

试验研究

# 岩巷掘进爆破中电爆网络电感效应的分析

李树钟

(山东省冶金设计院股份有限公司, 山东 济南 250101)

**摘要:**在电爆网络设计核算准爆电流时,通常只考虑电爆网络的线路电阻和各雷管电阻的影响,没有考虑由于雷管角线或网络的弯曲已形成闭合线圈而产生的电感的影响,使得电爆网络中实际电流低于电爆网络的准爆电流而出现一些雷管拒爆的现象。在分析电磁感应现象产生的感应电流对电爆网络影响的基础上,推出了电爆网络计算电流的公式,从而准确计算电爆网络的爆破能力。

**关键词:**电爆网络;电磁感应;感应电流;准爆电流

中图分类号:TD235

文献标识码:A

文章编号:1004-4620(2017)03-0031-03

## 1 前言

目前,我国煤矿井下岩石巷道掘进仍是以钻眼爆法为主,在爆破作业中常采用串联起爆网路、防爆型电容式发爆器起爆,此方法简单、方便、易掌握,很为爆破作业人员所喜用<sup>[1]</sup>。岩巷掘进爆破中电爆网络的电雷管起爆取决于发火冲量,而发火冲量与通电电流的大小和通电的时间长短有关<sup>[2]</sup>。但在电爆网络电流的日常计算过程中,经常会忽视感应电流的存在,导致对电爆网络的爆破能力计算产生偏差,从而影响岩巷掘进效率。为此,本研究分析电磁感应现象产生的感应电流对电爆网络的影响,推出电爆网络计算电流的公式,从而准确计算电爆网络的爆破能力。

## 2 电爆网络的设计<sup>[3]</sup>

电雷管爆炸是由于电点火元件中的桥丝把电能转化成热能引燃其周围的引火头或起爆药而引起的。在通电时间  $t$  秒内,桥丝上产生的热量  $Q(J)$  用下式计算:  $Q=I^2 R_{桥} t$ 。式中  $I$  为电流强度(A),  $R_{桥}$  为桥丝电阻( $\Omega$ )。

引爆电雷管所用的电源最常用的是电容式发爆器,发爆器能够提供给爆破网路的电流较小,一般适用于电雷管的串联网路。雷管串联时,虽然通过每个雷管的电流相同,但由于各雷管的电性能参数不完全相同,当电流过小时,仍会发生个别雷管不爆的现象。

设在串联电路内有6个雷管,通过电路的电流为直流,电流强度为  $I$ 。在该电流强度条件下,设各雷管的发火冲能为  $K11$ 、 $K12$ 、……、 $Ki6$ ,相应的发火

时间为  $t11$ 、 $t12$ 、……、 $t16$ ,传导时间为  $\theta1$ 、 $\theta2$ …… $\theta6$ 。图1为各雷管的发火时间、传导时间及爆破的先后顺序。图中表明,第3个雷管最先爆炸,而且电路被该雷管爆炸切断时,第1和第4个雷管尚未点燃。显然,这两个雷管不可能爆炸。若增大电流,各雷管的发火冲能和发火时间相应减少,而传导时间不变(传导时间和电流强度无关)。因此,增大电流可使第3个雷管的爆发时间等于第4个雷管的发火时间,即  $t13+y3=t14$ (见图1b)。这时,第3个电雷管爆炸即使将电路切断,但由于全部雷管被点燃,不会发生个别雷管不爆的现象。

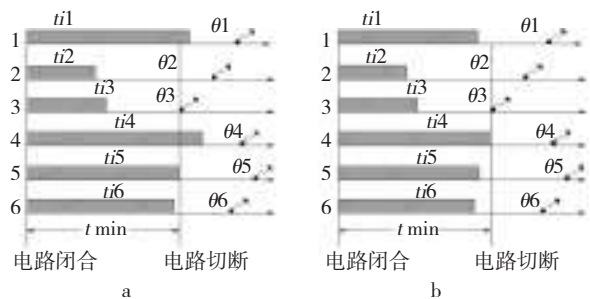


图1 各雷管的发火时间、传导时间及爆破的先后顺序

实际上,不可能给出每个雷管的电性能参数,而只能给出其变化范围。以雷管串联的最不利情况即电路内串联有发火敏感最高、传导时间最小的雷管和发火感度最底的雷管为例,见图2。

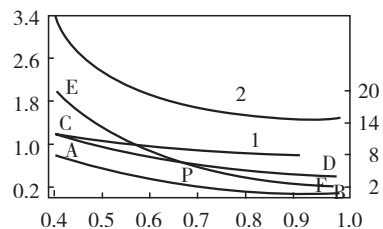


图2 串联雷管的准爆原理

图2中曲线1为感度最高雷管的发火冲能与电流强度的关系曲线。根据该曲线画出发火时间和与电流强度的关系曲线  $AB$ 。在  $AB$  曲线上叠加最小

收稿日期:2017-04-18

作者简介:李树钟,男,1984年生,2007年毕业于北京科技大学矿物资源工程专业。现为山东省冶金设计院股份有限公司矿山事业部副部长,工程师,从事采矿设计工作。

传导时间,可绘出该雷管的爆发时间与电流强度的关系曲线 $CD$ 。曲线2为感度最低雷管的发火冲能与电流强度的关系曲线。根据该曲线画出发火时间与电流强度的关系曲线为 $EF$ 。曲线 $CD$ 与 $EF$ 交于 $P$ 点。若通过雷管的电流强度小于 $P$ 点的电流强度,感度最高雷管的爆发时间将小于感度最低雷管的发火时间,这说明前一个雷管的爆炸将电路切断时,后一个雷管尚未能点燃。但是通过雷管的电流强度超过 $P$ 点的电流强度时,感度最高的雷管的爆发时间将大于感度最低的雷管的发火时间,这说明,电路被感度最高雷管的爆炸切断时,全部雷管(包括感度最低雷管在内)均已被点燃,不会发生个别雷管拒爆现象。

串联网路如图3所示,通过每个电雷管的电流必须满足下述条件:

$$I=U/(R_{\text{线}}+nr) > i_{\text{准}}$$

式中: $I$ 为网络总电流,A; $i$ 为流经每个电雷管的电流,A; $U$ 为起爆电源电压,V; $R_{\text{线}}$ 为网络主线电阻, $\Omega$ ; $n$ 为串联电雷管个数; $r$ 为每个电雷管的电阻, $\Omega$ ; $i_{\text{准}}$ 为要求流过每个电雷管的最小准爆电流,A。

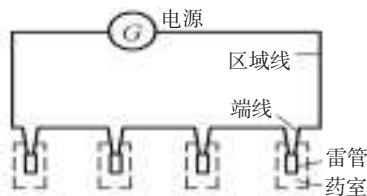


图3 电爆网络串联电路

### 3 电爆网络中的电感效应<sup>[4]</sup>

#### 3.1 电爆网络中的电磁感应现象

当一个线圈内的磁通量发生改变时就会有电磁感应现象的产生,就会产生感应电动势和感应电流。在磁通量增加和减少的两种情况下,回路中感应电流的流向相反。感应电流的大小则取决于穿过回路中的磁通量变化快慢<sup>[5]</sup>。如图4所示<sup>[6]</sup>,在串联各个雷管时,形成了不同的圈,每一个圈相当于一个空心的电线圈,在电流突然由0增大到雷管爆炸所需的最低准爆电流值的过程中,会产生较大的电流变化,从而产生电感效应和感应电动势。由楞次定理可知,感应电动势总是具有这样的方向,即使它产生的感应电流在回路中产生磁场去阻碍引起感应电动势的磁通量变化。因此,感应电动势会抵消起爆器电源的一部分电压值,也可以用电流值来表示,即感应电流抵消了总的电流。这样便影响了起爆器的起爆能力。

图4中,在连接各雷管时,如果按照如下数字顺序连接:

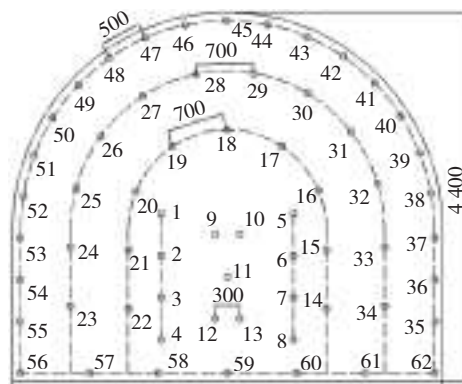


图4 大巷掘进炮孔布置

56-55-54-53-52-51-50-49-48-47-46-45-44-43-42-41-39-38-37-36-35-62-61-60-59-58-57-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-22-21-20-19-18-17-16-15-14-4-3-2-1-5-6-7-8-13-12-9-10-13-11,会形成5个圈,这5个圈的感应电动势的方向一致,会在电爆网络中产生很大的感应电流,从而会对起爆电流产生更大的影响。

如果按照如下数字顺序连接:

56-55-54-53-52-51-50-49-48-47-46-45-44-43-42-41-39-38-37-36-35-34-33-32-31-30-29-28-27-26-25-24-23-22-21-20-19-18-17-16-15-14-8-7-6-5-10-11-13-12-9-1-2-3-4-62-61-60-59-58-57,虽然不能完全消除感应电动势,但是可以相互抵消一部分感应电动势,从而有利于起爆器正常起爆。

雷管的最小起爆直流电流 $<2.5$  A,即电爆网络中的电流值 $I=2.5$  A。则此时由于电流值突然由0增大到2.5 A,必然会产生感应电动势,即:

$$E=-m\Delta\Phi/\Delta t, \Delta\Phi=B \times dS=\mu_0 \times m \times I \times dS$$

式中 $\Delta\Phi$ 为磁通量的变化值; $\mu_0$ 为真空磁导率; $m$ 为导线所绕的匝数,如图4所示为5匝; $dS$ 为面积; $\Delta t$ 为雷管引爆所需的时间,6 ms。这样必然会产生感应电流:

$$I_{\text{感}}=-E/R_{\text{总}}=-m\Delta\Phi/(\Delta t \times R_{\text{总}})$$

式中 $R_{\text{总}}$ 为电爆网络的总电阻, $R_{\text{总}}=R_{\text{线}}+nr,\Omega$ 。

#### 3.2 人工操作中的电磁感应现象

在操作人员引爆雷管时,如果电雷管的脚线过长,通常会将多出的脚线缠绕起来,这样也形成了能引起电磁感应的条件,即引起了磁通量的变化,这对起爆器起爆能力也有很大的削弱。

### 4 电爆网络电流的校正

计算电爆网络中的电流公式 $[I=U/(R_{\text{线}}+nr)]$ 没有考虑到感应电流的影响,因此计算出的电流值不够准确。考虑感应电流的电爆网络电流计算公式

如下:

$$I=U/(R_{\text{线}}+nr)+I_{\text{感}}=U/(R_{\text{线}}+nr)-m\Delta\Phi/(\Delta t\times R_{\text{总}})。$$

这样从变化电流产生自感效应着手,可以得知电爆网路中的电感现象,并将电感引入计算电爆网路中,定性地分析电感效应对电爆网路的影响。

## 5 结 论

岩巷掘进爆破电爆网络的电感效应对雷管的起爆造成一定的影响。在电爆网路设计核算准爆电流时,通常只考虑了电爆网路的线路电阻和各雷管的电阻的影响,没有考虑由于雷管角线或网路的弯曲已形成闭合线圈而产生的电感的影响,使得电爆网路中实际电流低于电爆网路的准爆电流而出现一些雷管拒爆的现象。因此在实际操作中必须

按照作业规程操作,尽量减少由于导线的缠绕而引起的电磁感应现象。对于一些不可避免的操作,在计算起爆器的起爆能力时,必须把电磁感应的影响考虑进去,这样才能准确计算电爆网络的爆破能力,不至于影响岩石巷道的掘进速度。

### 参考文献:

- [1] 宗琦.我国煤矿井下掘进爆破的现状和未来[J].淮南工业学院学报,2000(专刊):72-75.
- [2] 高建华,于良,朱金华.串联电爆网络电容式起爆器的等效平均电流[J].采矿技术,2005,5(3):71-72.
- [3] 戴俊.爆破工程[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [4] 邱关源.电路[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [5] 梁绍荣.电磁学[M].北京:高等教育出版社,1993.
- [6] 东兆星,吴士良.井巷工程[M].徐州:中国矿业大学出版社,2004.

## Analysis on Inductive Effect of Electroexplosive Network For Rock Roadway Blasting

LI Shuzhong

(Shandong Province Metallurgical Engineering Co., Ltd., Jinan 250101, China)

**Abstract:** The impact from circuit resistance and that of detonator was only taken account of in calculation of safe firing current in the design of electroexplosive network. The inductive effect from closed circuit because of detonator foot line and bending of network was excluded, which leaves certain explosion failure in detonator due to actual current in the network below safe firing current. Based on the impact on electroexplosive network caused by inductive current from electromagnetic inductance, precise calculation of blasting capability can be obtained from formula of calculating current.

**Key words:** electroexplosive network; electromagnetic inductance; induced current; safe firing current

(上接第27页)

## Experimental Study on Sintering of Iron Ore Powder with Biomass Instead of Conventional Fuel

LIU Yanxia<sup>1</sup>, ZHANG Zhiwang<sup>2</sup>, MA Jinlan<sup>1</sup>, MENG Yanjun<sup>1</sup>, WANG Bing<sup>1</sup>, CHEN Min<sup>1</sup>

(1 Hebei College of Industry and Technology, Shijiazhuang 050000, China;

2 Shijiazhuang Iron and Steel Co., Ltd., Shijiazhuang 050091, China)

**Abstract:** The preparation of coke furnace, pulverized coal and carbon shell-shell carbon composite, and the coke, coal and carbon shell-shell carbon composite were tested for sintering. The results showed that: Coal-shell composite carbon instead of coke ratio directly affects the sintering properties of pulverized. Coal-shell carbon composite with high water saturation, granulation a large amount of water, and the fire point is lower. The highest temperature can be reduced for the combustion of pulverized coal. It did not change significantly that all-shell composite carbon sintering compared to coke and sinter quality index, but the SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions is decreased which can realize clean production.

**Key words:** sintering; fuel; coal and shell carbon composite; clean production; cost

### 单位名称和符号常见错误用法

1) 错将 ppm 等当作单位使用。ppm、pphm、ppb 为英文的缩写,并不是计量单位的符号,也不是数学符号。他们所表示的含义为: ppm, parts per million, 10<sup>-6</sup>; pphm, parts per hundred million, 10<sup>-8</sup>; ppb, parts per billion, 10<sup>-9</sup>(美、法等)或 10<sup>-12</sup>(英、德等)。

因此不能当作单位,如 12 ppm 应改为 12×10<sup>-6</sup>。

2) 用%(m/m)或%(V/V)等错误表示。由于百分是纯数字,所以质量百分或体积百分的说法是无意义的,也不能在百分符号上附加其他信息。可选用量的名称质量分数或体积分数等表示。

如硫酸的质量分数,或 w(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)=5%。错误用法是硫酸的质量百分数,或 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>%=5%。(燕明宇)