

Instantel 振动监测仪 地铁隧道附近基坑支撑爆破拆除振动安全测试

1 项目概况

此次振动测试的主要目的是监测地铁隧道邻近区域的爆破工程对隧道的影响。爆破项目位于上海市繁华商业区之一的淮海中路边上，对 3 号地块 2A 基坑支撑进行爆破拆除，基坑紧邻地铁 1 号线陕西南路站，爆破区域（见图 1）距地铁隧道的直线最近距离仅 25 米左右。淮海路属重点商业区，地铁 1 号线又是极为重要的交通工程，以往类似拆除项目很少采用爆破方式。为了解爆破工程对地铁隧道的振动影响，在隧道内布置监测点，对爆破引起的振动进行三向监测。基坑共有 4 道支撑（见图 2），为减少爆破对周围建筑及环境的影响，按计划，每道支撑分 3 次进行爆破，即共进行 $4 \times 3 = 12$ 次爆破，且爆破时间选择在午夜 12 点以后。相应地，在地铁隧道内进行 12 次振动测试。根据业主方要求，并参考《爆破安全规程》，爆破引起的质点最大振动速度不宜超过 25mm/s。



图 1 爆破项目地点：淮海中路百盛附近



图 2 基坑支撑（加上红色覆盖下面的第 3、4 道支撑，共 4 道）

2 测试仪器

振动监测设备采用深圳市杰创立仪器有限公司独家代理的加拿大 InstanTel 系列振动监测仪，型号选用轻便的 MiniMate Plus 型主机+ISEE 型标准三向速度传感器（见图 3）。该设备一只速度传感器可同时监测垂向、切向、径向三个方向振动速度的变化，测试完成后现场仪器即时显示三方向的速度、加速度、位移、矢量和峰值，仪器轻便、重复性好、精度高。



图 3 InstanTel MiniMate Plus 振动监测仪主机+ISEE 型速度传感器

该型号的主要技术参数如下：

MiniMate Plus 振动监测仪主机：

通道	4 通道或 8 通道，可接检波器及麦克风
记录模式	单次、连续、手动、直方图、直方图混合（此项目测试选择手动）
采样率	所有通道同时采集 1,024~16,000S/s，单一通道 65,000S/s（需高级软件）（此项目测试采样率选择 4,096S/s）
地震触发级别	0.125~254 mm/s
记录停止模式	固定记录时间，InstanTel AutoRecord 自动停止模式（此项目测试选择固定记录时间 50s）
显示	测试后，显示速度、加速度、位移、矢量和等峰值
扩展性能	最多 6 套 8 通道主机连接，同时触发，用于多点监测
电池续航能力	可充电 6V 封闭胶体电池，210 小时连续监测能力
储存能力	300 个 1s 事件（在 1,024 S/s 采样率下），可扩展到 1500 个事件储存
远程通讯	与电话、GSM、RF、卫星、短距离 Modem、以太网等设备兼容，事件发生时通过 InstanTel Auto Call Home 功能自动传输数据
辅助输入输出	外部触发器、远程报警、GPS 定位
尺寸	81×91×160 mm
重量	1.4 kg

ISEE 型标准三向速度传感器：

量程	254 mm/s
分辨率	0.127 mm/s 或 0.0159 mm/s（内置前置放大）
精度	+/-5%
频率范围	2~250 Hz（其他频率范围的传感器可选）
最大电缆长度	75m（若采用 DIN 型，最大为 1000m）

3 测试时间

整个爆破工程首先对基坑底部的第4道支撑进行爆破拆除，截止到2009年2月27日，基坑第4道支撑3次爆破全部结束，上面剩余的3道支撑还未爆破。这3次振动测试的时间分别为：

第1次，2009年2月17日（星期二）01点00分24秒

第2次，2009年2月20日（星期五）00点58分36秒

第3次，2009年2月24日（星期二）00点58分51秒

4 爆破拆撑区域及现场工作照片

振动测试点位于地铁1号线陕西南路站—常熟路站区间上行线隧道内，三向速度传感器布置于管片上。（见图4）

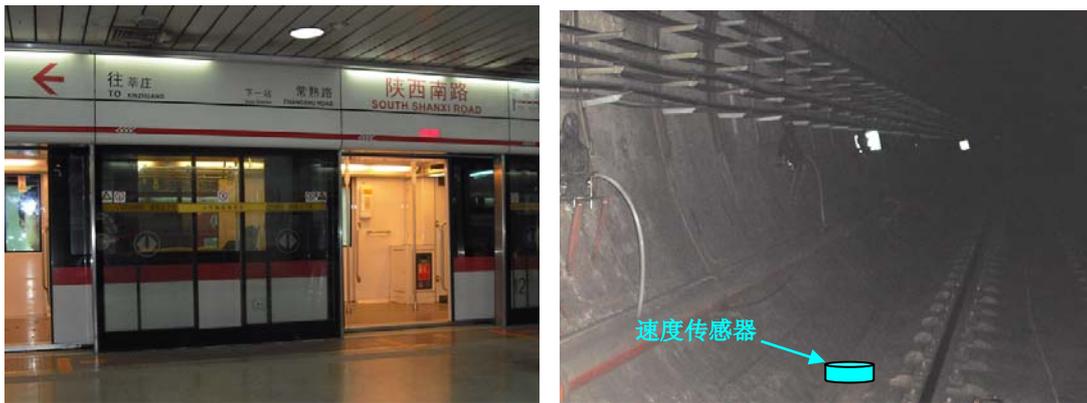


图4 振动测试地点及传感器布置位置

振动测试具体位置：

第1次爆破：第4道支撑东块区域爆破拆除，测点（单点三向）里程为SK8+171.4，位置及工作照片见图5。

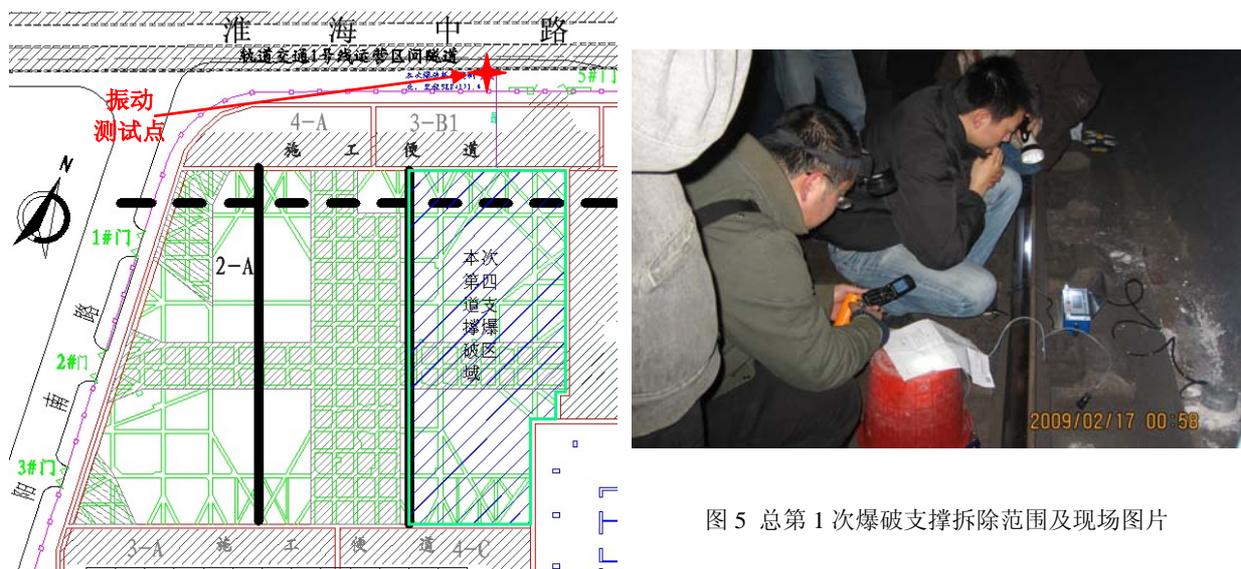


图5 总第1次爆破支撑拆除范围及现场图片

第2次爆破：第4道支撑中段区域爆破拆除，测点（单点三向）里程为 SK8+139.4，位置及工作照片见图6。

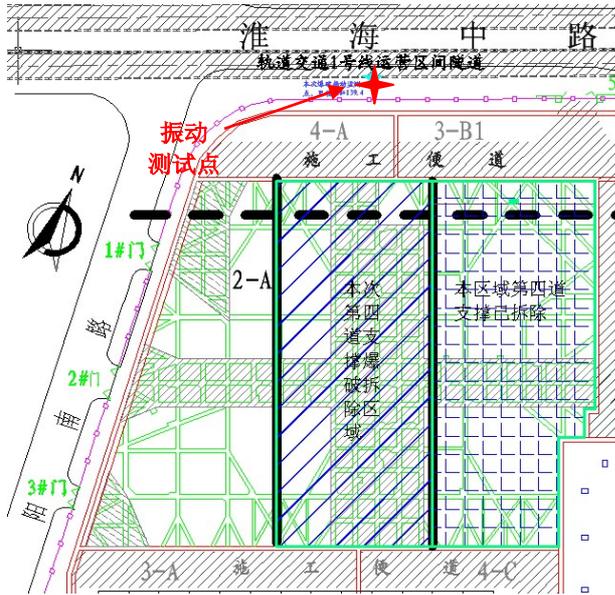


图6 总第2次爆破支撑拆除范围及现场图片

第3次爆破：进行第四道支撑西段区域爆破拆除，测点（单点三向）里程为 SK8+107.4，位置及现场图片图7。

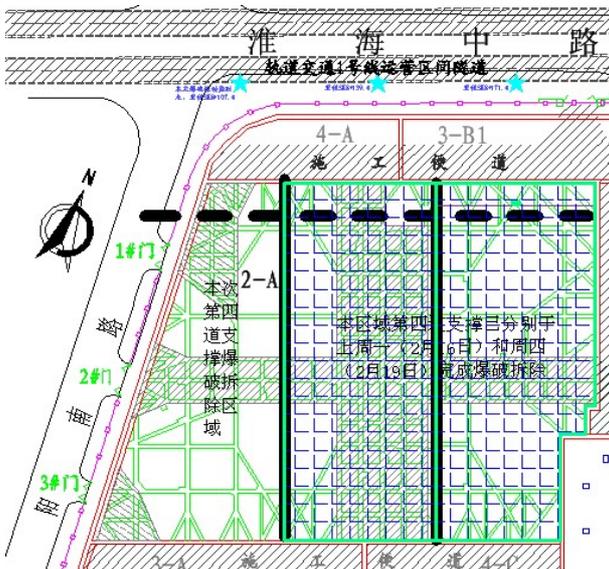


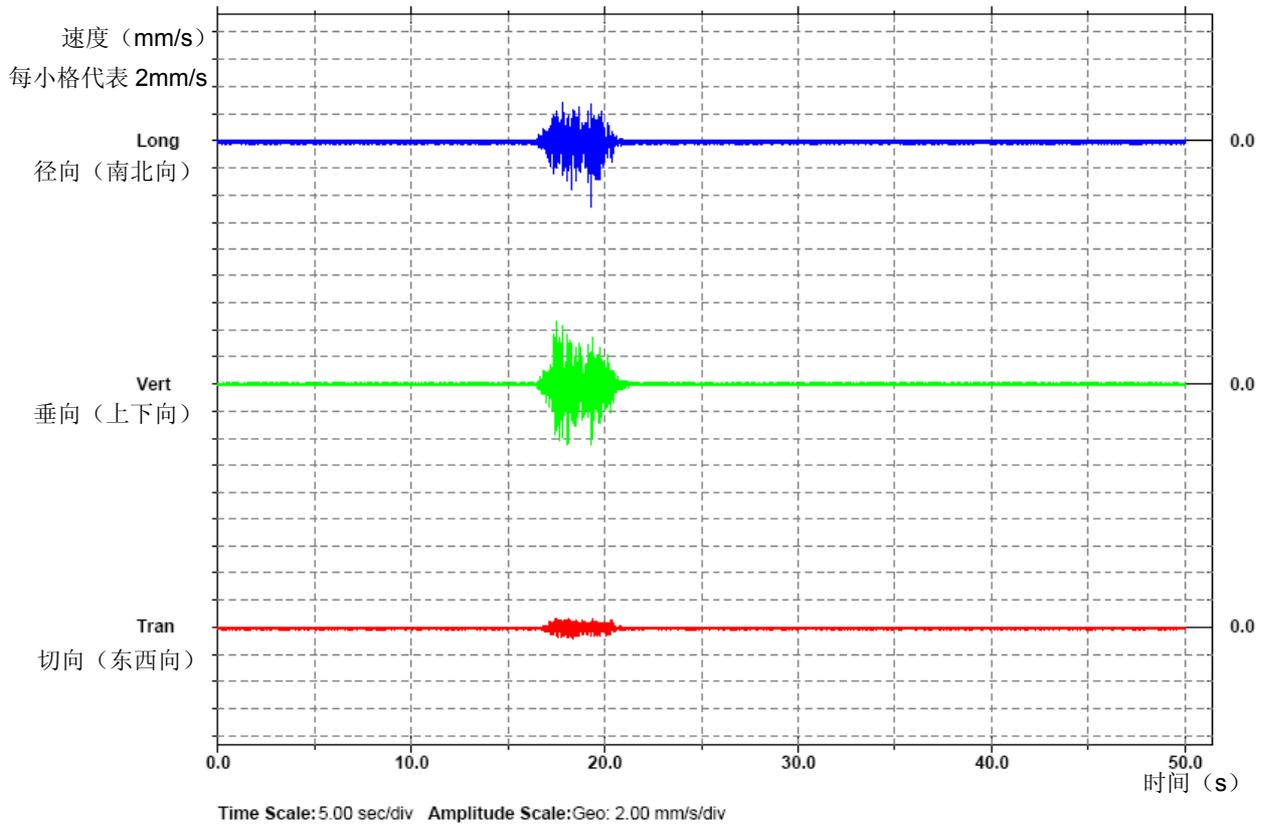
图7 总第3次爆破支撑拆除范围及现场图片

5 振动测试波形分析

5.1 第1次爆破（时间 2009年2月17日，01点00分24秒）

(1) 质点振动速度波形记录

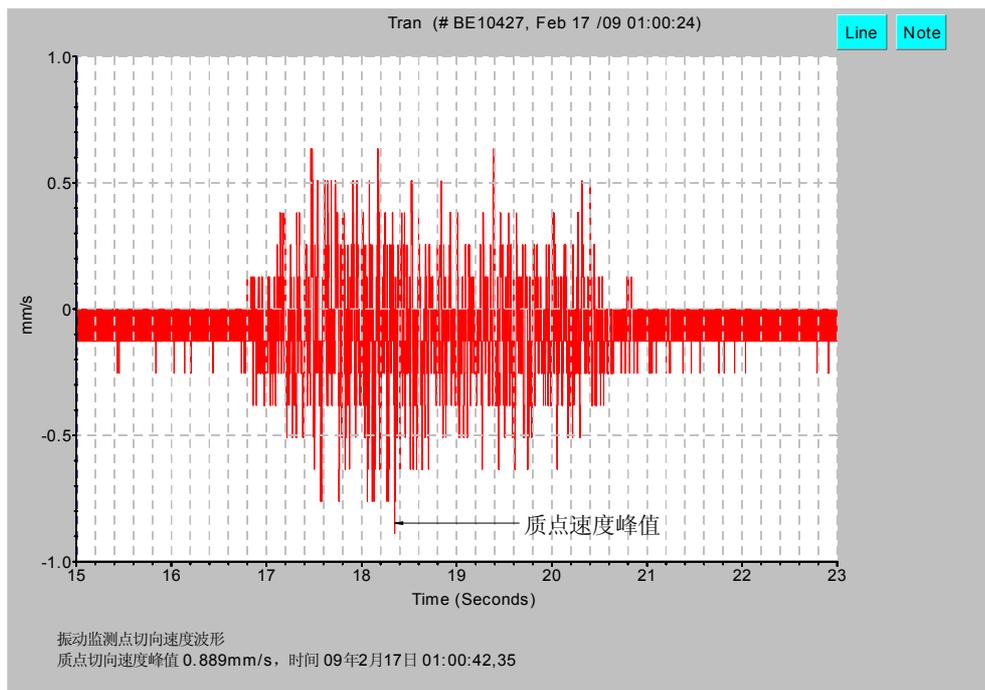
起始记录时间为 2009年2月17日，01点00分24秒



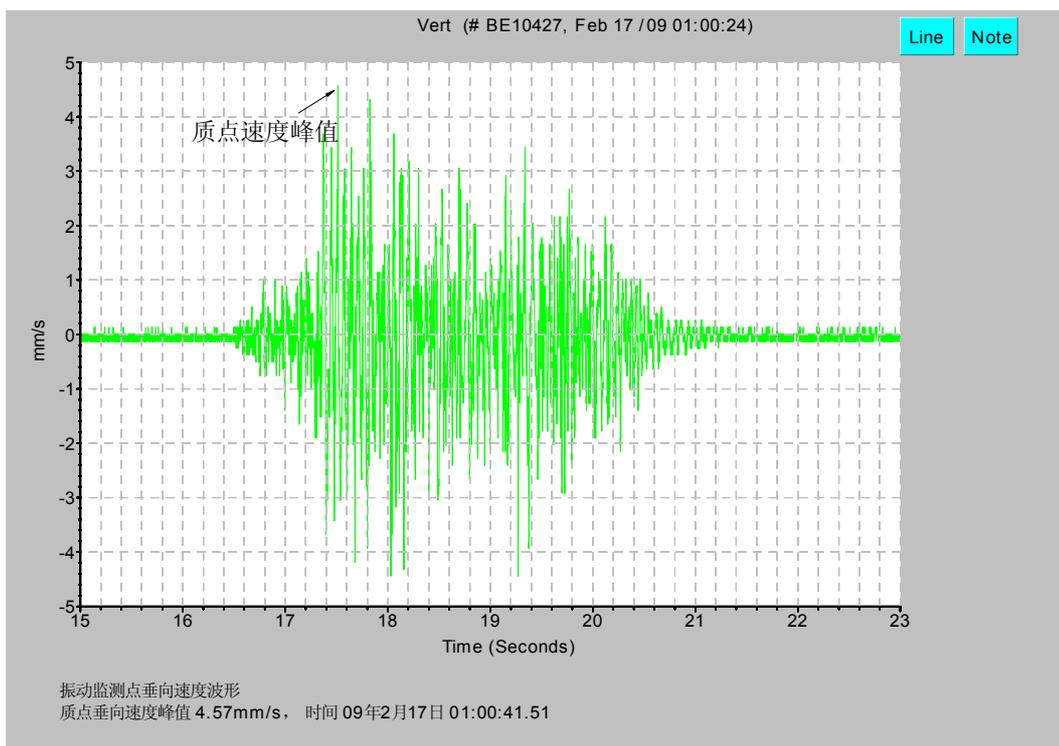
(2) 针对爆破产生的振动波形详细分析:

对以上三向质点振动速度波形爆破时间段波形放大后如下图所示:

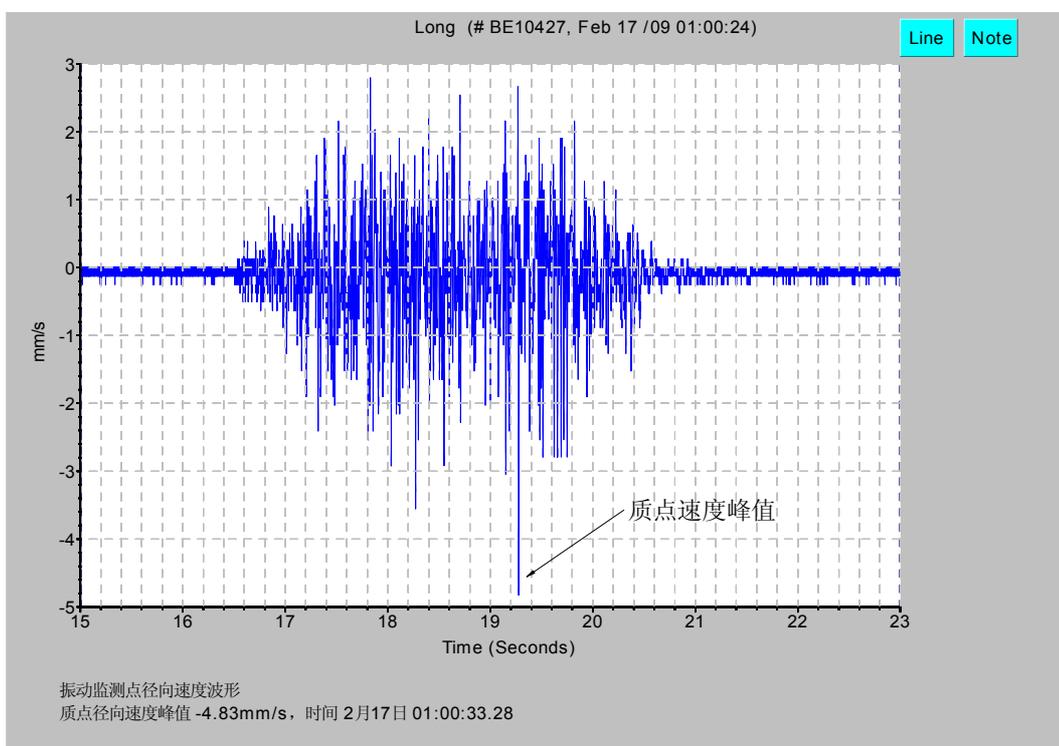
切向 (东西向) 质点振动速度波形爆破时间段波形



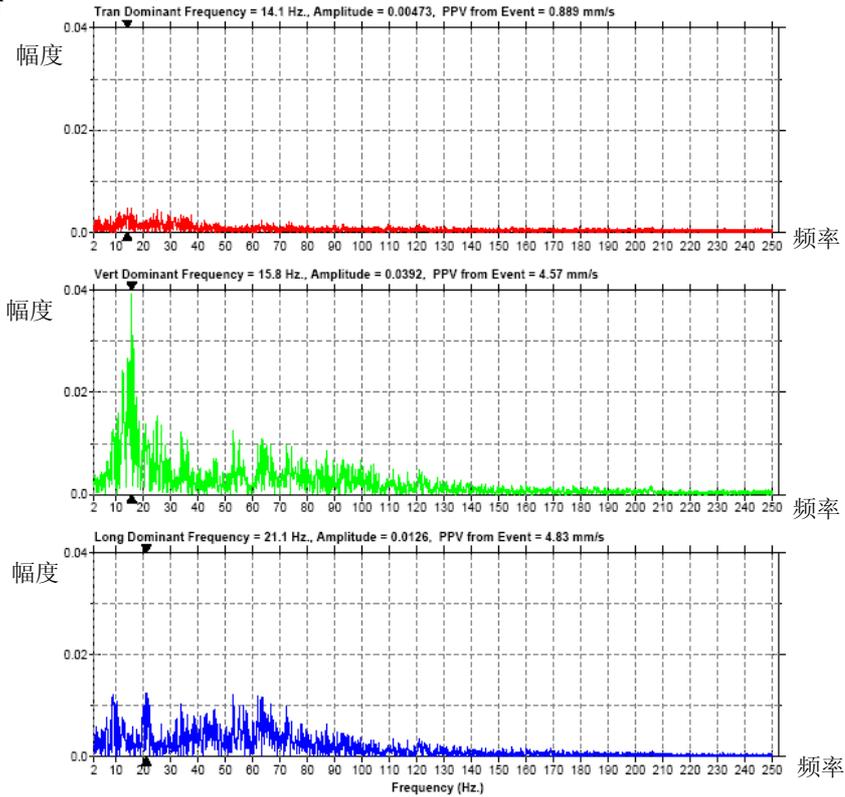
垂向（上下向）质点振动速度波形爆破时间段区域波形



径向（南北向）质点振动速度波形爆破时间段区域波形



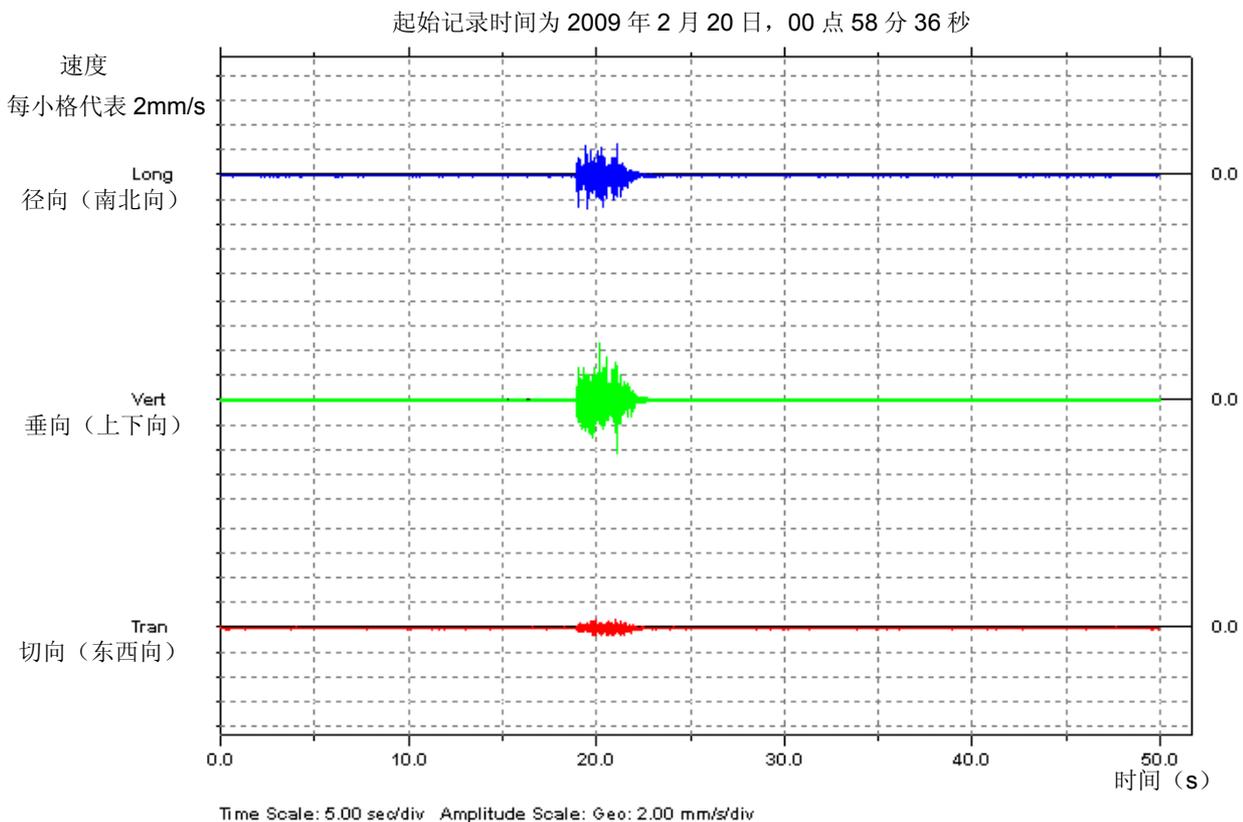
(3) 主振频率分析



切向（东西向）振动主频为 14.1Hz，垂向（上下向）振动主频为 15.8Hz，径向（南北向）振动主频为 21.1Hz。

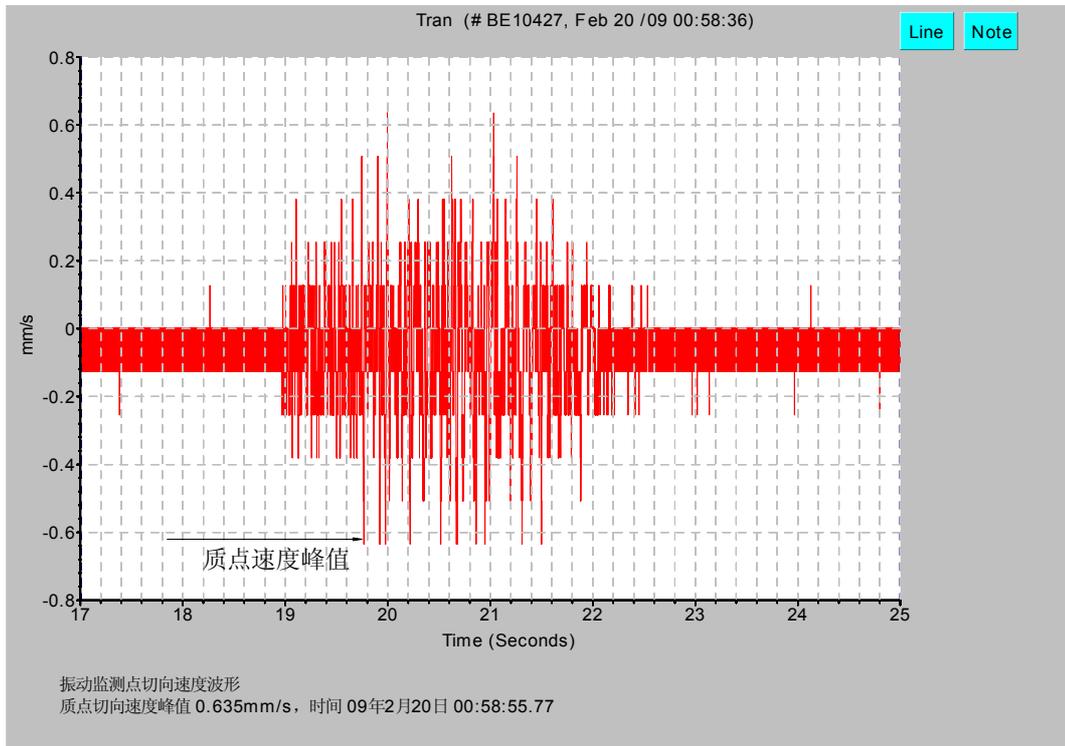
5.2 第 2 次爆破（2009 年 2 月 20 日，00 点 58 分 36 秒）

(1) 质点振动速度波形记录

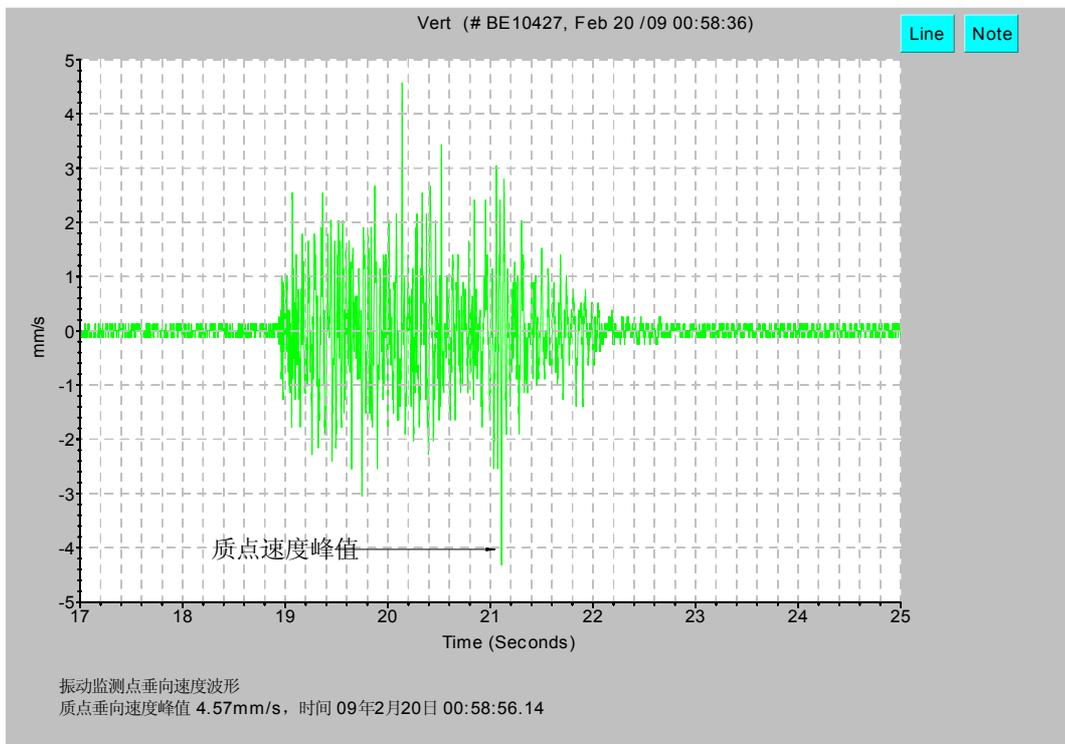


对以上三向质点振动速度波形爆破时间段波形放大后如下图所示：

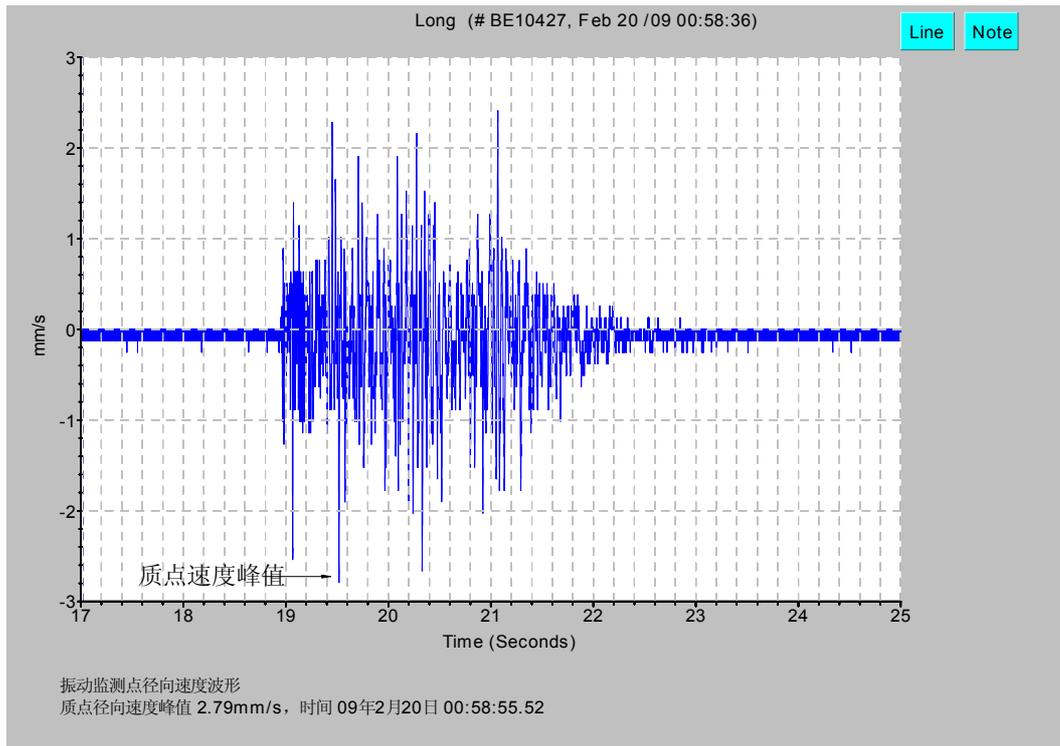
切向（东西向）质点振动速度波形爆破时间段区域波形



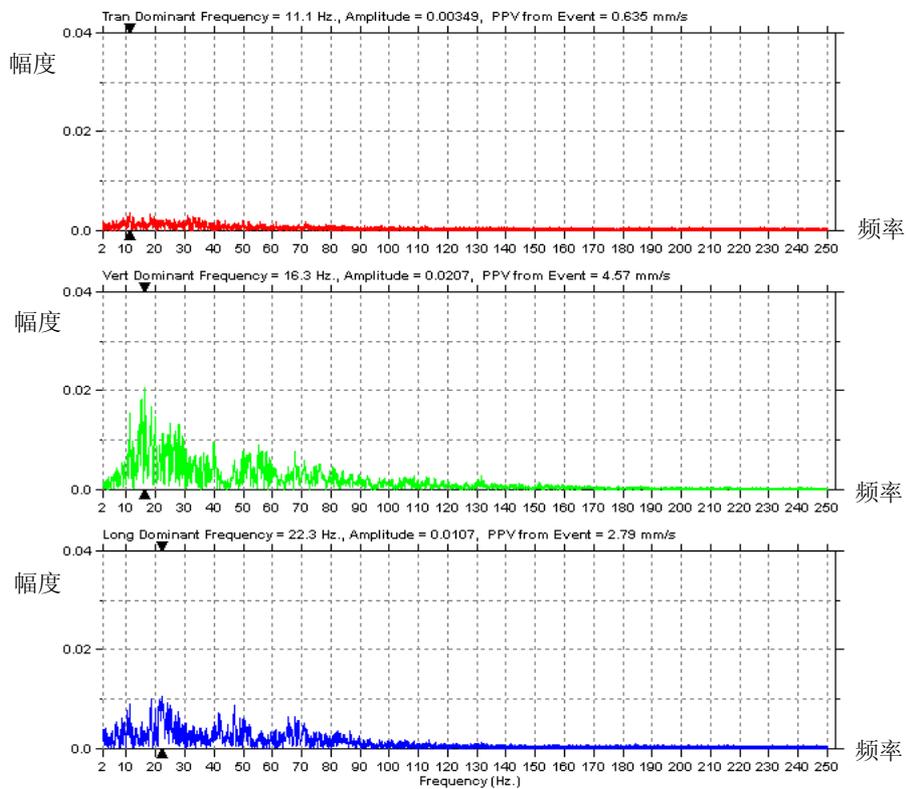
垂向（上下向）质点振动速度波形爆破时间段区域波形



径向（南北向）质点振动速度波形爆破时间段波形



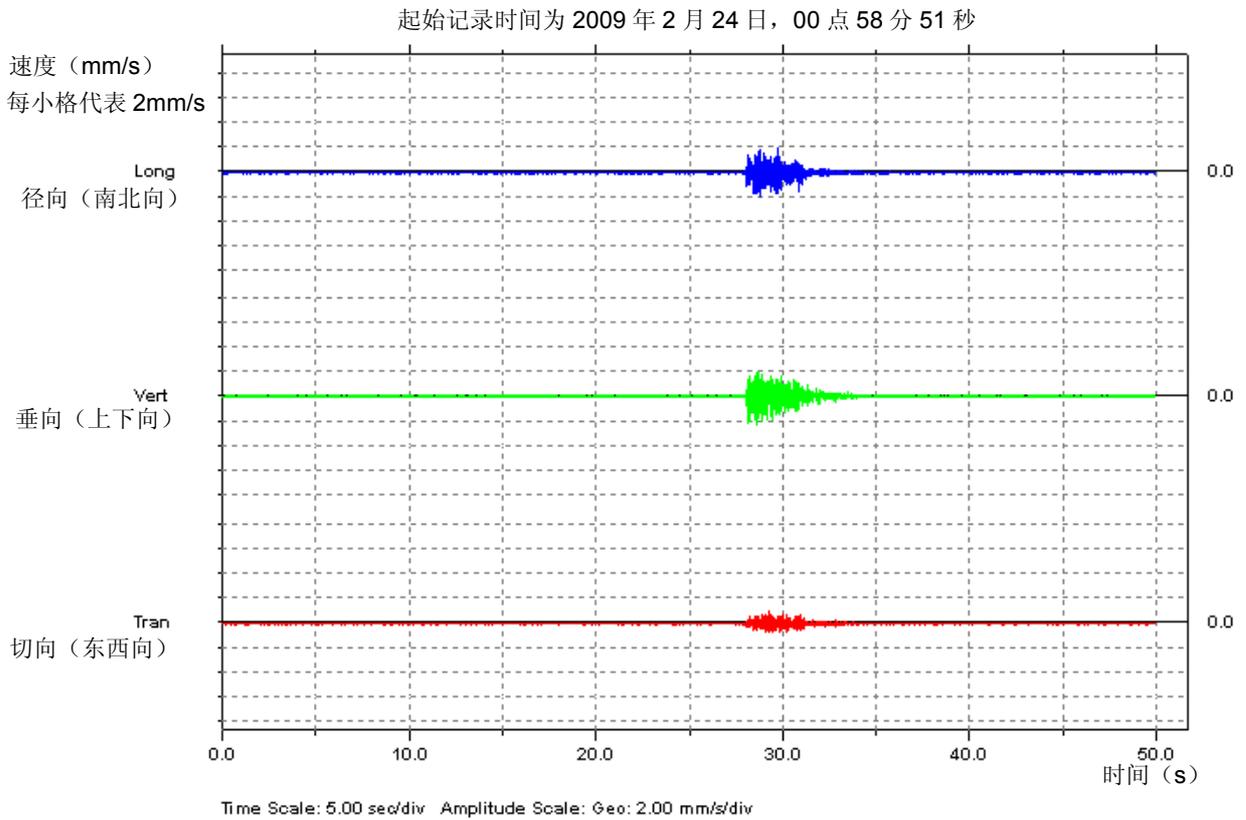
(3) 主振频率分析



切向（东西向）振动主频为 11.1Hz，垂向（上下向）振动主频为 16.3Hz，径向（南北向）振动主频为 22.3Hz。

5.3 第3次爆破（2009年2月24日，00点58分51秒）

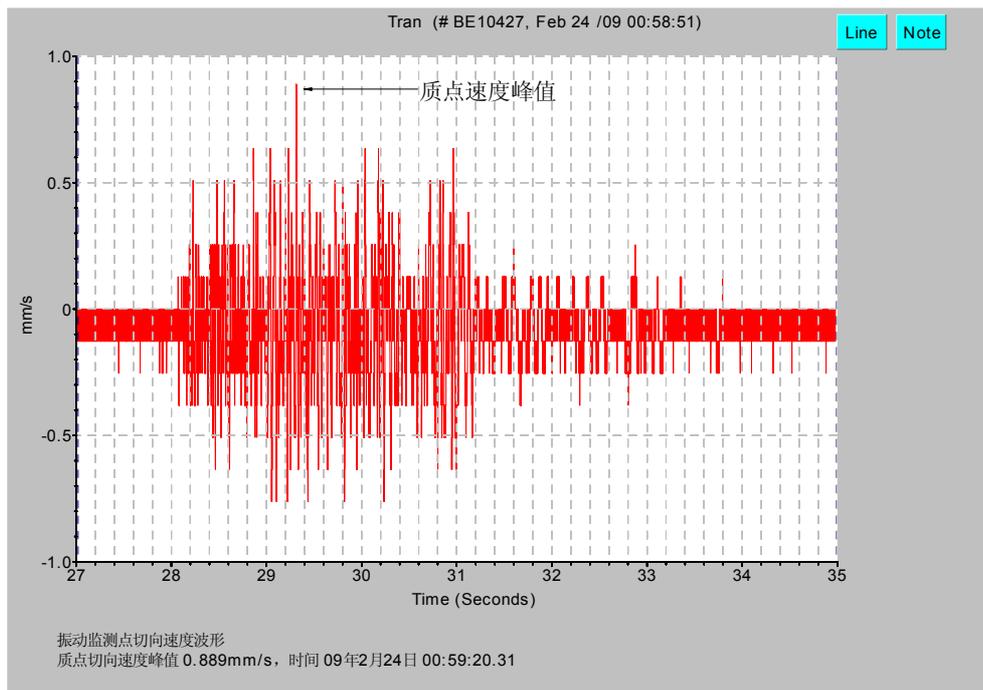
(1) 质点振动速度波形记录



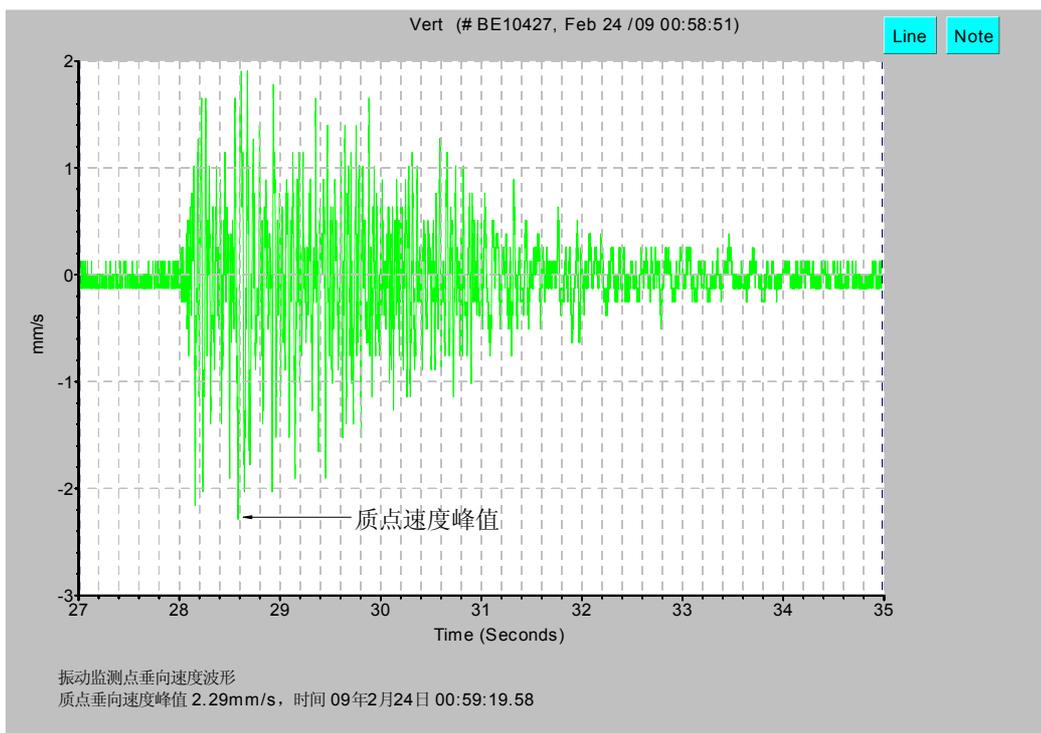
(2) 针对爆破产生的振动波形详细分析:

对以上三向质点振动速度波形起爆段波形放大后如下图所示:

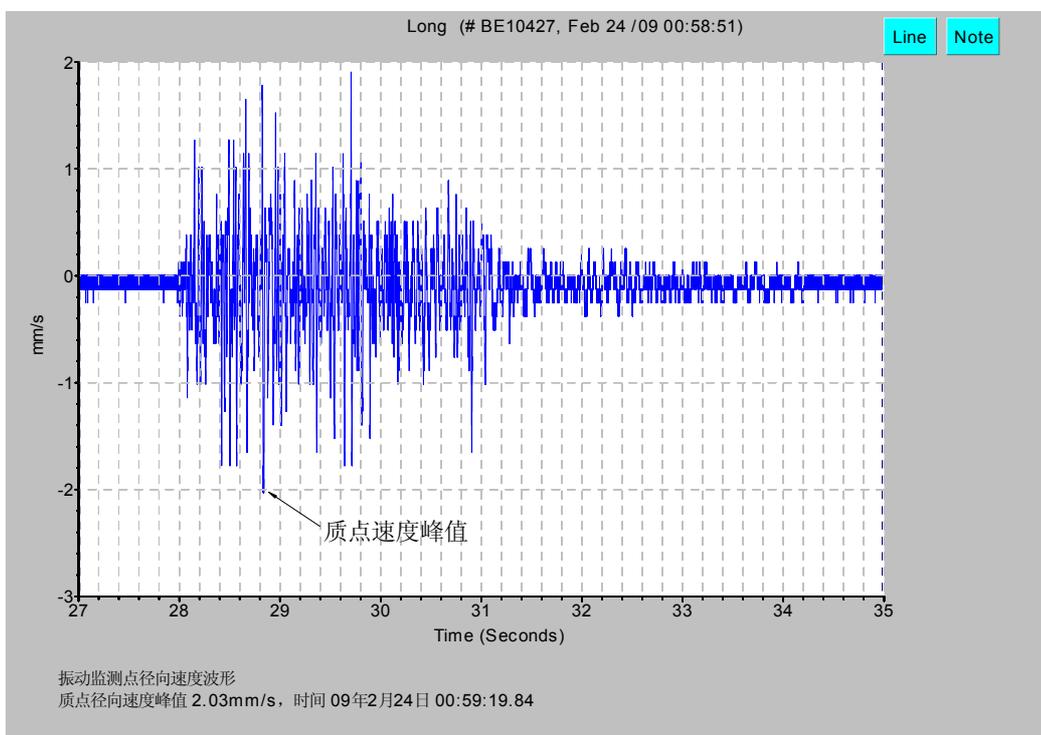
切向 (东西向) 质点振动速度波形爆破时间段波形



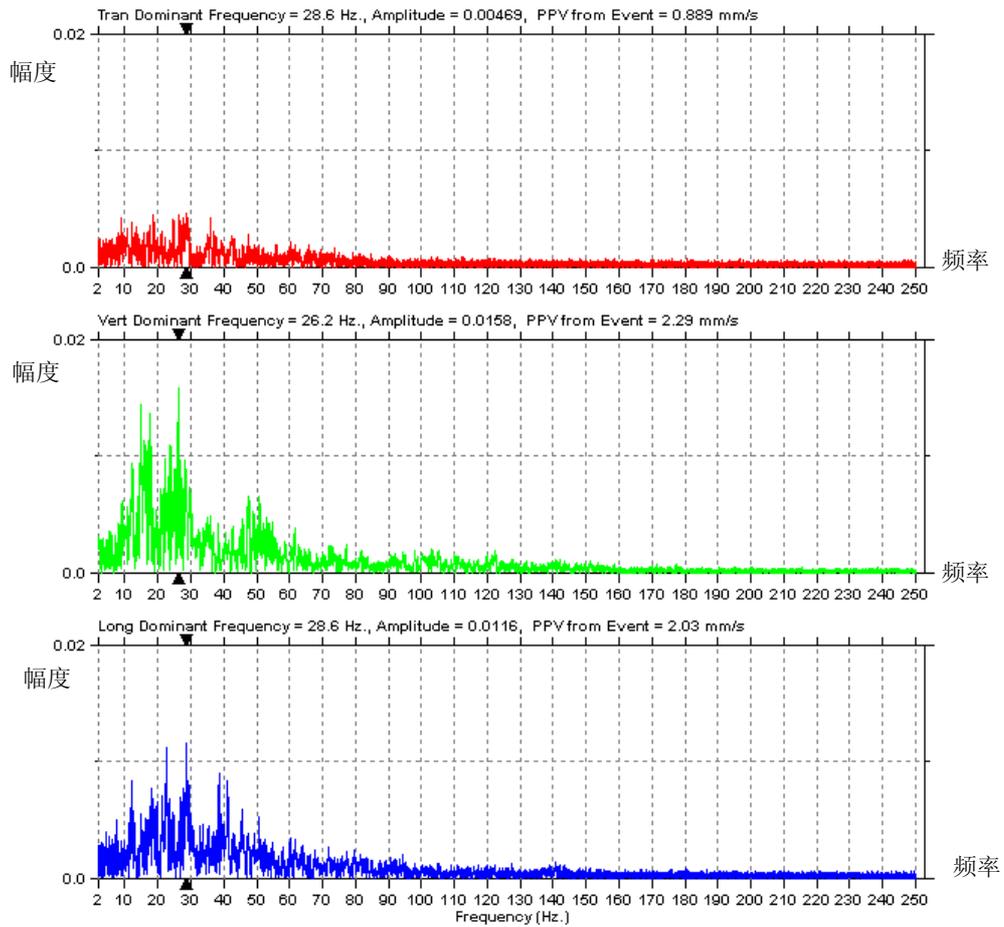
垂向（上下向）质点振动速度波形爆破时间段波形



径向（南北向）质点振动速度波形爆破时间段波形



(3) 主振频率分析



切向（东西向）振动主频为 28.6Hz，垂向（上下向）振动主频为 26.2Hz，径向（南北向）振动主频为 28.6Hz。

6 振动测试结果统计

第四道支撑东段爆破拆除峰值统计表

项目	单位	切向（东西向）	垂向（上下向）	径向（南北向）
质点振动速度峰值	mm/s	0.889	4.570	4.830
质点振动速度三维矢量和峰值	mm/s	5.070		
穿零频率（对应质点振动速度峰值）	Hz	38.6	18.3	49.0
主振频率	Hz	14.1	15.8	21.1
时间	sec	18.34	8	17.513
加速度峰值	g	0.106	0.265	0.265
位移峰值	mm	0.003	6	0.0347
				0.0158

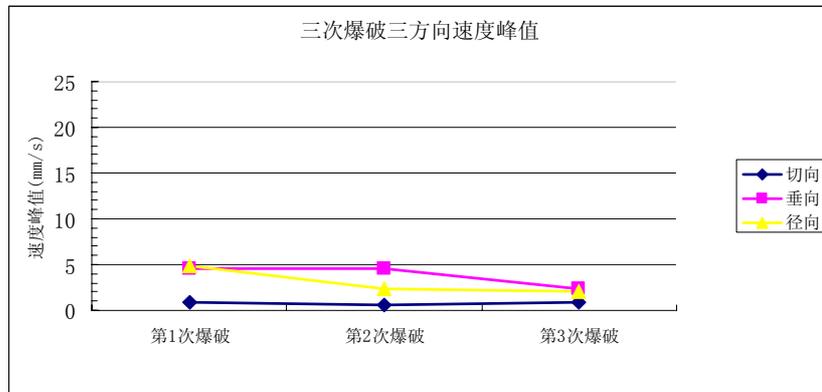
第四道支撑中段爆破拆除峰值统计表

项目	单位	切向（东西向）	垂向（上下向）	径向（南北向）
质点振动速度峰值	mm/s	0.635	4.570	2.790
质点振动速度三维矢量和峰值	mm/s	4.670		
穿零频率（对应质点振动速度峰值）	Hz	32.0	32.5	35.3
主振频率	Hz	1	16.3	22.3
时间	sec	19.76	6	20.140
加速度峰值	g	0.106	0.159	0.159
位移峰值	mm	0.004	28	0.02060

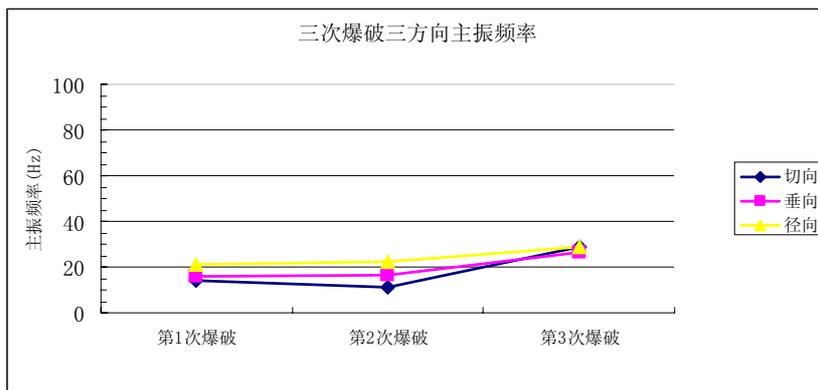
第四道支撑西段爆破拆除峰值统计表

项目	单位	切向（东西向）	垂向（上下向）	径向（南北向）
质点振动速度峰值	mm/s	0.889	2.290	2.030
质点振动速度三维矢量和峰值	mm/s	2.440		
穿零频率（对应质点振动速度峰值）	Hz	31.5	17.7	28.4
主振频率	Hz	28.6	26.2	28.6
时间	sec	29.31	2	28.584
加速度峰值	g	0.106	0.106	0.159
位移峰值	mm	0.007	41	0.02070

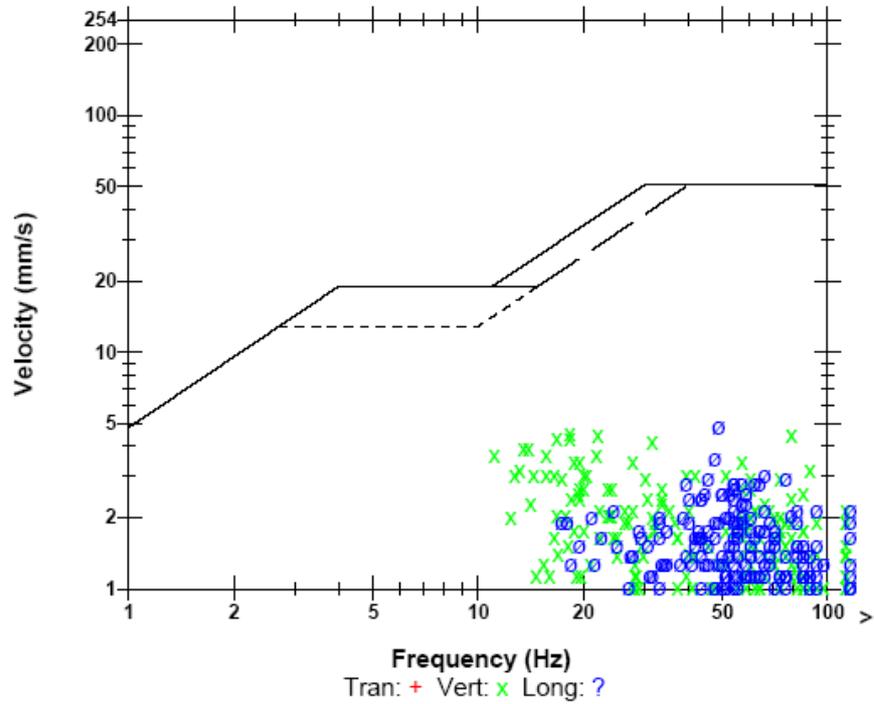
三次爆破垂向、切向（东西向）、径向（南北向）质点速度峰值统计：



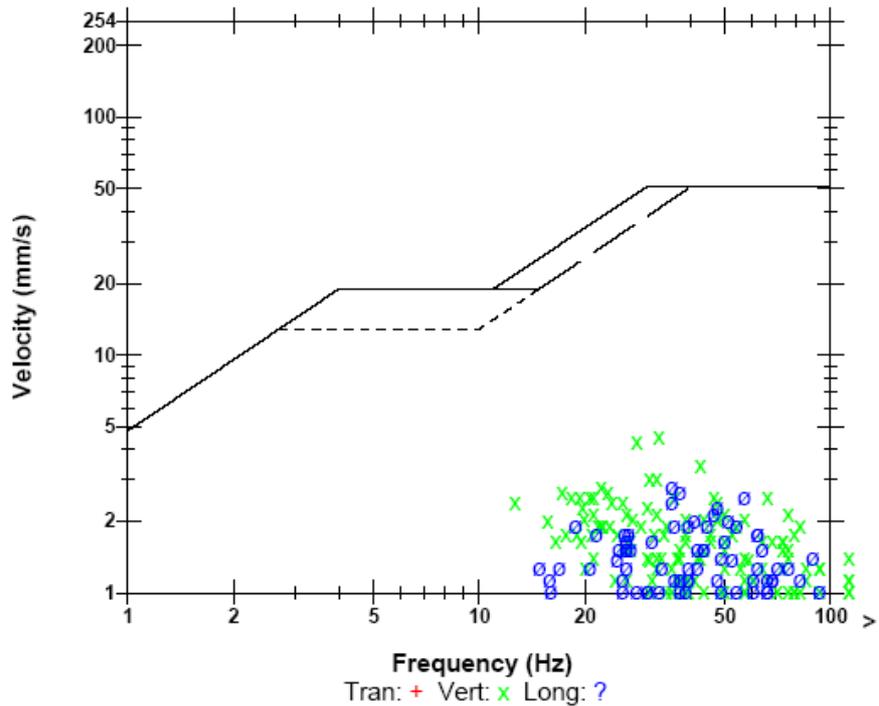
三次爆破垂向、切向（东西向）、径向（南北向）主振频率统计：



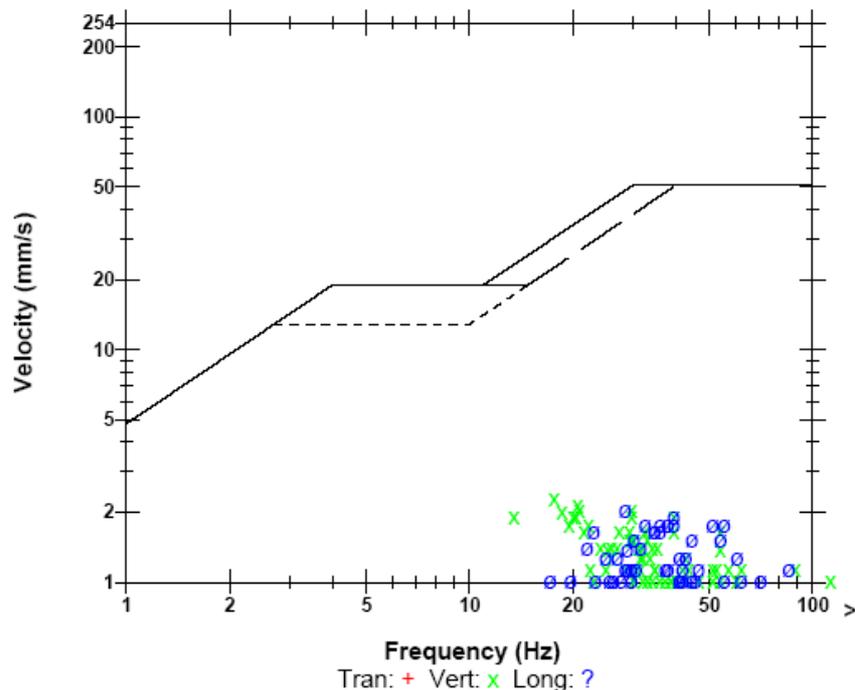
第 1 次爆破垂向、切向（东西向）、径向（南北向）质点速度波峰值频率速度统计（仅取速度 >1mm/s 的采样点）：



第 2 次爆破垂向、切向（东西向）、径向（南北向）质点速度波峰值频率速度统计（仅取速度 >1mm/s 的采样点）：



第3次爆破垂向、切向（东西向）、径向（南北向）质点速度波峰值频率速度统计（仅取速度： $>1\text{mm/s}$ 的采样点）：



7 结论

截止到 2009 年 2 月 27 日此次基坑拆除爆破的第 4 道支撑已爆破完毕，即整个爆破工程完成了 1/4，其余的爆破工作将于接下来的 3~4 月内完成。就第一阶段的工作可得出以下结论：

(1) 三次爆破的质点振动速度三方向矢量和峰值*分别为 5.07 mm/s 、 4.67 mm/s 、 2.44 mm/s ，均未超出警戒振动速度 25mm/s ，可见采取单层支撑分块进行爆破拆除的方法，爆破总体控制程度较好，将爆破振动对地铁隧道环境的影响减少到了一定的程度。

$$*\text{矢量和峰值} = \sqrt{T^2 + V^2 + L^2}$$

这里 T、V、L 分别指切向、垂向、径向质点振动速度峰值。

(2) 三次爆破垂向、径向（南北向）、切向（东西向）的质点速度峰值总体来说较小，都在 4.57mm/s 以内。

(3) 比较三次爆破三个方向的质点速度峰值，可以看出切向（东西向）峰值最小，在 $0.635\text{mm/s} \sim 0.889\text{ mm/s}$ 之间，垂向、径向（南北向）质点速度峰值相对较大，在 $2.030\text{mm/s} \sim 4.830\text{mm/s}$ 之间。可见，沿地铁区间隧道走向（东西向）受爆破振动影响较小。这与项目实际情况相符，地铁隧道在走向（东西向）上为大的整体结构，该方向产生振动所需要的能力较大，而震源来源于地铁隧道的切向（南北向）位置。

(4) 从爆破垂向、切向（东西向）、径向（南北向）质点速度波峰值频率速度统计（仅取速度 $>1\text{mm/s}$ 的采样点）看，相对来讲，第 1 次爆破对隧道的影响最大，第 3 次最小。这与爆破区域的大小、装药量都有关系；另外，第 1 次爆破拆除区域为全封闭环境，而第 2、3 次爆破由于部分区域已爆破拆除完成，封闭稍弱，这可能也是其中的一个原因。

8 思考与建议

(1) 该项目基坑爆破区域与地铁隧道间有一堵 30m 深的地墙，对爆破产生的振动起到了一定的减缓作用。下次可在地墙内区域地表位置加布测点，与隧道内测点进行对比分析，以了解地墙的减振作用及爆破近距离区域的振动情况；另外，还可在附近地表建筑物内布置测点，测试爆破对周围环境的影响。

(2) 此次基坑第 4 道支撑爆破拆除工作分 3 次进行，总体来看，对地铁隧道的影响较小。后面可适当增加爆破区域，减少爆破次数，加快工程进度，并同时做好振动安全监测工作。