

支撑拆除爆破中 2 种捆串联起爆网路的可靠性研究^{*}

余德运^① 杨 军^① 赵 翔^②

①北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室(北京,100081)

②中材国际工程股份有限公司天津分公司(天津,300400)

[摘 要] 运用可靠性理论和统计分析方法,对支撑拆除爆破中 2 种常用的捆串联起爆网路:导爆管雷管捆串联起爆网路和导爆管反射四通捆串联起爆网路的可靠性进行了计算和分析。随着结点阶数的增加,导爆管雷管捆串联单式加强起爆网路的可靠度不断降低,但导爆管雷管反射四通捆串联复式交叉起爆网路的可靠度降至 0.9522 以后,不再降低,而是保持不变。在工程实践中进行了 3 次实验,实验结果表明:雷管拒爆或捆绑雷管脚线被炸断,可能会导致导爆管雷管捆串联起爆网路传爆中断,但不会影响导爆管反射四通捆串联起爆网路的传爆。

[关键词] 支撑拆除爆破 捆串联 可靠性 起爆网路

[分类号] TD235.1⁺2 TU746.5

引言

当炮孔数较多且布置较为密集时,一般采用先 20 发孔内起爆雷管为一簇捆绑后,再用导爆管雷管或反射四通将各簇串联起来组成起爆网路。前者称为导爆管雷管捆串联起爆网路,后者称为导爆管反射四通捆串联起爆网路。导爆管雷管捆串联起爆网路和导爆管反射四通捆串联起爆网路都有 4 种形式:单式起爆网路、单式加强起爆网路、复式加强起爆网路、复式交叉起爆网路^[1-2]。支撑拆除爆破中炮孔布置较为密集(孔距 0.40~0.80m,排距 0.25~0.35m),一次起爆炮孔数量较多(少则上千个孔,多则几万个孔),一般孔内采用单发雷管起爆,常采用导爆管雷管捆串联单式加强起爆网路和导爆管反射四通捆串联复式交叉起爆网路^[3]。

1 导爆管雷管起爆网路数学模型

1.1 捆串联单式加强起爆网路

该起爆网路的传爆方式为双雷管、单向传爆。网路只有一条传爆干线,各簇采用双发雷管捆绑,根据起爆顺序将捆绑雷管脚线接入到上一阶结点中。根据导爆管雷管捆串联单式加强网路的特点,可模拟出网路可靠性逻辑图(图 1)。

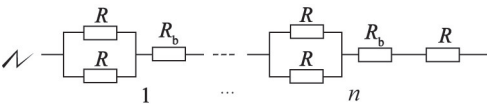


图 1 导爆管雷管捆串联单式加强起爆网路可靠性逻辑图

设第 i 阶干线结点的可靠度 R_i ,起爆网路的可

靠度为 R_{s_i} ,根据文献[4],则有:

$$R_i = \{ [1 - (1 - R)^2] \cdot R_b \}^{\frac{i \cdot (i+1)}{2}} \tag{1}$$

$$R_{s_{i+1}} = R_i \cdot R \tag{2}$$

式中: R 为导爆管雷管的可靠度; R_b 为导爆管雷管与导爆管连接处的可靠度。

1.2 反射四通捆串联复式交叉起爆网路

该起爆网路的传爆方式为双雷管、多向传爆。与单式加强起爆网路不同的是,该网路有两条传爆主干线,各簇也采用双发雷管捆绑,捆绑传爆雷管脚线分别与两条传爆干线的同阶反射四通相联,且两个同阶的四通节点之间搭桥联接。其网路可靠性逻辑图(3 阶)如图 2 所示。

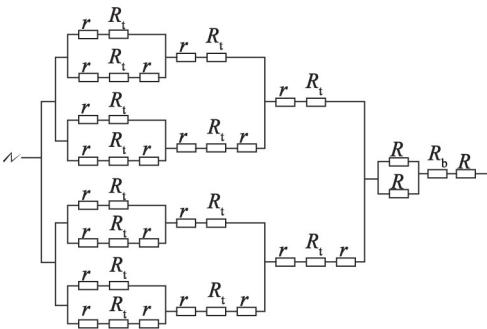


图 2 3 阶导爆管雷管反射四通捆串联复式交叉起爆网路可靠性逻辑图

设第 i 阶和第 $i+1$ 阶干线结点的可靠度分别为 R_i 、 R_{i+1} ,起爆网路的可靠度分别为 R_{s_i} 、 $R_{s_{i+1}}$,根据文献[5],则有:

$$R_1 = 1 - (1 - r \cdot R_1) \cdot (1 - r^2 \cdot R_1) \tag{3}$$

^{*} 收稿日期:2012-03-07

作者简介:余德运(1981~),男,博士,主要从事爆破安全及模拟研究。E-mail:Yudeyun2000@163.com

通讯作者:杨 军(1960~),男,博导,教授,主要从事爆破安全及模拟研究。E-mail:yangj@bit.edu.cn

$$R_{s_1} = R_1 \cdot [1 - (1 - R)^2] \cdot R_b \cdot R \tag{4}$$

$$R_{i+1} = 1 - (1 - r \cdot R_i) \cdot (1 - r^2 \cdot R_i) \tag{5}$$

$$R_{s_{i+1}} = R_{i+1} \cdot [1 - (1 - R)^2] \cdot R_b \cdot R \tag{6}$$

式中: R 为导爆管雷管的可靠度; R_b 为导爆管雷管与导爆管连接处的可靠度; r 为导爆管的可靠度; R_i 为反射四通接头的可靠度。

2 网路可靠性计算与对比分析

根据文献[6]得,导爆管雷管的可靠度 $R = 0.9612$,导爆管雷管与导爆管连接处的可靠度 $R_b = 0.9943$,导爆管的可靠度 $r = 0.9683$,反射四通接头的可靠度为 $R_i = 0.9990$,代入上式中计算,可得各阶传爆结点和起爆网路的可靠度,见表 1。导爆管雷管捆串联单式加强起爆网路和导爆管雷管反射四通捆串联复式交叉起爆网路的可靠度对比如图 3 所示。

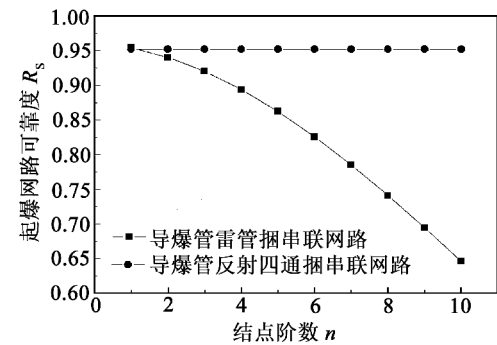


图 3 起爆网路的可靠度对比图

从图 3 中可以看出,随着结点阶数的增加,导爆管雷管捆串联单式加强起爆网路的可靠度显著降低,而导爆管雷管反射四通捆串联复式交叉起爆网路的可靠度变化不大。这是因为导爆管雷管捆串联单式加强起爆网路在传爆过程中,因只有一条传爆路径,如果某一传爆结点的传爆雷管发生拒爆,后续传爆结点雷管会全部拒爆;随着传爆结点阶数的增

加,起爆网路的可靠度降低,且可靠度降低值和降低率都不断增大。而导爆管雷管反射四通捆串联复式交叉起爆网路在传爆过程中,有多条传爆路径,如某一传爆结点(四通)的传爆雷管发生拒爆,后续传爆结点雷管不会全部拒爆。这是因为每一传爆结点都有多条传爆路径,且随着传爆结点阶数的增加,传爆路径不断增多(第 n 阶传爆结点,有 $2n$ 条传爆路径),只要有一条传爆路径将击发端的爆轰波传至雷管,即可保证正常起爆。

在工程实践中,起爆网路的可靠度除了由网路本身的理论可靠度决定,还要受该批次导爆管雷管质量、结点绑扎质量和反射四通连接质量的影响,其实际网路的可靠度要比理论可靠度低^[7-9]。

3 实验

某大城市地铁出入口基坑支撑围护结构共 3 层,钢筋砼总方量为 2100 m³。每层划分为 18 个爆区。各爆区孔内分别装入 HS 2~HS 10 段单发导爆管雷管;将每个爆区的孔内起爆雷管脚线均捆绑成 9 簇(以 16~24 根孔内起爆雷管脚线为一簇)。第 1 次爆破,第 1~18 爆区都采用导爆管雷管捆串联单式加强起爆网路;第 2 次爆破,第 1~9 爆区采用导爆管雷管捆串联单式加强起爆网路,第 10~18 爆区采用导爆管反射四通捆串联复式交叉起爆网路;第 3 次爆破,第 1~18 爆区都采用导爆管反射四通捆串联复式交叉起爆网路。导爆管雷管捆串联网路中,用 HS 3 段孔外微差导爆管雷管对每簇进行捆绑接力形成单式加强起爆网路;导爆管反射四通捆串联网路中,用 HS 2~HS 10 段孔外微差导爆管雷管进行捆绑后,再用反射四通进行串联形成复式交叉起爆网路。

各爆区雷管数量及段别设计见表 2。
本项支撑拆除爆破工程中,采用的是同厂家同

表 1 传爆节点和起爆网路的可靠度计算

阶数 n	导爆管雷管捆串联起爆网路				导爆管反射四通捆串联起爆网路			
	干线结点可靠度	起爆网路可靠度	网路可靠度变化值	网路可靠度变化率/%	干线结点可靠度	起爆网路可靠度	网路可靠度变化值	网路可靠度变化率/%
1	0.9928	0.9543	—	—	0.9979	0.9523	—	—
2	0.9786	0.9406	-0.0137	-1.38	0.9978	0.9522	-0.0001	-0.01
3	0.9576	0.9204	-0.0202	-2.06	0.9978	0.9522	0.0000	0.00
4	0.9303	0.8942	-0.0262	-2.74	0.9978	0.9522	0.0000	0.00
5	0.8973	0.8625	-0.0317	-3.41	0.9978	0.9522	0.0000	0.00
6	0.8593	0.8259	-0.0366	-4.08	0.9978	0.9522	0.0000	0.00
7	0.8169	0.7852	-0.0407	-4.74	0.9978	0.9522	0.0000	0.00
8	0.7710	0.7411	-0.0441	-5.40	0.9978	0.9522	0.0000	0.00
9	0.7225	0.6945	-0.0466	-6.04	0.9978	0.9522	0.0000	0.00
10	0.6722	0.6461	-0.0484	-6.70	0.9978	0.9522	0.0000	0.00

表 2 爆区及雷管段别设计

爆区	阶数 <i>n</i>	孔内雷管		孔外雷管 数量/发
		段别	数量/发	
1	9	HS2	144	2×9=18
2	9	HS3	192	2×9=18
3	9	HS4	163	2×9=18
4	9	HS5	182	2×9=18
5	9	HS6	204	2×9=18
6	9	HS7	208	2×9=18
7	9	HS8	178	2×9=18
8	9	HS9	195	2×9=18
9	9	HS10	181	2×9=18
10	9	HS10	146	2×9=18
11	9	HS9	189	2×9=18
12	9	HS8	193	2×9=18
13	9	HS7	182	2×9=18
14	9	HS6	195	2×9=18
15	9	HS5	157	2×9=18
16	9	HS4	162	2×9=18
17	9	HS3	182	2×9=18
18	9	HS2	174	2×9=18

批次的导爆管雷管,但 3 次爆破都存在拒爆现象。

第 1 次爆破:2 处(第 3、14 爆区)因传爆雷管脚线炸断导致传爆中断,12 个孔内起爆雷管(不是同一簇)因脚线炸断导致拒爆,1 个孔内起爆雷管因质量原因拒爆。

第 2 次爆破:第 1~9 爆区中,1 处(第 7 爆区)因传爆雷管质量原因拒爆致传爆中断,5 个孔内起爆雷管(不是同一簇)因脚线炸断导致拒爆,3 个孔内起爆雷管(脚线颜色已由银白变暗灰,但雷管未引爆)拒爆。第 10~18 爆区中,网路全部传爆,7 个孔内起爆雷管(不是同一簇)因脚线炸断导致拒爆。

第 3 次爆破:第 1~18 爆区,网路全部传爆。16

个孔内起爆雷管(同一簇)因捆绑雷管的质量原因(2 发捆绑雷管同时拒爆)而拒爆,11 个孔内起爆雷管(不是同一簇)因脚线炸断导致拒爆。

由此可见,导爆管反射四通捆串联复式交叉起爆网路中,雷管拒爆或捆绑的雷管脚线被炸断,只能导致个别孔内雷管拒爆,不会影响整个网路传爆。

4 结论

1)导爆管雷管捆串联起爆网路中,阶数越大,网路可靠度越低,且随着阶数的增大,可靠度降低值和降低率也增大。

2)雷管拒爆或捆绑雷管脚线被炸断,可能导致导爆管雷管捆串联起爆网路传爆中断,但不会影响导爆管反射四通捆串联起爆网路的传播。

参 考 文 献

[1] 梁开水,赵翔. 导爆管起爆网路可靠度分析[J]. 爆破器材, 2006, 35(5):22-24.

[2] 崔晓荣,周昕清,李战军. 超大规模起爆网路在拆除爆破中的应用研究[J]. 爆破器材, 2009,38(1):14-17.

[3] 房泽法,刘建丽. 拆除爆破混联网路可靠性分析[J]. 武汉理工大学学报, 2010,32(19):124-127.

[4] 张立国,于亚伦,费鸿禄. 导爆管复式交叉起爆网路可靠性分析及应用[J]. 爆破,2003,20(3):5-7.

[5] 周明安,厦军,姜洲,等. 反射四通管复式起爆网路可靠性分析与应用[J]. 采矿技术,2005,5(3):69-70.

[6] 钟冬望,杨 军,高文学,等. 非电起爆系统可靠性分析与计算[J]. 工程爆破,1999,5(1):71-75.

[7] 张立国,陈超,于亚伦. 非电导爆管起爆网路传爆性能的对比分析[J]. 有色金属:矿山部分,2004,56(2):24-26.

[8] 张建华,王幸荣,赵泉. 路堑爆破非电起爆网路可靠性分析与设计[J]. 爆破,2005,22(3):116-119.

[9] 余德运,郑德明,赵翔,等. 合肥 17 层高楼爆破网路设计及可靠度分析[J]. 爆破,2006,23(1):52-55.

Study on Reliability of Two Types of Tied and Serial Initiation Network in Girder’s Demolition Blasting

YU Deyun^①, YANG Jun^①, ZHAO Xiang^②

①State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology (Beijing, 100081)
②Tianjin Branch of Sinoma International Engineering Corporation (Tianjin, 300400)

[ABSTRACT] Using the reliability theory and statistics analysis method, the reliability of two types of tied serial initiation network were calculated and analyzed. With the increase of nodes order, the reliability of Nonel detonator tied serial single strengthened initiation network tended to decline, while the reliability of Nonel detonator and four-path reflecting unit tied serial double-cross initiation network changed little after reducing to 0.9522. Through three experiments in engineering practice, the experimental results show that miss-fired detonator or broken detonator wire could disrupt the Nonel detonator tied serial initiation network, but have no effect on the propagation of Nonel detonator and four-path reflecting unit tied serial initiation network.

[KEY WORDS] girder’s demolition blasting, tied serial, reliability, initiation network