

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2020.02.010

数码雷管错相减震爆破技术 在地铁隧道施工中的应用*

任登富¹, 简中飞¹, 孟祥栋², 张学民³, 郑文昌⁴, 孟令天⁵

- (1. 贵阳市城市轨道交通集团有限公司, 贵阳 510000; 2. 重庆建工集团有限公司, 重庆 400000;
3. 中南大学 土木工程学院, 长沙 410075; 4. 中铁隆工程集团有限公司, 成都 610000;
5. 中铁二院 重庆勘察设计研究院有限责任公司, 重庆 400023)

摘要: 城市地铁施工爆破对近接建筑物的安全影响及防护技术, 是行业持续关注的热点和难点问题。针对硬岩地层隧道非电毫秒分段延期爆破减震效果难以满足安全振速标准问题, 依托贵阳轨道交通2号线省医站4号出入口暗挖隧道工程, 开展了数码电子雷管错相减震爆破技术的应用研究。结果表明: 利用数码电子雷管起爆精准授时特点, 基于错相减振原理优化各炮孔之间的微差时间, 控制孔间振动波主振相错开约半个周期, 可实现降低爆破振速的目的; 在不改变炮孔数量、单孔装药量的情况下, 仅调整炮孔爆破延期时间, 相同位置测点爆破振速由2.71 cm/s降至1.39 cm/s, 减小48.7%。通过工程应用试验, 保证了邻近老旧建筑物的安全, 提高了效率, 缩短了工期。

关键词: 地铁隧道; 数码电子雷管; 单孔单响; 错相减震; 老旧建筑物

中图分类号: TD235.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2020)02-0053-07

Application of Staggered Phase Damping Blasting Technology of Electronic Detonator in Guiyang Metro Tunnel

REN Deng-fu¹, JIAN Zhong-fei¹, MENG Xiang-dong²,
ZHANG Xue-min³, ZHENG Wen-chang⁴, MENG Ling-tian⁵

- (1. Guiyang Urban Rail Transit Group Co Ltd, Guiyang 510000, China;
2. Chongqing Construction Engineering Group Co Ltd, Chongqing 400000, China;
3. Central South University, Changsha 410075, China;
4. Ranken Railway Construction Group Co Ltd, Chengdu 610000, China;
5. CREEC (Chongqing) Survey Design and Research Co Ltd, Chongqing 400023, China)

Abstract: The impact of urban subway construction blasting on the safety of adjacent buildings and its protection technology are the hot and difficult issues that the blasting industry continues to pay attention to. Aiming at the problem that the shock absorption effect of non-electric millisecond section delayed blasting in hard rock stratum tunnel cannot meet the safe vibration velocity standard, the application research of digital electronic detonator staggered shock absorption blasting technology is carried out based on the underground excavation project of No. 4 of Provincial Medical station of Guiyang Rail transit Line 2. The results show that the blasting velocity can be reduced by using precise timing characteristics of digital electronic detonator, optimizing the differential time between each hole based on the principle of stagger vibration reduction, and controlling the stagger of main vibration phase of vibration wave between holes for about half a period. Without changing the number of holes and single hole loading quantity, only adjusting the delay time, the blasting vibration velocity at the measuring point at the same position was reduced from 2.71 cm/s to 1.39 cm/s, decreasing by 48.7%. Through engineering application test, the safety of adjacent old

buildings is guaranteed, the efficiency is improved, and the construction period is shortened.

Key words: subway tunnel; digital electronic detonator; hole by hole blasting; staggered damping; old building

随着城市地铁建设的快速发展,各地尤其是中西部山地大中城市地铁线路不同程度穿越岩质地层。在以岩质地层为主的地铁区间隧道、车站基坑及附属出入口工程建设中,因钻爆法具有工艺简单、操作灵活、工效高、成本低等优点曾被较广泛采用;因钻爆法施工伴生的振动、冲击波、烟尘和噪音等爆破危害效应,工程实践中时有采用环境影响小但工效较低的小型机械或静态破岩等非爆破法、技术不够成熟的硬岩掘进机法,因而施工进度一般难以满足工期等目标要求,施工环境尘泥飞流严重,控制爆破施工仍不失为解决工程进度的重要选项。推动城区复杂环境下硬岩地层地铁工程绿色施工技术进步,开展针对钻爆技术的再创新及合理爆破减震技术的研究具有重要的工程实践意义。

国内学者针对城区复杂环境下工程爆破及其减震技术展开了一些研究工作。在非电毫秒雷管爆破减震技术方面,王松青等分析了武汉地铁区间隧道下穿建筑物爆破振动传播规律,探讨了分台阶爆破、直孔掏槽、周边密集减振孔、空气间隔装药及延时爆破等参数^[1];方俊波从大中空孔直眼掏槽、一次起爆分部延时爆破、浅孔多眼等方面分析了控制爆破振速措施及效果^[2];曹杨等、赵永生等分析了爆破振速传播规律,通过现场试验分别提出了减振孔、调整装药结构、微差延迟爆破、直孔掏槽、中空孔爆破等减震技术^[3,4]。为了进一步提高钻爆法减震效果,孟祥栋等、田振农等、傅洪贤等通过电子雷管起爆方法开展了微差减震爆破试验,探讨了数码雷管错相减震的微差设置方法^[5,7];赵根等研究了电子雷管起爆系统及其在岩塞爆破中的应用^[8]。综上所述,非电毫秒雷管减震技术主要集中在开挖分部、掏槽形式、装药结构及减振孔布置等方面,而针对电子雷管减震技术的研究相对较少,目前尚无完善的孔间授时方法,主要通过试爆进行爆破参数优化。

贵阳市轨道交通2号线省医站4号出入口隧道工程,埋深浅、周边环境复杂,周边70、80年代老旧建筑物繁多,施工期间不同地段多次出现管线渗漏、构筑物开裂等问题。为此,开展了数码电子雷管单孔单响微差起爆减震爆破试验,以期提高施工工

效同时达到确保周边建筑物结构安全的目的。

1 工程背景

1.1 工程概况

贵阳市轨道交通2号线省医站位于宝山南路与都司高架路交叉路口北侧,沿宝山南路地下南北向布置,车站为地下二层式车站,长200 m,宽20.9 m,采用初支拱盖法暗挖施工。省医站站附属结构共设4个出入口通道,其中4号出入口隧道位于车站小里程端东北侧,采用明、暗挖相结合施工,通道全长128.57 m(暗挖段87.31 m,明挖段41.26 m),断面40~45 m²,拱顶覆土厚度为7~11 m。在前期诸多因素影响下,4号出入口施工成为制约总体进度目标的关键线路,目标工期80 d。

1.2 工程地质及周边环境

省医站4号出入口隧道所处地质条件,自上而下依次为人工杂填土、红黏土、强风化白云岩、中风化白云岩,地下水丰富,存在溶槽、溶沟等,岩溶发育。如图1所示,4号出入口周边环境复杂,隧道侧穿老凯里酸汤鱼饭店等20世纪50~60年代老旧建筑物,多为2~3层砖混结构民房,最近水平距离2.6 m。老旧建筑物无单独基础,直接落在山坡体面,建筑材料老化,抗剪强度和自身抗拉强度低。加之年久失修,部分墙体存在明显外观裂缝,房屋抗震能力较低。出入口隧道西侧距已建成地铁车站主体结构仅3.4 m。见图1。

1.3 破岩方式选择

暗挖隧道爆破开挖通常选择常规控制爆破、悬臂掘进机开挖、水磨钻开挖等方式,均在贵阳市复杂城区环境下的岩质地层施工中应用,但常规控制爆破难以满足爆破安全控制要求,而机械开挖因工效低而不满足高效施工需求。鉴于贵阳轨道交通2号线省医站4号出入口隧道周边复杂环境,破岩方式须综合考虑安全、工效与工期目标,经综合比选确定采用单孔单响错相减震爆破法。

2 爆破方案

2.1 爆破设计原则

城市地铁隧道钻爆设计,遵循“短进尺、多钻孔、少装药、勤测量”的原则。据施工条件、围岩类别、埋置深度、断面大小及环境条件等,并考虑安全、经济、工期等要求,确定爆破振动影响范围内最不利因素,最大程度降低爆破振动对周围建筑物危害,避免发生扰民或民扰事件。

收稿日期:2020-01-10

作者简介:任登富(1978-),男,高级工程师、工程硕士,从事隧道工程施工技术与建设管理研究,(E-mail)83985601@qq.com。

通讯作者:张学民(1973-),男,教授、博士,从事隧道工程方面教学与科研工作,(E-mail)zhangxm@csu.edu.cn。

基金项目:国家自然科学基金面上项目(51978671);郑万铁路客运专线科技计划项目(2016-068)

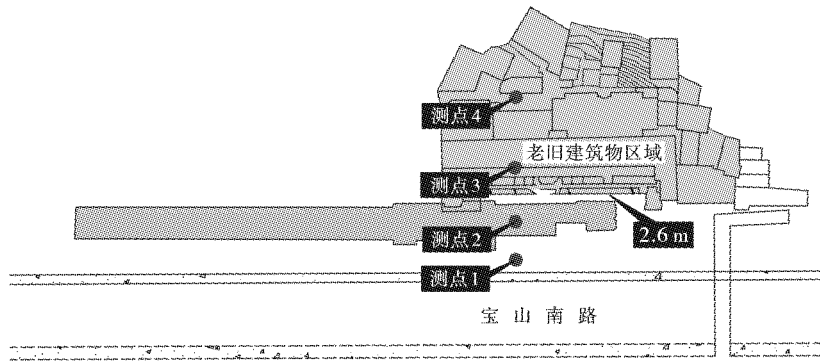


图1 出入口平面及爆破监测点位置图(单位:m)

Fig. 1 Entrance and exit plane and blasting monitoring point location(unit:m)

据减振爆破理论,爆破开挖最大振速值主要决定于单段最大药量。基于数码电子雷管错相减震原理,通过孔间微差精准授时,采取单孔单响爆破,从而解决了非电毫秒雷管延期爆破单段最大药量难以降低的问题。同时方案设计时,考虑了隧道台阶分部开挖、控制爆破进尺、增加钻眼数量等措施,将爆破振速控制在安全允许阈值范围内。据《爆破安全规程》(GB6722—2014)^[9]、《爆破安全规程实施手册》等相关规定^[10],确定初步爆破方案,并加强爆破过程中建筑物爆破振动响应的实时监测和数据分析,以适时动态调整爆破参数,达到减震目的。

数码电子雷管错相减震的概念与设计原则是指在多炮孔起爆时^[5],通过控制炮孔之间的起爆延时间隔,使到达被保护点的爆炸波主振相错开约半个周期,从而降低爆破振动。据波动理论,爆破振动波可认为是由一系列简谐波合成,即

$$v = \sum_i^n A_i(t - \Delta t_i) \cos[\omega_i(t - \Delta t_i) + \varphi] \quad (1)$$

式中: ω_i 为第*i*个振动波的角频率; t 为振动持续时间; Δt_i 为炮孔起爆间隔时间; φ 为初相位,对同一测点初始相位差可忽略不计;函数 $A_i(t)$ 为第*i*个振动波形包络线。

据上述思路,经计算可得主振频域内各谐波半

个相位差的时间最小约为 $1/2f$,其中*f*为主振频率,一般为10~60 Hz。当电子雷管起爆延时精度为1 ms时,起爆延时误差一般不超过主振动波半个相位时间差的1/10。

2.2 爆破参数设计

选择隧道上半断面爆破设计方案为主介绍爆破参数。如图2所示,4号出入口隧道上台阶高3.5 m,开挖断面 21 m^2 ,设计循环进尺1.0 m,孔深1.2 m,采用TY-28 凿岩机成孔,孔径42 mm。掏槽区位于上台阶中部,按“对称、双层、对应,无压抬”原则布置复式楔形竖向掏槽孔。共设炮孔113个,其中:掏槽孔14个,辅助掏槽孔6个,内圈孔49个,周边孔28个,底板孔16个;周边孔距40 cm,底板孔距50 cm,孔圈距50~60 cm;抵抗线按孔间距约1.5倍设置;总装药量62.6 kg;装药结构除周边孔采取间隔装药外,其余孔均采取连续装药;炮孔封堵就地取用红黏土,封堵密实且要求有一定强度,孔内除装药部分全部封堵,封堵长度不小于30 cm。根据文献[5]提出的单孔单响错相减震原理和贵阳地区相关隧道爆破经验,分别计算各炮孔装药量和数码电子雷管起爆授时,结果如表1所示,其中最大单孔装药量0.7 kg(部分辅助孔和底板孔),平均单耗 2.98 kg/m^3 。

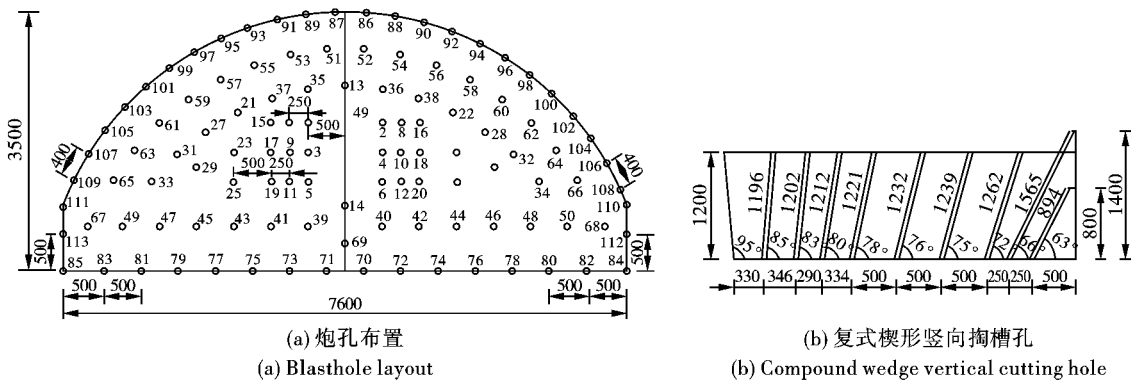


图2 炮孔布置图(单位:mm)

Fig. 2 Blasthole layout(unit:mm)

3 爆破振动监测及延时错相调整

3.1 监测方案

爆破振动监测按每炮必测的原则,选用无线网络三分量测振仪,采取无人值守监测,智能远程数据采集,实时掌握测点爆破振速及波形图,测点主要布置在最不安全的老旧建筑物处、隧道顶部重要管线部位、已建成地铁车站隧道壁上,具体测点详见图1所示。通过试爆采集振速数据,调整数码电子雷管

微差起爆时间,以实现错相减震。

3.2 监测数据分析

据试爆监测数据,1#、2#、4#测点爆破振速均小于《爆破安全规程》(GB6722—2014)^[9]规定的安全允许振速标准2.50 cm/s,其中4#测点最大振速仅0.89 cm/s,爆破振动频率和振速控制基本达预期。但3#测点(老凯里酸汤鱼饭店)处单分量振速峰值2.71 cm/s,矢量和速度峰值达3.54 cm/s,超过安全允许振速标准。3#测点处采集的振速波形见图3。

表1 隧道上台阶爆破参数统计表

Table 1 Blasting parameters of tunnel upper bench

孔号	延时/ ms	单孔药量/ kg	炮孔 类别	孔号	延时/ ms	单孔药量/ kg	炮孔 类别	孔号	延时/ ms	单孔药量/ kg	炮孔 类别
1	10	0.6	里掏槽	39	428	0.6	辅助眼	77	1065	0.7	底板眼
2	17	0.6	里掏槽	40	442	0.6	辅助眼	78	1085	0.7	底板眼
3	24	0.6	里掏槽	41	457	0.6	辅助眼	79	1105	0.7	底板眼
4	31	0.6	里掏槽	42	472	0.6	辅助眼	80	1125	0.7	底板眼
5	38	0.6	里掏槽	43	487	0.6	辅助眼	81	1145	0.7	底板眼
6	45	0.6	里掏槽	44	502	0.6	辅助眼	82	1165	0.7	底板眼
7	52	0.8	外掏槽	45	517	0.6	辅助眼	83	1185	0.7	底板眼
8	59	0.8	外掏槽	46	532	0.6	辅助眼	84	1205	0.7	底板眼
9	66	0.8	外掏槽	47	547	0.6	辅助眼	85	1225	0.7	底板眼
10	73	0.8	外掏槽	48	562	0.6	辅助眼	86	1245	0.3	周边眼
11	80	0.8	外掏槽	49	577	0.6	辅助眼	87	1265	0.3	周边眼
12	87	0.8	外掏槽	50	592	0.6	辅助眼	88	1285	0.3	周边眼
13	94	0.8	外掏槽	51	608	0.6	辅助眼	89	1305	0.3	周边眼
14	101	0.8	外掏槽	52	624	0.6	辅助眼	90	1325	0.3	周边眼
15	112	0.6	辅助眼	53	640	0.6	辅助眼	91	1345	0.3	周边眼
16	123	0.6	辅助眼	54	656	0.6	辅助眼	92	1365	0.3	周边眼
17	134	0.6	辅助眼	55	672	0.6	辅助眼	93	1385	0.3	周边眼
18	145	0.6	辅助眼	56	688	0.6	辅助眼	94	1405	0.3	周边眼
19	156	0.6	辅助眼	57	704	0.6	辅助眼	95	1425	0.3	周边眼
20	167	0.6	辅助眼	58	720	0.6	辅助眼	96	1445	0.3	周边眼
21	178	0.6	辅助眼	59	736	0.6	辅助眼	97	1465	0.3	周边眼
22	189	0.6	辅助眼	60	752	0.6	辅助眼	98	1485	0.3	周边眼
23	200	0.6	辅助眼	61	769	0.6	辅助眼	99	1505	0.3	周边眼
24	224	0.6	辅助眼	62	786	0.6	辅助眼	100	1525	0.3	周边眼
25	237	0.6	辅助眼	63	803	0.6	辅助眼	101	1545	0.3	周边眼
26	250	0.6	辅助眼	64	820	0.6	辅助眼	102	1565	0.3	周边眼
27	263	0.6	辅助眼	65	837	0.6	辅助眼	103	1585	0.3	周边眼
28	276	0.6	辅助眼	66	854	0.6	辅助眼	104	1605	0.3	周边眼
29	289	0.6	辅助眼	67	871	0.6	辅助眼	105	1625	0.3	周边眼
30	302	0.6	辅助眼	68	888	0.6	辅助眼	106	1645	0.3	周边眼
31	316	0.6	辅助眼	69	905	0.6	辅助眼	107	1665	0.3	周边眼
32	330	0.6	辅助眼	70	925	0.7	底板眼	108	1685	0.3	周边眼
33	344	0.6	辅助眼	71	945	0.7	底板眼	109	1705	0.3	周边眼
34	358	0.6	辅助眼	72	965	0.7	底板眼	110	1725	0.3	周边眼
35	372	0.6	辅助眼	73	985	0.7	底板眼	111	1745	0.3	周边眼
36	386	0.6	辅助眼	74	1005	0.7	底板眼	112	1765	0.3	周边眼
37	400	0.6	辅助眼	75	1025	0.7	底板眼	113	1785	0.3	周边眼
38	414	0.6	辅助眼	76	1045	0.7	底板眼	总计		62.6	

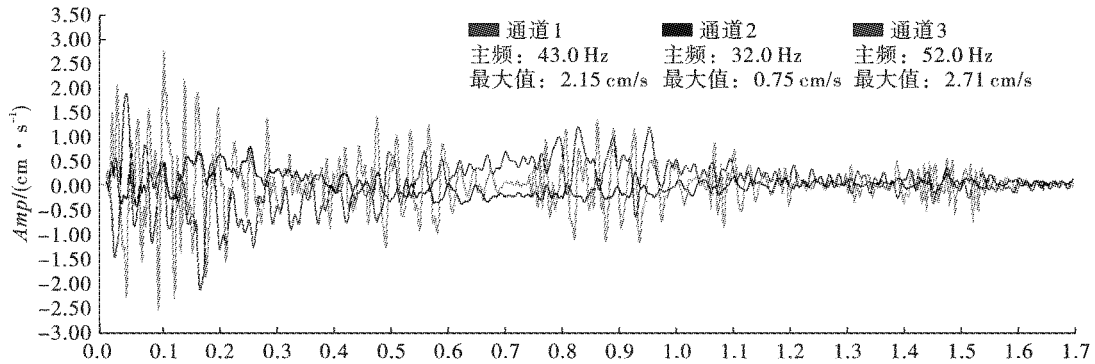


图3 测点3授时调整前波形图

Fig. 3 Waveform of monitoring point 3 before time adjustment

3.3 电子雷管错相减震授时优化

据爆破设计方案,1~14#孔为掏槽孔,15~20#孔为辅助掏槽孔,其中14个掏槽孔总延时101 ms,而图3所示3#测点拾振器从触发至最大振速时刻历时约95 ms。因爆心距较小,可初步判断3#测点振速超标主要由1~14#掏槽孔单孔微差爆破产生的振速波叠加引起。因此,结合工程实际,为简化现场操作,在单孔装药量保持不变情况下仅调整1~24#孔爆破振动相对较大孔位的电子雷管微差授时。

据试爆监测数据,出入口隧道场地爆破振动主频范围80~87 Hz,一个振动周期时长约11.5~12.5 ms,相邻炮孔之间爆破振动波形的主振相错开 π 时对应时差为5.75~6.25 ms。由上述分析可知,据3#测点拾取的爆破振动波形最大振速对应的历时时长,可适当减小14个掏槽孔的起爆时差,同时增加6个辅助掏槽孔的起爆时差,控制孔间振动波主振相错开时长接近0.5个周期,从而提高错相减震的实施效果。表2给出了1~20#孔电子雷管授时调整前后数据,其它孔起爆授时同表1。

4 错相减震实施效果

据表2参数调整各炮孔之间起爆授时再次实施爆破,各测点最大振速均小于安全允许振速2.5 cm/s,其中3#测点最大振速1.39 cm/s(见图4),相对第一次试爆最大振速2.71 cm/s,减小48.7%。

据上述爆破振速监测数据和现场调查,4号出入口隧道临近老旧民房区域爆破未对周边建筑物产生不良影响。试爆结果表明,在不减少单孔装药量情况下通过合理控制炮孔之间电子雷管起爆延时,可将爆破振速控制在安全允许振速0.5 cm/s以下。同时,省医站4号出入口隧道开挖日平均进尺1.0 m,相较目标工期提前5 d。

表2 隧道上台阶电子雷管起爆授时调整对比表

Table 2 Comparison of initiation time delay of electronic detonator on tunnel upper step

孔号	试爆 延时/ ms	试爆 时差/ ms	优化 延时/ ms	优化 时差/ ms	单孔 药量/ kg	炮孔 类型
1	10	/	10	/	0.6	里掏槽
2	17	7	16	6	0.6	里掏槽
3	24	7	22	6	0.6	里掏槽
4	31	7	28	6	0.6	里掏槽
5	38	7	34	6	0.6	里掏槽
6	45	7	40	6	0.6	里掏槽
7	52	7	46	6	0.8	外掏槽
8	59	7	52	6	0.8	外掏槽
9	66	7	58	6	0.8	外掏槽
10	73	7	64	6	0.8	外掏槽
11	80	7	70	6	0.8	外掏槽
12	87	7	76	6	0.8	外掏槽
13	94	7	82	6	0.8	外掏槽
14	101	7	88	6	0.8	外掏槽
15	112	11	101	13	0.6	辅助眼
16	123	11	114	13	0.6	辅助眼
17	134	11	127	13	0.6	辅助眼
18	145	11	140	13	0.6	辅助眼
19	156	11	153	13	0.6	辅助眼
20	167	11	166	13	0.6	辅助眼
21	178	11	179	13	0.6	辅助眼
22	189	11	192	13	0.6	辅助眼
23	200	11	205	13	0.6	辅助眼
24	224	24	224	19	0.6	辅助眼

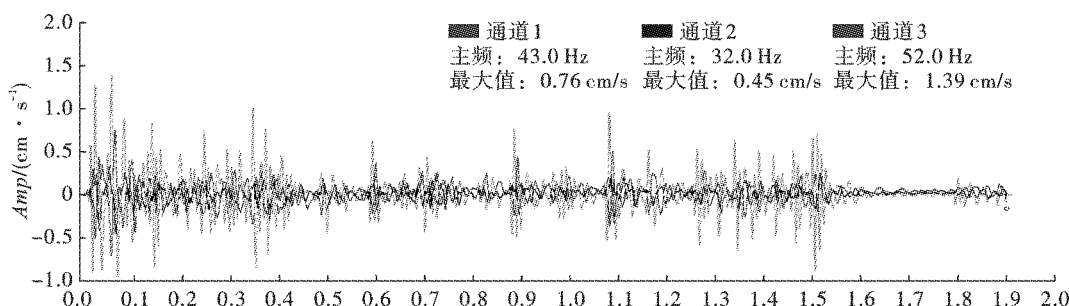


图4 测点3授时调整后波形图

Fig. 4 Waveform of monitoring point 3 after timing adjustment

5 结论

依托贵阳市轨道交通2号线省医站4号出入口隧道工程,通过开展数码电子雷管错相减震爆破试验,分析了临近老旧建筑物最不利位置的爆破振动响应规律,据此优化了各炮孔之间电子雷管授时,实现了应用电子雷管错相减震的防护目的,得到如下结论和建议:

(1)因不同段别的非电毫秒雷管微差延时起爆误差较大,爆破振动波易发生叠加,难以适于城区紧邻建筑物爆破施工,而通过对数码电子雷管精确授时,可实现单孔单响起爆错相减震,大幅度降低爆破振速,为城区复杂环境下硬岩地层地铁工程爆破施工提供了遴选技术路径。

(2)数码电子雷管错相减震的效果,受场地地形和地质条件、爆心距、掏槽孔数量、单孔装药量、孔间延时等多个因素影响,当场地条件一定时掏槽区爆破参数依然是降低爆破振动强度的关键。本案例中风化白云岩地层隧道爆破采用14孔逐孔掏槽、0.6 kg(里掏槽孔)和0.8 kg(外掏槽孔)单孔药量、6 ms(掏槽孔)和13 ms(辅助掏槽孔)孔间延时,为后续逐孔起爆创造了良好临空面,减震效果较好。

(3)基于电子雷管逐孔爆破现场监测数据,中风化白云岩场地爆破振动主频范围80~87 Hz,振动周期约11.5~12.5 ms,相邻炮孔之间爆破振动波形主振相错开半个周期时对应时差为5.75~6.25 ms。上述参数可供类似场地条件下爆破设计参考。

(4)数码电子雷管逐孔爆破参数设计尚无成熟理论方法。工程实践中,通过现场试爆,采集爆破振动数据,进行信号频谱分析,基于数码电子雷管错相减震设计原则,对电子雷管单孔起爆时差进行精确授时,是实现错相减震的关键环节。

参考文献 (References)

[1] 王松青,张全峰,汪海波,等. 武汉地铁区间隧道下穿

建筑物爆破振动控制技术研究[J]. 工程爆破,2020,26(1):85-90.

[1] WANG Song-qing, ZHANG Quan-feng, WANG Hai-bo, et al. Research on blasting construction technology in subway tunnel beneath buildings in Wuhan[J]. Engineering Blasting, 2020, 26(1): 85-90. (in Chinese)

[2] 方俊波. 地铁隧道爆破施工下穿地表建筑物的减振技术研究[J]. 中国工程科学, 2014, 16(11): 58-64.

[2] FANG Jun-bo. Study on vibration reduction to adjacent surface building due to subway tunnel blasting[J]. China Engineering Science, 2014, 16(11): 58-64. (in Chinese)

[3] 曹杨,王旭春,余志伟,等. 隧道近距下穿老旧建筑物爆破振动监测及减振技术研究[J]. 施工技术, 2017, 46(11): 82-85.

[3] CAO Yang, WANG Xu-chun, YU Zhi-wei, et al. Blasting vibration monitoring and reduction technology of tunnel under-passing aging buildings in a short distance[J]. Construction Technology, 2017, 46(11): 82-85. (in Chinese)

[4] 赵永生. 贵阳地铁2号线观兴区间隧道的爆破[J]. 工业建筑, 2018, 48(5): 203-207.

[4] ZHAO Yong-sheng. Blasting schemes of the Guanxing metro Line 2 Guiyang interval tunnel project[J]. Industrial Building, 2018, 48(5): 203-207. (in Chinese)

[5] 孟祥栋,田振农,王守伟,等. 城区隧道微震爆破技术研究[J]. 爆破, 2011, 28(4): 6-10.

[5] MENG Xiang-dong, TIAN Zhen-nong, WANG Shou-wei, et al. Study on slight vibration technology of tunnel blasting in urban area[J]. Blasting, 2011, 28(4): 6-10. (in Chinese)

[6] 田振农,孟祥栋,王国欣. 城区隧道电子雷管起爆错相减震机理分析[J]. 振动与冲击, 2012, 32(21): 108-111.

[6] TIAN Zhen-nong, MENG Xiang-dong, WANG Guo-xin. Analysis on the mechanism of staggered shock absorption caused by the initiation of electronic detonators in urban tunnels[J]. Vibration and Shock, 2012, 32(21): 108-111. (in Chinese)

[7] 傅洪贤,赵继罡,高宇璠. 铁路隧道近距下穿地铁隧道

- 的微振爆破技术[J]. 铁道工程学报, 2019, 36(9): 72-78.
- [7] FU Hong-xian, ZHAO Ji-gang, GAO Yu-li. Mechanism analysis of fault-phase vibration reduction for tunnel blasting initiated by electronic detonators in city area [J]. Journal of Railway Engineering, 2019, 36(9): 72-78. (in Chinese)
- [8] 赵根, 吴新霞, 周先平, 等. 电子雷管起爆系统及其在岩塞爆破中的应用[J]. 爆破, 2015, 32(3): 91-94, 149.
- [8] ZHAO Gen, WU Xin-xia, ZHOU Xian-ping, et al. Electronic detonator initiation system and its application in rock plug blasting [J]. Blasting, 2015, 32(3): 91-94, 149. (in Chinese)
- [9] GB6722—2014 爆破安全规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [10] 汪旭光, 于亚伦, 刘殿中. 爆破安全规程实施手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

英文编辑: 叶海旺

科技论文写作小知识——摘要

摘要是以提供文献内容梗概为目的, 不加评论和补充解释, 简明、确切地记述文献重要内容的短文。摘要应具有独立性和自明性, 并且拥有与文献同等量的主要信息, 即不阅读全文, 就能获得必要的信息。一篇完整的论文都要求写随文摘要, 按摘要的不同功能来划分, 大致有如下3种类型:

(1) 报道性摘要

报道性摘要是指明一次文献的主题范围及内容梗概的简明摘要, 相当于简介。报道性摘要一般用来反映科技论文的目的、方法及主要结果与结论, 在有限的字数内向读者提供尽可能多的定性或定量的信息, 充分反映该研究的创新之处。科技论文如果没有创新内容, 如果没有经得起检验的与众不同的方法或结论, 是不会引起读者的阅读兴趣的, 所以建议学术性期刊(或论文集)多选用报道性摘要, 用比其他类摘要字数稍多的篇幅, 向读者介绍论文的主要内容, 以“摘录要点”的形式报道出作者的主要研究成果和比较完整的定量及定性的信息, 篇幅以300字左右为宜。

(2) 指示性摘要

指示性摘要是指明一次文献的论题及取得的成果的性质和水平的摘要, 其目的是使读者对该研究的主要内容(即作者做了什么工作)有一个轮廓性的了解。创新内容较少的论文, 其摘要可写成指示性摘要, 一般适用于学术性期刊的简报、问题讨论等栏目以及技术性期刊等只概括地介绍论文的论题, 使读者对论文的主要内容有大致地了解, 篇幅以100字左右为宜。

(3) 报道-指示性摘要

报道-指示性摘要是以报道性摘要的形式表述论文中价值最高的那部分内容, 其余部分则以指示性摘要形式表达, 篇幅以100~200字为宜。

论文发表的最终目的是要被人利用, 如果摘要写得不好, 在当今信息激增的时代论文进入文摘、杂志、检索数据库后, 被人阅读、引用的机会就会少得多, 甚至丧失, 一篇论文价值很高, 创新内容很多, 若写成指示性摘要, 也可能会失去较多的读者。所以一般地说, 向学术性期刊投稿, 应选用报道性摘要形式, 只有创新内容较少的论文, 其摘要可写成报道-指示性或指示性摘要。