HY K34+075	200	345	145
R-4	HY K33+810	HY K33+933	345	470	125
R-5	HY K33+683	HY K33+810	470	600	130
R-6	HY K33+613	HY K33+683	600	672	73

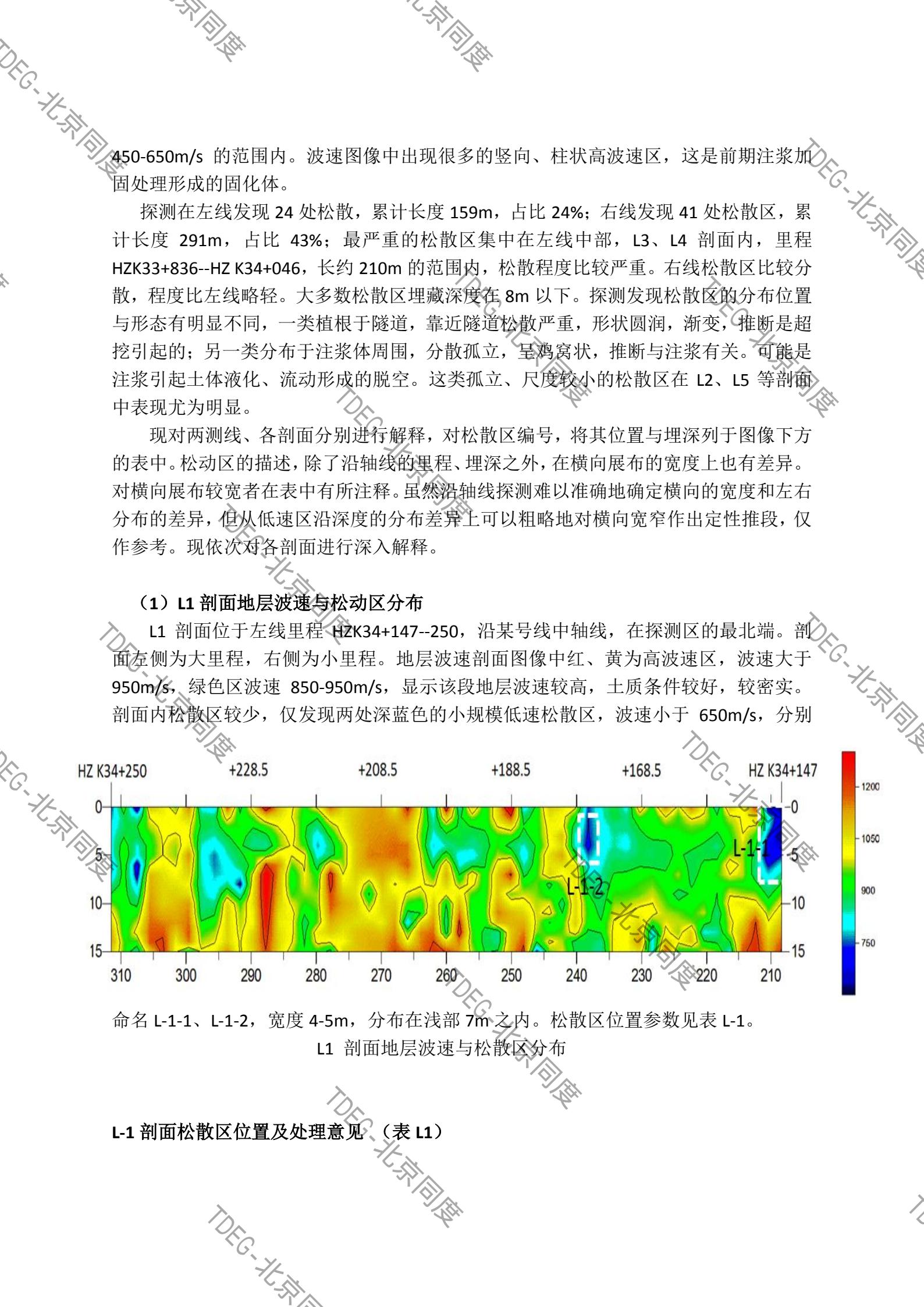
根据探测得到的地下土层纵波速度的分布图像的解释，可以达到寻找隐伏松散区与脱空区的目的。解释的基本原则是波速图像中的低波速异常的分布，通过异常强度的大小和分布范围来判识松动、松散与脱空区的位置。

根据前期的工作与本次探测工作的结果，对某中街地层波速分布的特征已经有了基本了解。表层（路基层）的波速为 900-1000m/s 左右，其下 20m 埋深范围内地层的波速为 800-900m/s，20m 以下波速增高到 900-1100m/s。这是地层波速的正常分布。

由于地铁施工的扰动，随着地层应力状态的改变，固结力降低，土体密实度发生了变化。伴随着土层的松散化，及裂隙的生成，地层的波速明显降低。因此波速降低的程度可以作为判识松散程度的定量指标。在地层波速图像中，以 650m/s 作为划分松动区与松散区的指标。波速在 $650\text{m/s} < V_p < 750\text{m/s}$ 的范围时，定为松动区。波速在 $450\text{m/s} < V_p < 650\text{m/s}$ 的范围时，定为松散区。波速低于 450m/s 的区域定为脱空区。对脱空区与空洞来说，探测到的波速与其大小和形状有关，大型空洞的波速应该是 350m/s，小型脱空区的波速会高一些。这些指标作为地质解释的依据。

在地铁施工阶段，地下水处于疏干状态，松动区很容易存留下来。一旦有水渗入其中，便会发生液化、流失，产生大量的局部脱空区乃至空洞。因而松散区是形成空洞的潜在隐患。通常情况下松散区会在重力与地表荷载作用下发生压实、不均匀沉降，这往往会导致地下管网的损毁，引起供水、排水管道漏水。漏水的结果又导致松散区发生液化，产生空洞和突发性地面塌陷。秀水园小区门前 2014 年 2 月 16 日下午 15 时突发的路面塌陷就是这个原因形成的。因此，松散区是潜在的地下脱空区，它是探查和治理的重点目标之一。

作为探测结果的地层波速图像中，用红、黄色表示高波速区，浅蓝、深蓝色表示低波速区，绿色表示正常波速区。对波速图像的分析发现有大量的松散区，波速分布在



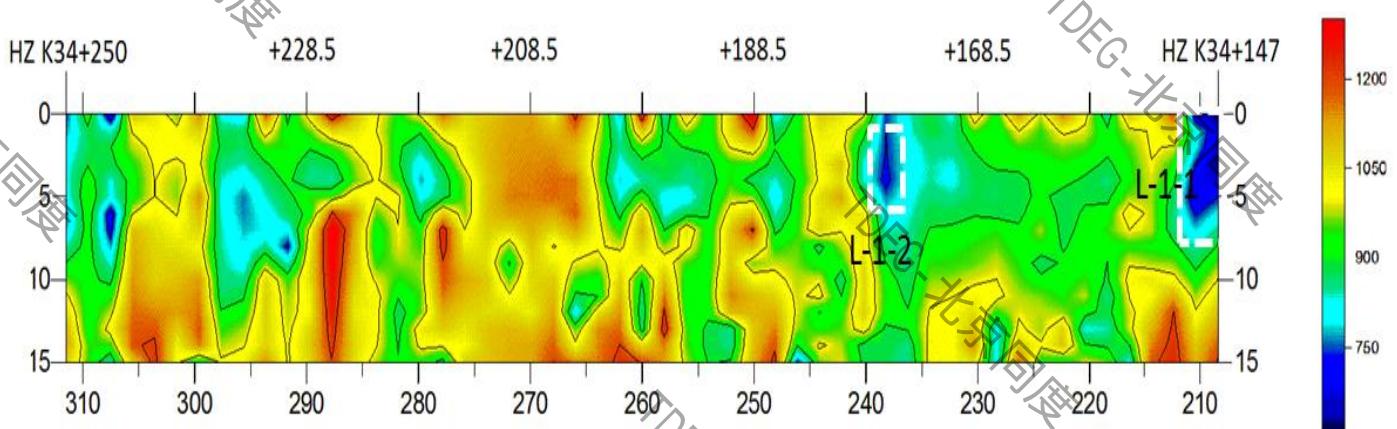
450-650m/s 的范围内。波速图像中出现很多的竖向、柱状高波速区，这是前期注浆加固处理形成的固化体。

探测在左线发现 24 处松散，累计长度 159m，占比 24%；右线发现 41 处松散区，累计长度 291m，占比 43%；最严重的松散区集中在左线中部，L3、L4 剖面内，里程 HZK33+836--HZ K34+046，长约 210m 的范围内，松散程度比较严重。右线松散区比较分散，程度比左线略轻。大多数松散区埋藏深度在 8m 以下。探测发现松散区的分布位置与形态有明显不同，一类植根于隧道，靠近隧道松散严重，形状圆润，渐变，推断是超挖引起的；另一类分布于注浆体周围，分散孤立，呈鸡窝状，推断与注浆有关。可能是注浆引起土体液化、流动形成的脱空。这类孤立、尺度较小的松散区在 L2、L5 等剖面中表现尤为明显。

现对两测线、各剖面分别进行解释，对松散区编号，将其位置与埋深列于图像下方的表中。松动区的描述，除了沿轴线的里程、埋深之外，在横向展布的宽度上也有差异。对横向展布较宽者在表中有所注释。虽然沿轴线探测难以准确地确定横向的宽度和左右分布的差异，但从低速区沿深度的分布差异上可以粗略地对横向宽窄作出定性推段，仅作参考。现依次对各剖面进行深入解释。

(1) L1 剖面地层波速与松动区分布

L1 剖面位于左线里程 HZK34+147--250，沿某号线中轴线，在探测区的最北端。剖面左侧为大里程，右侧为小里程。地层波速剖面图像中红、黄为高波速区，波速大于 950m/s，绿色区波速 850-950m/s，显示该段地层波速较高，土质条件较好，较密实。剖面内松散区较少，仅发现两处深蓝色的小规模低速松散区，波速小于 650m/s，分别



命名 L-1-1、L-1-2，宽度 4-5m，分布在浅部 7m 之内。松散区位置参数见表 L-1。

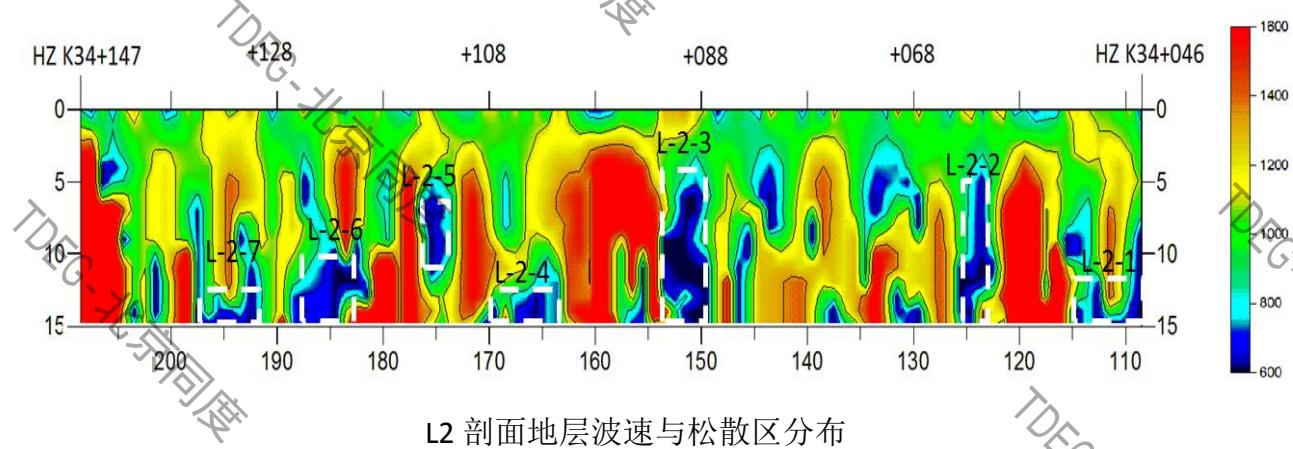
L1 剖面地层波速与松散区分布

L-1 剖面松散区位置及处理意见（表 L1）

松散区编号	位置里程	埋深(m)	横向	注浆建议
L-1-1	K34+147—151	1-7.5		
L-1-2	K34+175—178	1-6		

(2) L2 剖面地层波速与松动区分布

L2 剖面里程 HZK34+046—147，剖面图中左端为大里程，右端为小里程。该剖面显现地层背景波速在 900m/s 左右，地层较密实。剖面内波速高低变化剧烈，说明地铁施工对土层的扰动较大。图中竖向、柱状红色的高速异常体，是注浆加固形成的固化体；剖面中分布有深蓝色低速区，为注浆后遗留的松散、脱空区。剖面内共发现 7 处松散、脱空区，分列于表 L2。虽然这些松散区的长度不大，单是松散程度很严重。特别是在注浆高速体附近出现的松散区，很可能包含脱空区。对这类低速区必须认真对待，逐个注浆处理，以消除隐患。

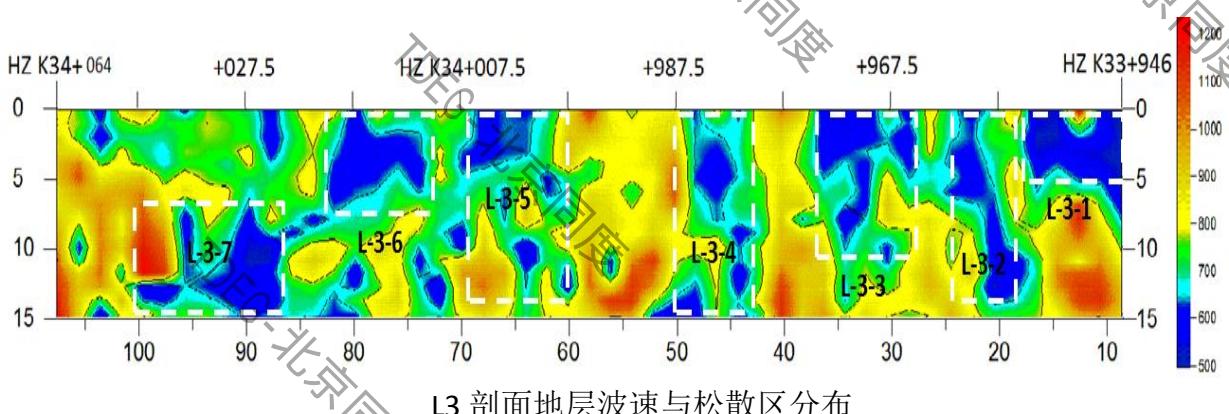


L-2 剖面松散区位置及处理意见（表 L2）

松散区编号	位置里程	埋深(m)	横向	注浆建议
L-2-1	K34+046--053	8-14	宽	横排孔
L-2-2	K34+061--063	4-14		
L-2-3	K34+088--092	4-15		
L-2-4	K34+103--108	13-15		
L-2-5	K34+112--115	7-11		
L-2-6	K34+121--126	11-15		
L-2-7	K34+130—135	13-15		

(3) L3 剖面地层波速与松动区分布

L3 剖面里程 HZK33+946--k34+046, 剖面图中左端为大里程, 右端为小里程。该剖面显现地层背景波速在 850-900m/s 左右, 地层较密实。剖面内波速高低变化剧烈, 说明地铁施工对土层的扰动强烈。图中竖向红色的高速异常体, 是注浆加固形成的痕迹; 剖面内分不有大量的深蓝色低速区, 为松散土体的特征。共发现 7 处松散区, 分布位置见表 L3。剖面内松散区数量多, 长度大, 松散程度严重, 是最为严重的地段。剖面内显现了一些注浆高速体, 但是注浆密度和强度都不够。对该剖面的低速区需要继续实施注浆处理, 以便消除隐患。对表中横向栏目内标注宽者, 表示松散区横向展布较大, 需要横向排孔注浆处理。



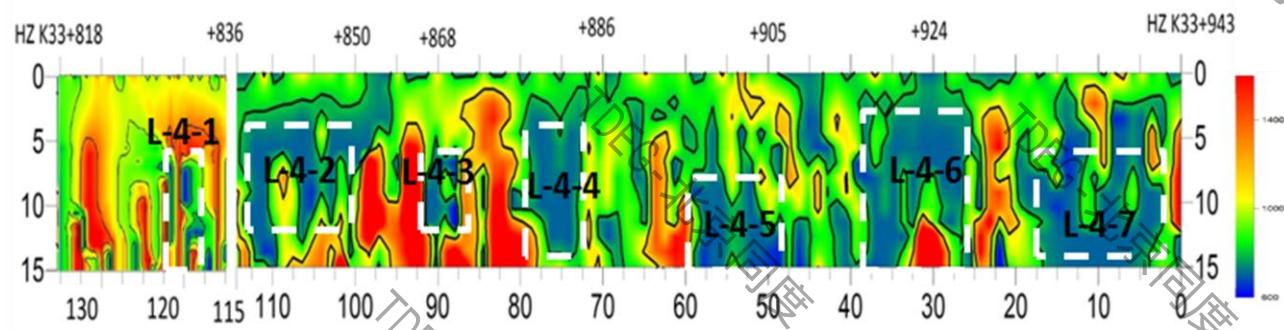
L-3 剖面松散区位置及处理意见 (表 L3)

松散区编号	位置里程	埋深(m)	横向	注浆建议
L-3-1	K33+946--954	1-6		
L-3-2	K33+956--962	1-13		
L-3-3	K33+965--974	1-11		
L-3-4	K33+980--987	1-14	宽	横排孔
L-3-5	K33+998--K34+006	1-13		
L-3-6	K34+010--019	1-7		
L-3-7	K34+025--0237	7-14	宽	横排孔

(4) L4 剖面地层波速与松动区分布

L4 剖面里程 HZK33+818--k34+943, 剖面图中左端为小里程, 右端为大里程, 方向与前三个剖面相反。该剖面显现地层背景波速在 850m/s 左右, 地层较密实性有所降低。剖面内波速高低变化剧烈, 说明地铁施工对土层的扰动强烈。图中竖向红色的高速异常体, 是注浆加固形成的固化体; 图中深蓝色低速区较多, 土体松散, 共发现 7 处松散区, 分布位置见表 L4。剖面内 L-4-1、L-4-2、L-4-3 三个松散区规模较大, 不但长度大, 而且横向宽, 松散严重, 是最值得关注的地段。剖面内显现了一些注浆高速体, 但是注浆

密度和强度都不够，特别是+895 以后的大里程段，松散区连片分布，需要采取横向孔成排压浆处理。



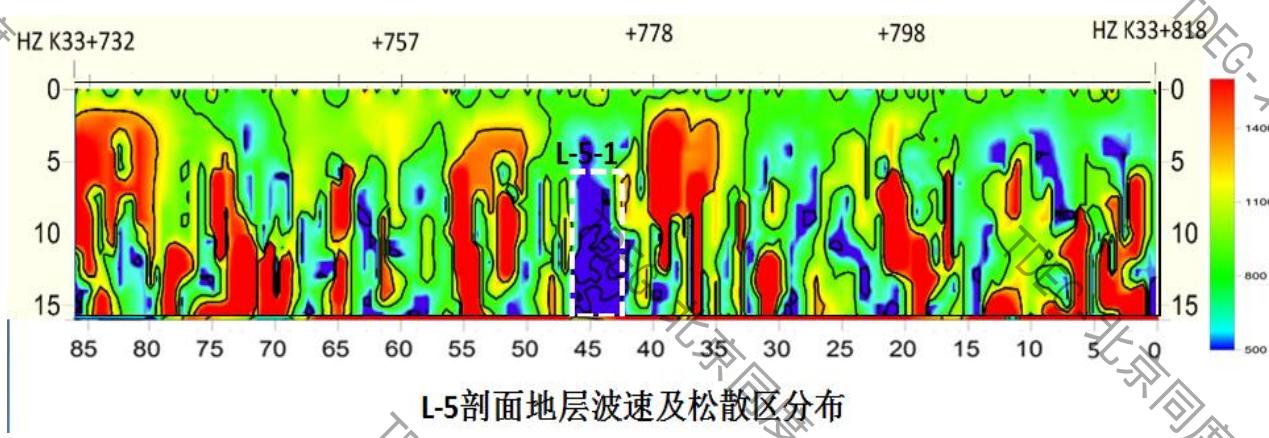
L-4剖面地层波速及松散区分布

L-4 剖面松散区位置及处理意见（表 L4）

松散区编号	位置里程	埋深(m)	横向	注浆建议
L-4-1	K33+830--833	6-14		
L-4-2	K33+838--850	3-12		
L-4-3	K33+858--861	6-12		
L-4-4	K33+870--876	3-13		
L-4-5	K33+886--897	7-14	宽	横排孔
L-4-6	K33+906--918	3-14	宽	横排孔
L-4-7	K33+926--941	6-14	宽	横排孔

(5) L5 剖面地层波速与松动区分布

L5 剖面里程 HZK33+732--k33+818，剖面图中左端为小里程，右端为大里程。该剖面显现地层背景波速在 850-900m/s 左右，地层较密实。剖面内波速高低变化剧烈，说明地铁施工对土层的扰动和注浆的双重影响。图中竖向柱状红色的高速异常体分布范围大，说明地层注浆加固效果明显。没有发现大尺度的深蓝色低速区，仅有 1 处 5m 长的小尺度松散区，位置参数见表 L5。

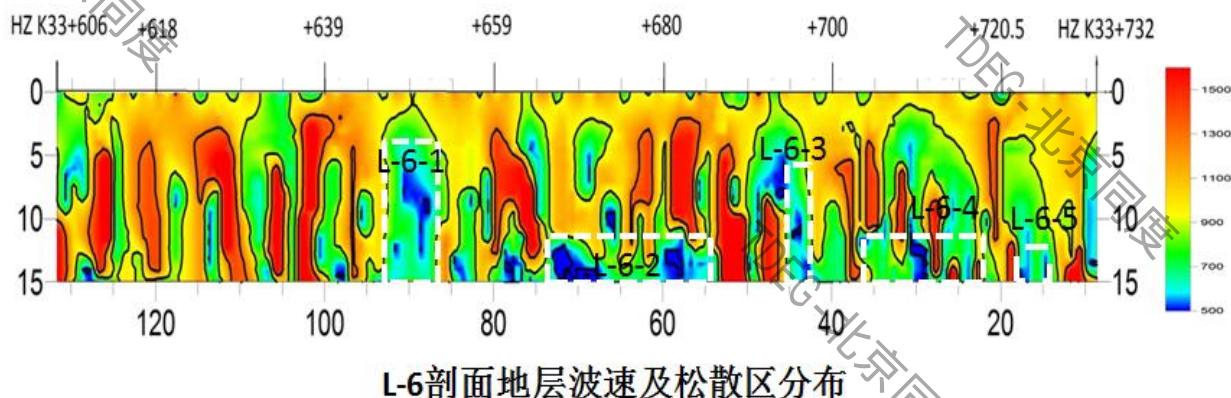


L-5 剖面松散区位置及处理意见(表 L5)

松散区编号	位置里程	埋深（米）	横向	注浆建议
L-5-1	K33+770--775	6-14		

(3) L6 剖面地层波速与松动区分布

L6 剖面里程 HZK33+606~732，剖面图中左端为小里程，右端为大里程。该剖面显现地层背景波速在 900m/s 左右，地层较密实。剖面内柱状高速区分布范围广，说明注浆点分布较密，加固效果明显。剖面内仅有 5 处小规模残留低速松散区，松散程度较轻。松散区位置分布参数见表 L6。



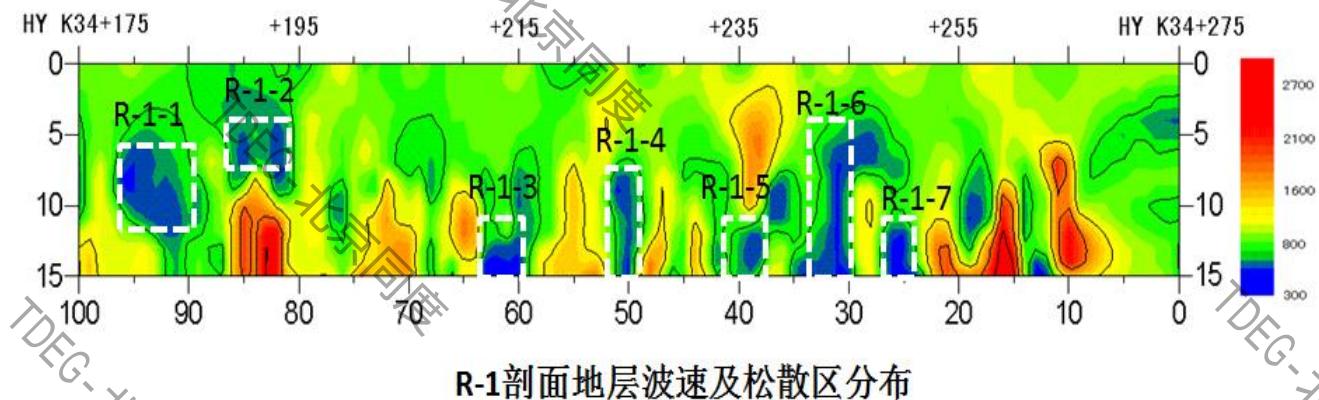
L-6 剖面松散区位置及处理意见(表 L6)

松散区编号	位置里程	埋深（米）	横向	注浆建议
L6-1	K33+646—652	7-14		
L6-2	K33+665—685	11-12		
L6-3	K33+694—697	5-14		

L6-4	K33+703—717	11-14		
L6-5	K33+722—726	12-14		

(7) R1 剖面地层波速与松动区分布

R1 剖面为右线铺面，对应某号联络线，里程 HYK34+175—275。剖面图中左端为小里程，右端为大里程。该剖面显现地层背景波速在 900m/s 左右，地层较密实。剖面内柱状高速区零星分布，说明注浆点较稀，仅起到局部加固效果。剖面内仅有 7 处小规模残留低速异常区，多数分布在柱状高速区之间，说明这些低速区是由于加固注浆不饱满遗留下来的小型脱空区。体积不大，但松散程度严重，包含部分脱空。松散与脱空区的位置分布参数见表 R1。



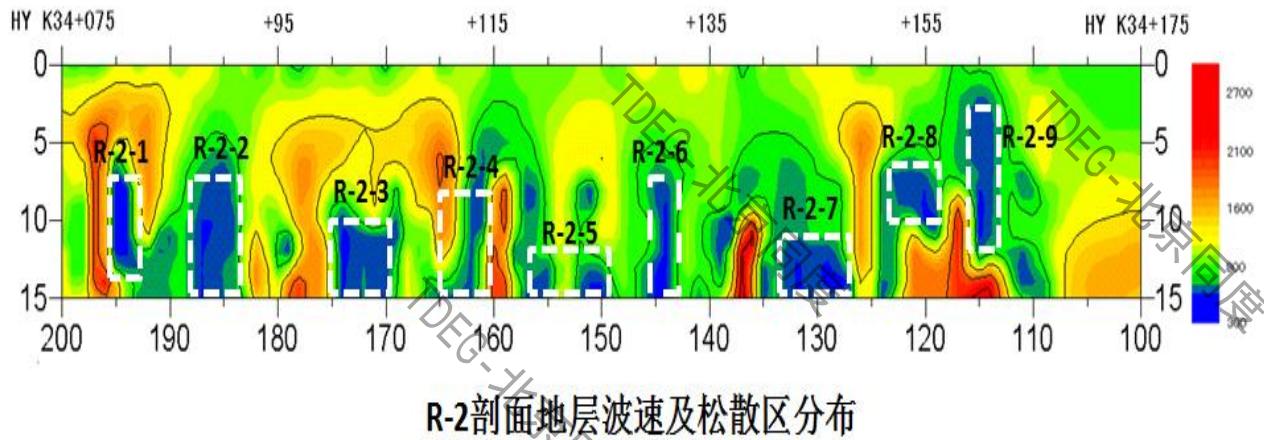
R-1 剖面松散区位置及处理意见(表 R-1)

松散区编号	位置里程	埋深(米)	横向	注浆建议
R1-1	K34+178—191	6-12		
R1-2	K34+188—194	3-7		
R1-3	K34+211—215	11-14		
R1-4	K34+223—226	8-14		
R1-5	K34+233—238	12-14		
R1-6	K34+241—246	5-14	宽	横排孔
R1-7	K34+248—252	12-14		

(8) R2 剖面地层波速与松动区分布

R2 剖面里程 HYK34+075—175，剖面图中左端为小里程，右端为大里程。该剖面显现地层背景波速在 900m/s 左右，地层较密实。剖面内柱状高速区较肥硕，说明注浆压力较大，浆液扩散较宽，但注浆点较稀，饱满度不够，尚残留下 9 处小尺度低速脱空区。松散与脱空区的位置分布参数见表 R2。这些低速区分布在高速体近旁，说明是由于加

固注浆不饱满遗留下来的。虽然体积不大，但松散程度严重，包含部分脱空，需要十分关注与处理。

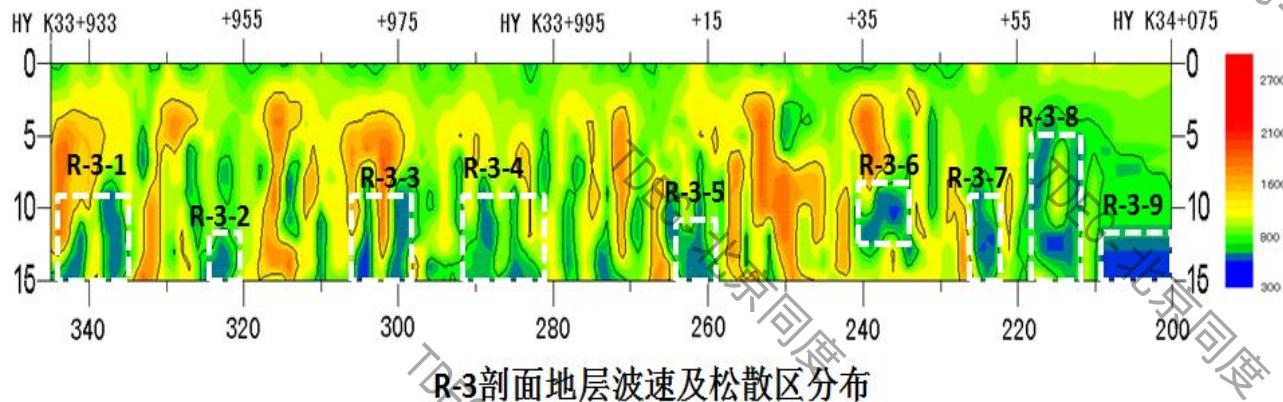


R-2 剖面松散区位置及处理意见 (表 R2)

松散区编号	位置里程	埋深(米)	横向	注浆建议
R2-1	K34+079—082	7-13		
R2-2	K34+087—092	7-14	宽	横排孔
R2-3	K34+100—106	10-14	宽	横排孔
R2-4	K34+110—114	8-14		
R2-5	K34+118—126	12-14		
R2-6	K34+129—132	7-14		
R2-7	K34+142—148	11-14	宽	横排孔
R2-8	K34+151—157	6-10		
R2-9	K34+158—162	2-12		

(9) R3 剖面地层波速与松动区分布

R3 剖面里程 HYK33+933—k34+075，剖面图中左端为小里程，右端为大里程。该剖面显现地层背景波速在 850-900m/s 左右，地层较密实。剖面内柱状高速区较肥硕连片，说明注浆压力较大，浆液扩散较宽，注浆点较密。注浆残留的低速区虽然数量多达 9 处，但较为分散，尺度不大，松散程度较轻，仅 R-3-9 较为严重。松散与脱空区的位置分布参数见表 R3。除 R-3-9 松散区是由超挖引起的外，其余的低速区均是由于注浆加固的浆液不饱满遗留下来的。总体评价该剖面松散程度较轻。但应对 R-3-9（里程 k34+070- 075m）从隧道内进行补充注浆处理。



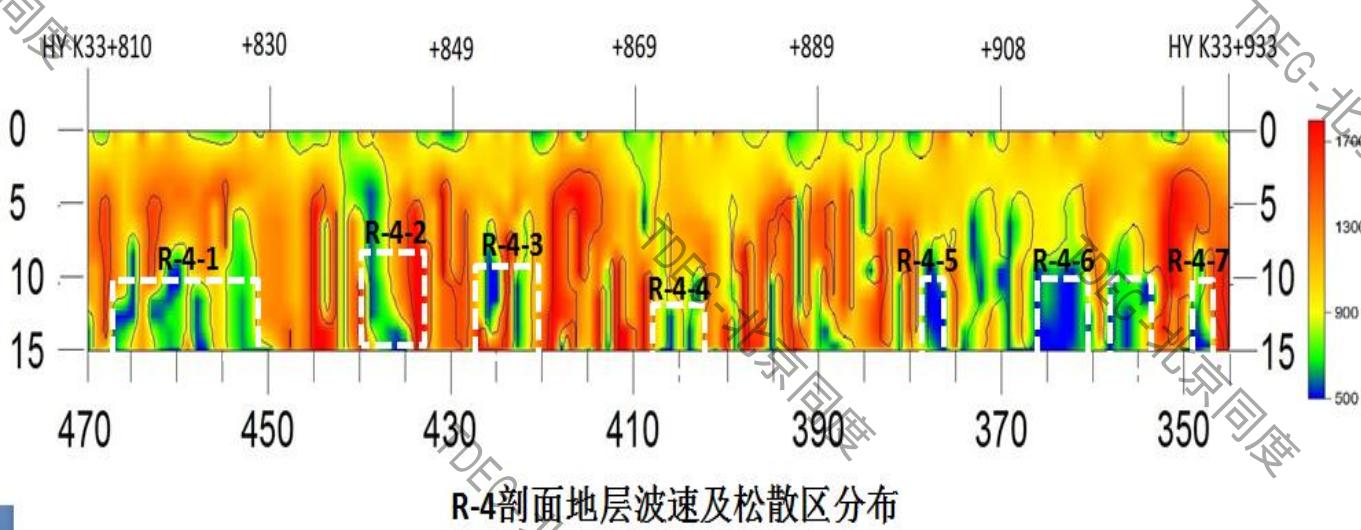
R-3 剖面地层波速及松散区分布

R-3 剖面松散区位置及处理意见（表 R-3）

松散区编号	位置里程	埋深(米)	横向	注浆建议
R3-1	K33+933—938	9-14		
R3-2	K33+951—955	12-14		
R3-3	K33+969—977	9-14		
R3-4	K33+983—993	9-14		
R3-5	K34+011—016	11-14		
R3-6	K34+034—041	9-13		
R3-7	K34+048—053	9-14		
R3-8	K34+057—063	5-14		
R3-9	K34+066—075	12-14	宽 横排孔	

(10) R4 剖面地层波速与松动区分布

R4 剖面里程 HYK33+810—933，剖面图中左端为小里程，右端为大里程。该剖面显现地层背景波速在 900-950m/s 左右，地层密实、稳定。剖面内柱状高速区较肥硕连片，说明注浆加固压力较大，浆液扩散较宽，注浆点密集。注浆残留的低速区较为分散，尺度较小，松散程度较轻，仅 R-4-6 较为明显。松散与脱空区的位置分布参数见表 R4。除 R-4-6 松散区是由超挖引起的外，其余的低速区均是由于注浆加固的浆液不饱满遗留下来的。总体评价该剖面松散程度较轻。但应对 R-4-6 (里程 k34+912- 917m) 5m 长、R-4-5 (里程 900-902) 2m 长地段从隧道内进行补充注浆外，其余 5 处因为程度轻、尺度小可以免予处理。

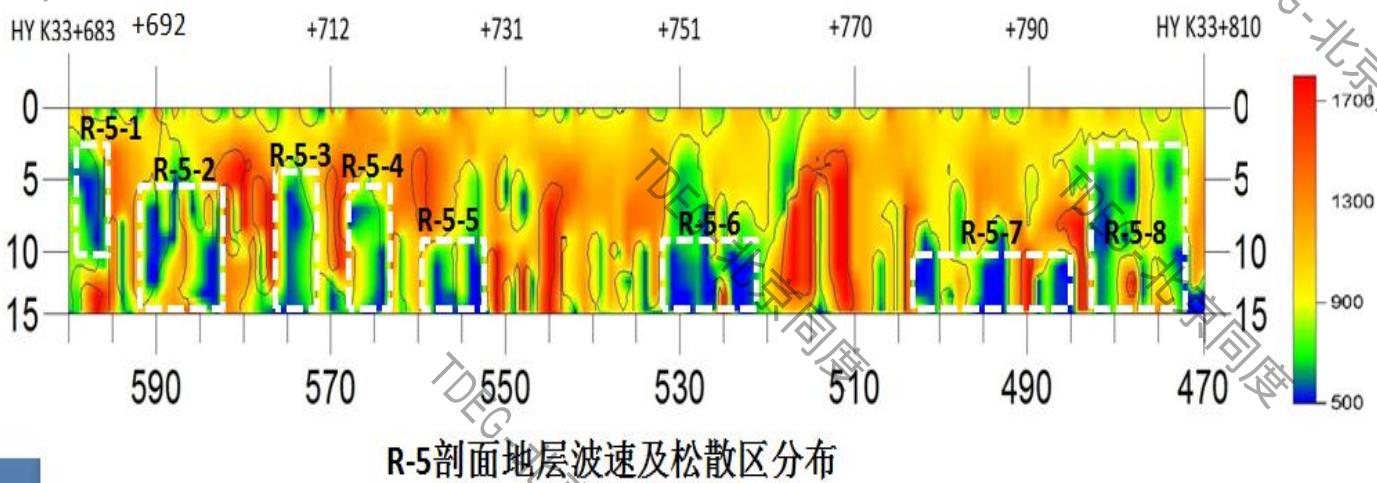


R-4 剖面松散区位置及处理意见（表 R4）

松散区编号	位置里程	埋深（米）	横向	注浆建议
R4-1	K33+813—828	8-14		
R4-2	K33+840—847	6-13		
R4-3	K33+852—859	7-14		
R4-4	K33+871—877	10-14		
R4-5	K33+900—902	8-14		
R4-6	K33+912—917	8-14	宽	横排孔
R4-7	K33+919—924	8-14		
R4-8	K33+928—930	8-14		

(11) R5 剖面地层波速与松动区分布

R5 剖面里程 HYK33+683—810，剖面图中左端为小里程，右端为大里程。该剖面显现地层背景波速在 900m/s 左右，地层密实、稳定。剖面内柱状高速区较肥硕连片，说明注浆加固效果明显。注浆残留的低速区虽然数量多达 8 处，但较为分散，尺度不大。仅 2 处的松散程度较重，即 R-5-6、R-5-7，长度也较大，可以从隧道内注浆处理。

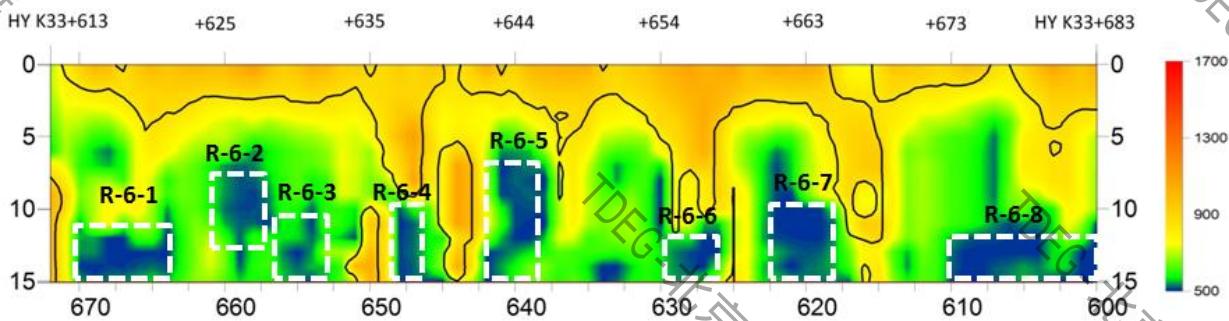


R-5 剖面松散区位置及处理意见（表 R5）

松散区编号	位置里程	埋深（米）	横向	注浆建议
R5-1	K33+684—687	3-10		
R5-2	K33+690—699	6-14		
R5-3	K33+706—710	5-14		
R5-4	K33+714—719	6-14		
R5-5	K33+723—729	9-14		
R5-6	K33+749—760	9-14	宽	横排孔
R5-7	K33+777—794	10-14		
R5-8	K33+797—807	3-14		

(12) R6 剖面地层波速与松动区分布

R6 剖面里程 HYK33+613—683，剖面图中左端为小里程，右端为大里程。该剖面显现地层背景波速在 900m/s 左右，地层密实、稳定。剖面内浅部波速较高，地层稳定，未见注浆加固痕迹。地下松散区较发育，多达 8 处。这些低速区均由开挖施工引起，与注浆无关。这些松散区分布较均匀，尺度不大，长度多在 5m 左右。其中 R-6-1、R-6-7、R-6-8 需要特别关注，可以从隧道内注浆处理。



R-6 剖面松散区位置及处理意见 (表 R6)

松散区编号	位置里程	埋深(米)	横向	注浆建议
R6-1	K33+613—620	11-14	宽	横排孔
R6-2	K33+624—628	7-12		
R6-3	K33+629—632	10-14		
R6-4	K33+636—638	10-14		
R6-5	K33+642—646	7-14		
R6-6	K33+654—659	12-14		
R6-7	K33+661—665	10-14		
R6-8	K33+673—683	12-14	宽	横排孔

对上述各剖面的解释结果进行分析统计，各剖面松散区的数量、长度列于下表 2。从中可以发现左线 L3、L4 剖面是松散、脱空最严重的地段，松散区占剖面的长度超过 60%。右线松散区分散，长度大，但松散程度较轻。

松散区统计表 (表 2)

左线 剖面	松散区 数量	松散区 长度(m)	总长度 (m)	右线 剖面	松散区 数量	松散区 长度	总长度
L1	2	7	159/649 占比 24%	R1	7	40	291/673 占比 43%
L2	7	31		R2	9	39	
L3	7	61		R3	9	59	
L4	7	62		R4	8	49	
L5	1	5		R5	8	65	
L6	5	29		R6	8	39	

TDEG-北京同度

五 探测主要结论

根据对各剖面的勘探结果的解释，将探测的主要结果汇总为以下几点：

- 1 左线总长度 649m，发现松散区 24 处，累计长度 159m，占比 24%；右线总长度 673m，发现松散区 41 处，累计长度 291m，占比 43%；右线的松散区多余左线；
- 2 最严重的松散区集中在左线中部 L3、L4 剖面内，里程 HZK33+836--HZ K34+046，长约 210m 的范围。松散程度比较严重。右线松散区比较分散，程度轻于左线。
- 3 根据发育的部位与形态判定，地下松散区有两种成因。一类是由于隧道超挖引起的，靠近隧道发育，形态圆润。另一类是由于注浆不饱满，土体液化形成的，分布在注浆孔周围，孤立，呈鸡窝状；
- 4 隐伏松散区是影响环境的主要隐患，需要压浆处理。在施工阶段地下水处于疏干状态，松散区可以稳定地存留下来。在重力与载荷作用下松散区会压实，发生地面不均匀沉降。如果损毁了给、排水管网，发生漏水，土体就会发生液化、流失，形成脱空与空洞，引起突发性路面塌陷。是治理的主要目标。

六 治理建议

根据探测的结果，以及松散区的潜在危险，提出如下原则治理建议。

- 1 对所列的 65 处松散区进行注浆治理，重点是左线里程 HZK33+836--HZ K34+046，长约 210m 的地段；
- 2 注浆孔的深度宜取在松散区的中心。对于较大的松散区应分段注浆，孔间距不宜大于 4m；
- 3 对于表中标记横向较宽的松散区，应采取横向 3 点并排注浆，横向孔距 4m 为宜；
- 4 在隧道内注浆时采用的压力应比地面注浆高 0.2MP，抵消浆液静压力，保证浆液有足够的渗透压力；
- 5 注浆一定力求饱满，否则会由于土体液化、流失等效应，形成水囊或脱空区，留下隐患。