

下穿高铁爆破施工安全控制

Safety Control for Blasting Construction of Underground High-speed Railway

鲁甲兵

Jiabing Lu

中铁十局集团第三建设有限公司兰渝项目部, 中国·安徽 合肥 230000

Lanyu Project Department of China Railway the Third construction Co., Ltd. Hefei, Anhui, 230000, China

【摘要】某隧道因突泥涌水故增设泄水洞,泄水洞水文地质复杂,下穿一条既有线铁路无砟轨道,二条既有有线有砟轨道,泄水洞拱顶开挖线与既有隧道仰拱底开挖线净距为5米,被视为该条铁路线第一风险,设计为非爆破开挖,因隧道尺寸小无法使用机械开挖,申请采用电子数码雷管错相减震爆破工艺,经成都铁路局和专家组对此方案的爆破参数、振速以及各类监测和防护措施等各方面进行了论证同意实施控制爆破,最终在实践过程中取得了良好的效果,研究的结论和实践经验对同类工程有较好的借鉴作用。

【Abstract】A tunnel is provided with water leakage due to water inrush from mudslides. The hydrogeology of the drainage tunnel is complex. It passes through a ballastless railway track of an existing railway, two existing ballasted tracks, excavation lines of excavation holes and existing tunnels. The net distance of the excavation line at the bottom of the arch is 5 meters. It is regarded as the first risk of the railway line. It is designed as non-explosive excavation. Because the tunnel is small in size and mechanical excavation cannot be used, the electronic digital detonator is applied to the wrong-phase shock-absorbing blasting. The technology, through the Chengdu Railway Administration Bureau and the expert group, demonstrated the blasting parameters, vibration speed, and various types of monitoring and protective measures for this project. They all agreed to implement controlled blasting, and finally achieved good results in the practice process. And practical experience has a good reference for similar projects.

【关键词】既有线;电子数码雷管;振速监测;错相减振。

【Keywords】existing lines; digital detonators; vibration velocity monitoring; phase-error reduction

【DOI】<http://dx.doi.org/10.26549/gcjsygl.v2i6.830>

1 引言

随着我国铁路建设的快速发展,不可避免地会与既有线出现邻近或立体交叉情况,而运营铁路安全牵涉数量庞大的人身财产安全,既有线施工都会引起建设各方及监督部门的高度关注和严格控制。如泄水洞之类断面较小的隧道工程无法使用大型开挖设备进行作业,故只能不断的优化和创新爆破工艺,加强观测和监测,使得振速控制在合理范围内。电子数码雷管以其精确的延时控制技术被逐步运用到了各类爆破工程中,取得了较为明显的减振效果^[1]。

2 工程概况

兰渝线龙凤隧道泄水洞全长 1636.99m,净空为 4.6*4.1 m (宽*高)。泄水洞分别下穿和临近既有渭井上行线、渭井下行线、沪蓉线龙凤隧道。渭井上行线为单线无砟轨道,渭井下行线为单线有砟轨道,沪蓉线龙凤隧道为双线有砟轨道。围岩地质均为弱风化灰岩及白云岩、灰岩及盐溶角砾岩互层。泄水洞拱顶开挖线与既有隧道仰拱底开挖线净距为5米,经方案评审后确定铁路下穿正下方振速最大允许值为 5 cm/s。

3 爆破减振方案

(1)在 20 米至 15 米区间内,采用的是传统非电雷管分部爆破法,孔深从 1.2 米逐步缩减到 0.8 米,次序为下台阶掏槽—下台阶扩槽孔与辅助孔—上台阶辅助孔—底板与周边孔。传统非电雷管分部爆破法具体的设计方案如下。(见图 1,图 2,表 1)

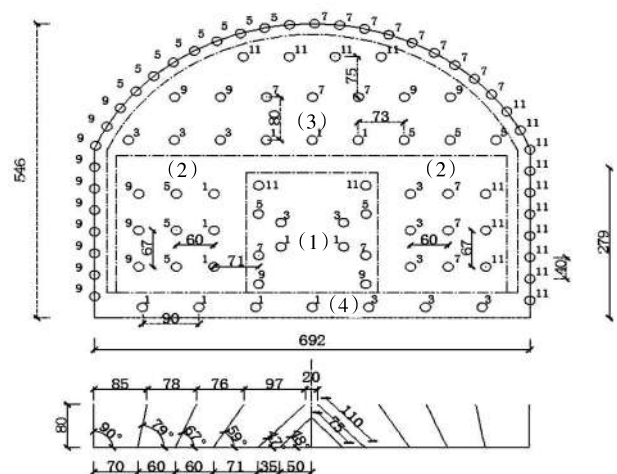


图 1

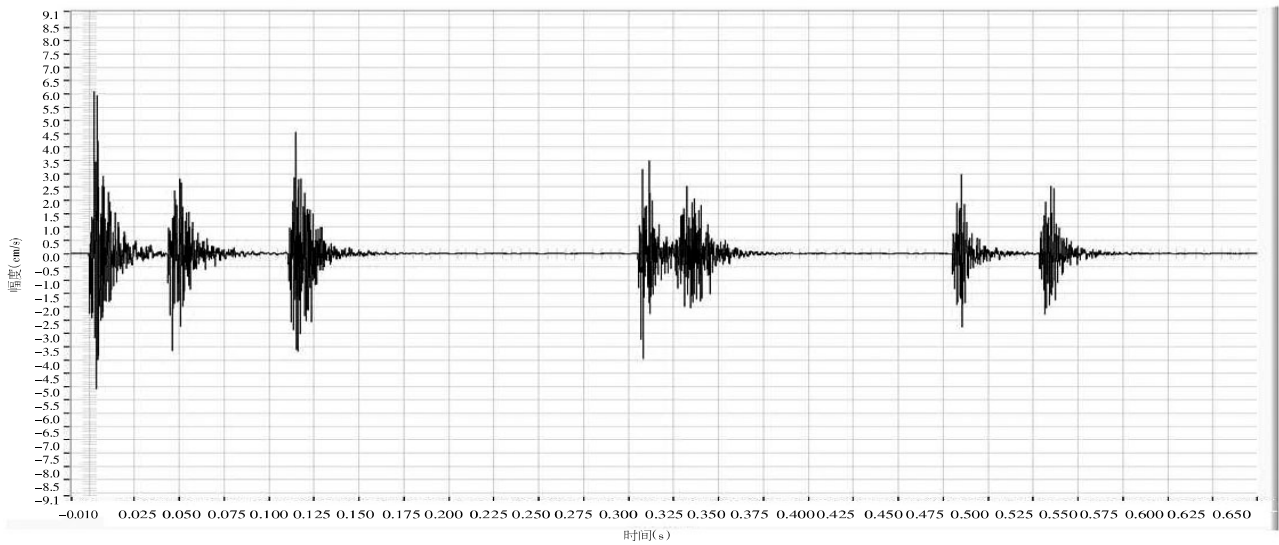


图 2

表 1

爆破部位	段别	单孔药量(kg)	孔数	单段药量(kg)	导爆管延时(ms)
(1)下台 阶掏槽部 分	1	0.4	2	0.8	10
	3	0.3	2	0.6	50
	5	0.4	2	0.8	110
	7	0.4	2	0.8	200
	9	0.6	2	1.2	310
	11	0.4	2	0.8	460
	合计		12	5.0	
(2)下台 阶扩槽眼 与辅助眼	1	0.4	3	1.2	10
	3	0.4	3	1.2	50
	5	0.4	3	1.2	110
	7	0.4	3	1.2	200
	9	0.4	3	1.2	310
	11	0.4	3	1.2	460
	合计		18	7.2	
(3)上台 阶辅助眼	1	0.4	3	1.2	10
	3	0.4	3	1.2	50
	5	0.4	3	1.2	110
	7	0.4	3	1.2	200
	9	0.4	4	1.6	310
	11	0.4	4	1.6	460
	合计		27	8.0	
(4)底板 眼与周边 眼	1	0.6	4	2.4	10
	3	0.6	3	1.8	50
	5	0.2	8	1.6	110
	7	0.2	9	1.8	200
	9	0.2	10	2.0	310
	11	0.2	10	2.0	460
	合计		37	11.6	
总计			94	31.8	

爆破结果如下:

爆破日期	最大振速(cm/s)	爆破部位	爆源距测点 直线距离(m)
2016.1.16	4.06	掏槽孔	18.4
2016.1.17	4.10	上台阶	16.7
2016.1.18	8.85	下台阶(除掏槽孔)	15.8
2016.1.19	8.68	上台阶	13.9
2016.1.21	6.07	上台阶	13.4
2016.3.16	7.59	上台阶	11.7
2016.3.17	12.29	上台阶	11.3
2016.3.18	15.09	周边孔	11.0

由监测数据可见,在爆破设计已逼近传统微振爆破工艺的极限的情况下,依然远远无法达到控制振速的要求,尤其是在近距离下。因此必须采用其它爆破方法,故考虑采用电子雷管数码智能爆破方法。

(2)在 15 米-10 米区间内,采用的是电子数码雷管逐孔起爆,电子雷管时差范围内设定尽量在每个孔爆破振动衰减完毕后起爆下个孔,确实有效的降低了振速,除非进一步缩减进尺减少单孔药量,但对进度影响过大。电子数码雷管逐孔起爆具体的设计方案如下:(见图 3,图 4,表 2)

由监测数据可见,电子雷管逐孔起爆法已有效降低了振速,可仍存在单孔振速过大的问题。若坚持采用此方法,只能采取减小孔深和单孔药量的方式来降低振速。但为了保证爆破效果,0.8m 的孔深已是最小。所以考虑更换电子雷管错相减振法。

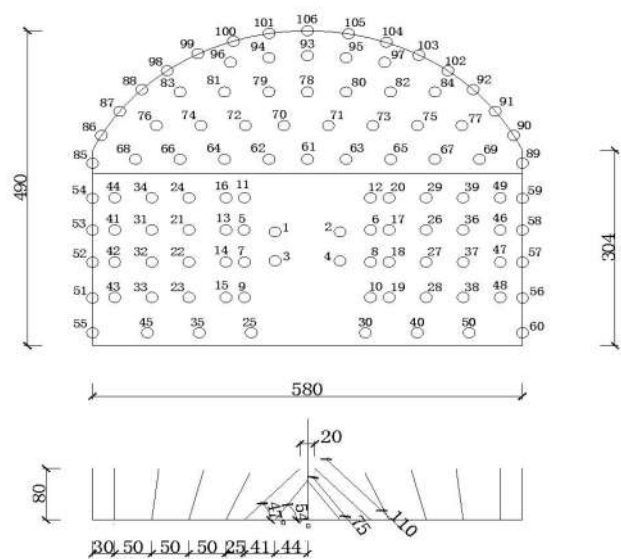


图 3

表 2

爆破部位	炮孔编号	爆破延时(ms)	单孔药量(kg)	炮孔类别	炮孔编号	爆破延时(ms)	单孔药量(kg)	炮孔类别
下台阶	1	1	0.2	掏槽(里)	31	765	0.3	辅助(侧)
	2	10	0.2	掏槽(里)	32	800	0.3	辅助(侧)
	3	19	0.2	掏槽(里)	33	835	0.3	辅助(侧)
	4	28	0.2	掏槽(里)	34	870	0.3	辅助(侧)
	5	37	0.4	掏槽(外)	35	905	0.4	底板
	6	46	0.4	掏槽(外)	36	940	0.3	辅助(侧)
	7	55	0.4	掏槽(外)	37	975	0.3	辅助(侧)
	8	64	0.4	掏槽(外)	38	1010	0.3	辅助(侧)
	9	73	0.4	掏槽(外)	39	1045	0.3	辅助(侧)
	10	82	0.4	掏槽(外)	40	1080	0.4	底板
	11	91	0.4	掏槽(外)	41	1115	0.3	辅助(侧)
	12	100	0.4	掏槽(外)	42	1150	0.3	辅助(侧)
	13	135	0.3	扩槽	43	1185	0.3	辅助(侧)
	14	170	0.3	扩槽	44	1220	0.3	辅助(侧)
	15	205	0.3	扩槽	45	1255	0.4	底板
	16	240	0.3	扩槽	46	1325	0.3	辅助(侧)
	17	275	0.3	扩槽	47	1360	0.3	辅助(侧)
	18	310	0.3	扩槽	48	1395	0.3	辅助(侧)
	19	345	0.3	扩槽	49	1430	0.3	辅助(侧)
	20	380	0.3	扩槽	50	1465	0.4	底板
	21	415	0.3	辅助(侧)	51	1515	0.2	周边
	22	450	0.3	辅助(侧)	52	1517	0.2	周边
	23	485	0.3	辅助(侧)	53	1565	0.2	周边
	24	520	0.3	辅助(侧)	54	1567	0.2	周边
	25	555	0.4	底板	55	1615	0.4	底板
	26	590	0.3	辅助(侧)	56	1665	0.2	周边
	27	625	0.3	辅助(侧)	57	1668	0.2	周边
	28	660	0.3	辅助(侧)	58	1715	0.2	周边
	29	695	0.3	辅助(侧)	59	1718	0.2	周边
	30	730	0.4	底板	60	1765	0.4	底板
上台阶	61	1805	0.3	辅助(上)	84	2725	0.3	辅助(上)
	62	1845	0.3	辅助(上)	85	2765	0.2	周边
	63	1885	0.3	辅助(上)	86	2805	0.2	周边
	64	1925	0.3	辅助(上)	87	2845	0.2	周边
	65	1965	0.3	辅助(上)	88	2885	0.2	周边
	66	2005	0.3	辅助(上)	89	2925	0.2	周边
	67	2045	0.3	辅助(上)	90	2965	0.2	周边
	68	2085	0.3	辅助(上)	91	3005	0.2	周边
	69	2125	0.3	辅助(上)	92	3045	0.2	周边
	70	2165	0.3	辅助(上)	93	3095	0.3	辅助(上)
	71	2205	0.3	辅助(上)	94	3145	0.3	辅助(上)
	72	2245	0.3	辅助(上)	95	3195	0.3	辅助(上)
	73	2285	0.3	辅助(上)	96	3245	0.3	辅助(上)
74	2325	0.3	辅助(上)	97	3295	0.3	辅助(上)	
75	2365	0.3	辅助(上)	98	3345	0.2	周边	
76	2405	0.3	辅助(上)	99	3395	0.2	周边	
77	2445	0.3	辅助(上)	100	3445	0.2	周边	
78	2485	0.3	辅助(上)	101	3495	0.2	周边	
79	2525	0.3	辅助(上)	102	3545	0.2	周边	
80	2565	0.3	辅助(上)	103	3595	0.2	周边	
81	2605	0.3	辅助(上)	104	3645	0.2	周边	
82	2645	0.3	辅助(上)	105	3695	0.2	周边	
83	2685	0.3	辅助(上)	106	3745	0.2	周边	
总计			106 孔				30.5kg	

爆破结果如下:

爆破日期	爆破部位	测点 1(左侧边墙)		测点 2(右侧边墙)	
		最大振速(cm/s)	爆源距测点直线距离(m)	最大振速(cm/s)	爆源距测点直线距离(m)
2016.1.23	全断面	5.87	14.0	-	-
2016.3.21	全断面	4.02	11.9	2.52	17.3
2016.3.23	全断面	3.80	11.3	3.03	16.4
2016.3.24	全断面	2.93	11.0	3.40	15.9
2016.3.25	全断面	4.12	10.8	4.21	15.5
2016.3.26	全断面	5.46	10.7	2.65	15.0
2016.3.27	全断面	4.47	10.5	2.03	14.6

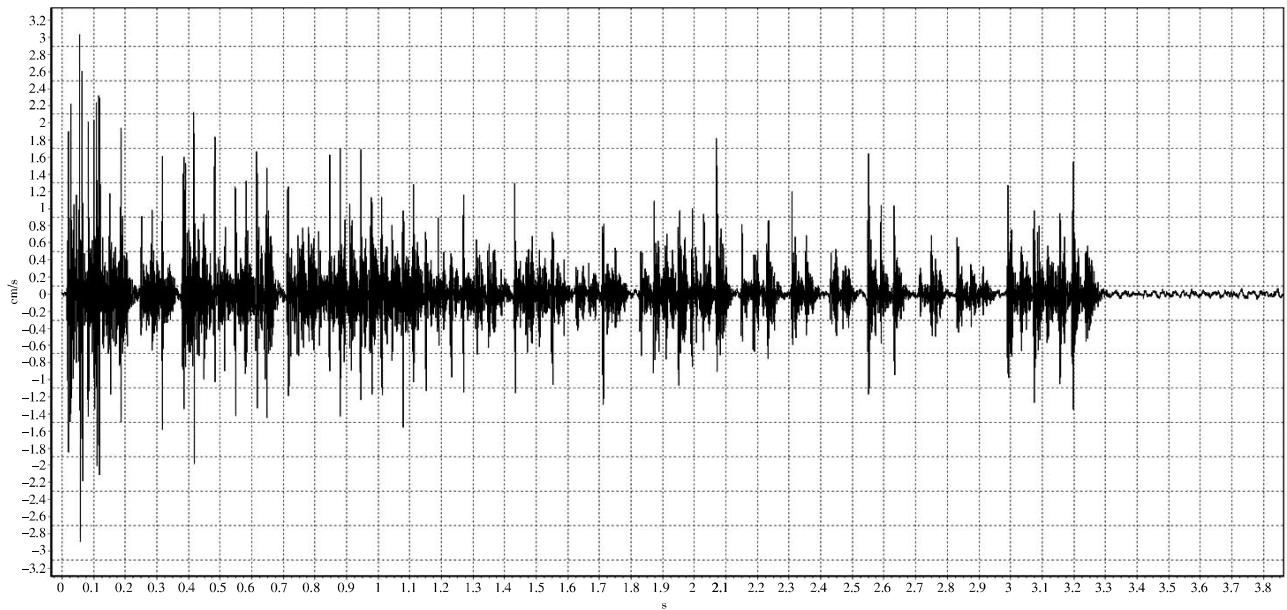


图 4

(3)下穿正下方及前后 10 米左右区间内,爆破咨询公司试验其专利错相减振方案,通过分析爆破波频,找出主振频率的半周期长确定合理的爆破延时,从而使相邻两个炮孔爆炸波到路轨时相位相差 π ,两个爆炸波在同一质点上振动矢量方向相反,降低了振动波能量,有效控制了振速,顺利通过了下穿段。电子数码雷管错相减振法具体的设计方案如下。(见图 5,图 6,表 3)

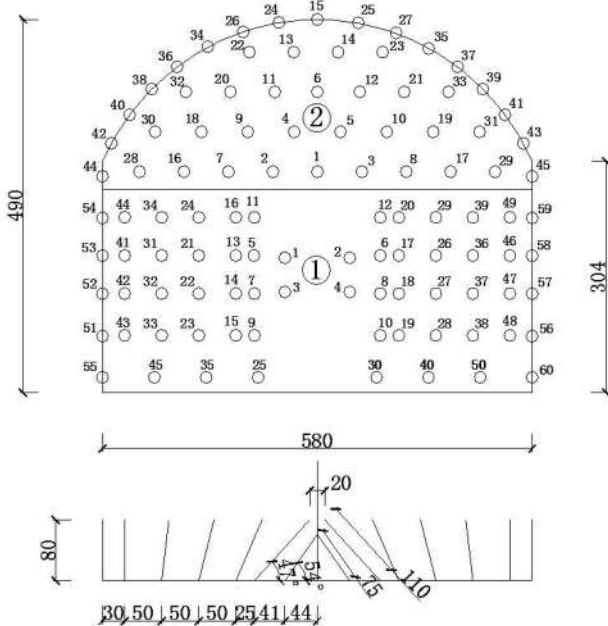


图 5

通过监测结果可见,错相减振法降低振速的效果比逐孔起爆法更加明显。除此以外,两者的波形有明显的区别。因为数码

电子雷管的的应用都是单孔单响,所以在单孔装药量和时差布置相同的时段,波峰应从时域上孤立的衰减波,不会有突然的降低。两种爆破方案相比,错相减振的大波峰更为稀疏,大波峰的突然降低非常频繁,且两个大波峰之间通常是许多个连续的小波峰,这个现象说明错相削峰的效果已成功出现^[9]。

4 安全控制其他措施

(1)沉降观测:交叉里程前后各 2 m、4 m 处布设一个观测断面,每个观测断面布置 5 个沉降观测点进行观测,可判断既有隧道结构的稳定性,可推断泄水洞支护的可靠性。

(2)拱顶下沉、净空收敛量测:1 次/4h,如果测得的数据超过控制标准,立即停止泄水洞施工,并采取加固措施,启动应急预案。

(3)视频监控:边墙上 1.5m 位置安装高清网络视频监控设备通过长远无线传输基站传输到现场办公室,及时的观察既有线内情况。

(4)超前地质预报:采用超前地质钻孔进行验证开挖前方地质构造情况,与设计相比较,确保支护参数准确。

(5)振速监测:采用无线监测仪器系统,在既有隧道内安装传感器、测振仪、无线传输模块,发射爆破振速数据到无线基站,上传云数据库反馈给客户,及时根据振速结果调整爆破参数。

(6)支护及时、加强:采用 C35 早强喷射砼,使喷射砼能更早的受力。在喷射砼完成后,必须保证喷射砼强度满足要求,再进行下部开挖。及时实施衬砌,严格实施衬砌背后注浆。

表 3

爆破部位	炮孔编号	爆破延时(ms)	单孔药量(kg)	炮孔类别	炮孔编号	爆破延时(ms)	单孔药量(kg)	炮孔类别
下台阶	1	1	0.2	掏槽(里)	31	480	0.3	掘进(侧)
	2	10	0.2	掏槽(里)	32	500	0.3	掘进(侧)
	3	19	0.2	掏槽(里)	33	520	0.3	掘进(侧)
	4	28	0.2	掏槽(里)	34	540	0.3	掘进(侧)
	5	37	0.3	掏槽(外)	35	560	0.4	底板
	6	46	0.3	掏槽(外)	36	580	0.3	掘进(侧)
	7	55	0.3	掏槽(外)	37	600	0.3	掘进(侧)
	8	64	0.3	掏槽(外)	38	620	0.3	掘进(侧)
	9	73	0.3	掏槽(外)	39	640	0.3	掘进(侧)
	10	82	0.3	掏槽(外)	40	660	0.4	底板
	11	91	0.3	掏槽(外)	41	680	0.3	掘进(侧)
	12	100	0.3	掏槽(外)	42	700	0.3	掘进(侧)
	13	120	0.3	扩槽	43	720	0.3	掘进(侧)
	14	140	0.3	扩槽	44	740	0.3	掘进(侧)
	15	160	0.3	扩槽	45	760	0.4	底板
	16	180	0.3	扩槽	46	780	0.3	掘进(侧)
	17	200	0.3	扩槽	47	800	0.3	掘进(侧)
	18	220	0.3	扩槽	48	820	0.3	掘进(侧)
	19	240	0.3	扩槽	49	840	0.3	掘进(侧)
	20	260	0.3	扩槽	50	860	0.4	底板
	21	280	0.3	掘进(侧)	51	880	0.2	周边
	22	300	0.3	掘进(侧)	52	885	0.2	周边
	23	320	0.3	掘进(侧)	53	900	0.2	周边
	24	340	0.3	掘进(侧)	54	905	0.2	周边
	25	360	0.4	底板	55	920	0.4	底板
	26	380	0.3	掘进(侧)	56	940	0.2	周边
	27	400	0.3	掘进(侧)	57	942	0.2	周边
	28	420	0.3	掘进(侧)	58	960	0.2	周边
	29	440	0.3	掘进(侧)	59	962	0.2	周边
	30	460	0.4	底板	60	980	0.4	底板
	小计	孔数	60	药量			17.6kg	
上台阶	1	1	0.3	掘进(上)	24	507	0.2	周边
	2	23	0.3	掘进(上)	25	529	0.2	周边
	3	45	0.3	掘进(上)	26	551	0.2	周边
	4	67	0.3	掘进(上)	27	573	0.2	周边
	5	89	0.3	掘进(上)	28	595	0.3	掘进(上)
	6	111	0.3	掘进(上)	29	617	0.3	掘进(上)
	7	133	0.3	掘进(上)	30	639	0.3	掘进(上)
	8	155	0.3	掘进(上)	31	661	0.3	掘进(上)
	9	177	0.3	掘进(上)	32	683	0.3	掘进(上)
	10	199	0.3	掘进(上)	33	705	0.3	掘进(上)
	11	221	0.3	掘进(上)	34	727	0.2	周边
	12	243	0.3	掘进(上)	35	749	0.2	周边
	13	265	0.3	掘进(上)	36	771	0.2	周边
	14	287	0.3	掘进(上)	37	793	0.2	周边
	15	309	0.2	周边	38	815	0.2	周边
	16	331	0.3	掘进(上)	39	837	0.2	周边
	17	353	0.3	掘进(上)	40	859	0.2	周边
	18	375	0.3	掘进(上)	41	881	0.2	周边
	19	397	0.3	掘进(上)	42	903	0.2	周边
	20	419	0.3	掘进(上)	43	925	0.2	周边
	21	441	0.3	掘进(上)	44	947	0.2	周边
	22	463	0.3	掘进(上)	45	969	0.2	周边
	23	485	0.3	掘进(上)				
	小计	孔数	45	药量			11.8kg	
总计	孔数		105	炸药量			29.4 kg	

表爆破结果如下:

爆破日期	爆破部位	测点 1(左侧边墙)		测点 2(右侧边墙)		测点 3(轨道中线)	
		最大振速(cm/s)	爆源距测点直线距离(m)	最大振速(cm/s)	爆源距测点直线距离(m)	最大振速(cm/s)	爆源距测点直线距离(m)
2016.3.29	上台阶	3.81	8.9	2.83	13.1	3.45	10.5
	下台阶	2.95	11.8	1.86	15.2	3.15	13.0
2016.3.30	上台阶	4.48	8.8	-	12.7	3.23	10.2
	下台阶	2.83	11.7	-	14.8	3.33	12.7
2016.3.31	上台阶	4.63	8.8	-	12.3	2.98	9.4
	下台阶	3.46	11.7	-	14.5	2.74	12.5

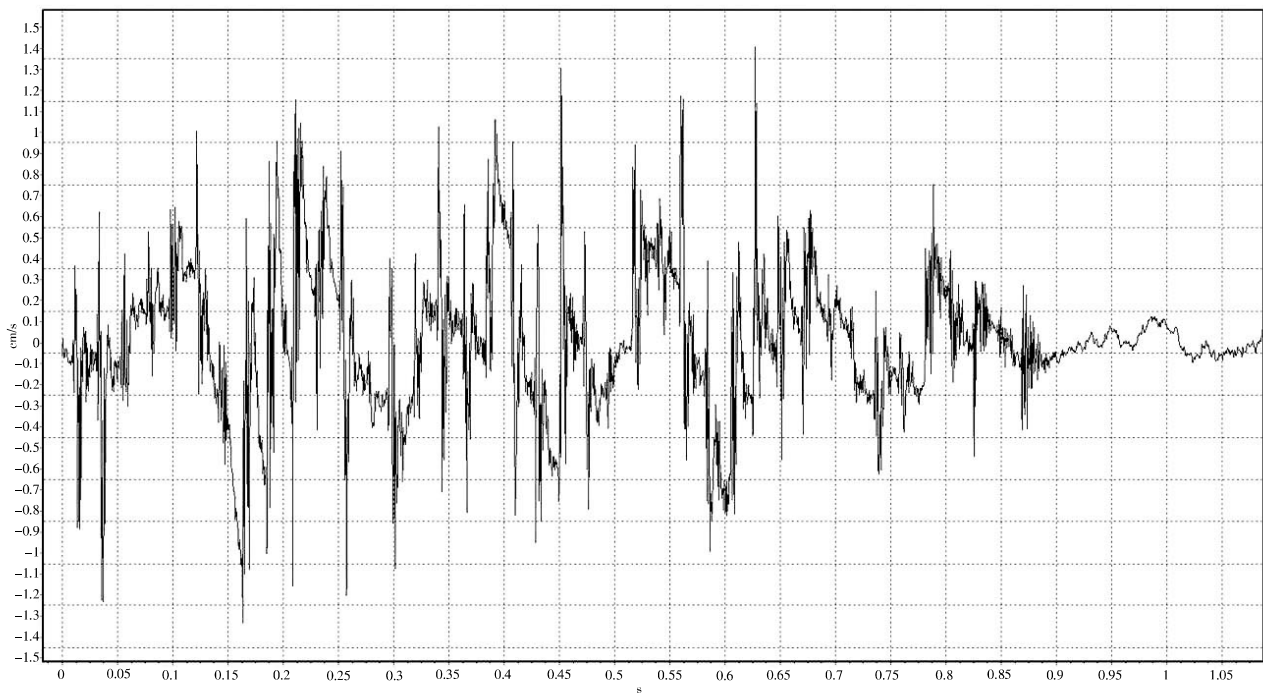


图 6

(7)应急措施完善:应急组织、物资设备、信息沟通齐备,定期检查演练。

综上所述,采用电子数码雷管错相减振爆破方案确实能明显的降低爆破振速,达到下穿既有有线控制爆破要求,在爆破过程中还是要根据围岩的类别和分布得出的振动波形不断的调整和优化。

参考文献

- [1]孟祥栋,王立川,孟令天,钟金贝,曾维英,王守伟,刘文鹏,鲁甲兵,蔡正清.小间距下穿高铁隧道控制爆破技术[J].工程爆破,2016,22(5): 69-76.
- [2]田振农,孟祥栋,王国欣.城区隧道电子雷管起爆错相减振机理分析[J].振动与冲击,2012(21):108-111.