

專題綜合評述

毫秒迟发爆破

中国科学技术情报研究所

1959年5月

专题综合评述
毫秒迟发爆破

編 輯 者 中国科学技术情报研究所
出 版 处 北京朝内大街117号

印 刷 者 新 华 印 刷 厂

发 行 处 中国科学技术情报研究所
訂 購 处 北京朝内大街117号

工本費 0.34 元

1959 年 5 月出版

0.31

目 录

一、总論.....	(1)
二、毫秒迟发爆破的优越性.....	(2)
三、毫秒迟发爆破的原理.....	(4)
四、毫秒迟发爆破的方法和使用的仪器.....	(6)
五、各国应用毫秒迟发爆破法的情况.....	(14)
六、毫秒迟发爆破存在的問題.....	(18)
七、毫秒迟发爆破法的发展前途.....	(21)

一、总 論

所謂爆破工作，就是用炸藥破碎和拋擲岩石、破壞建築物、拆毀金屬物和消除冰的阻塞、以及用炸藥采伐樹木及拔掘樹根等。

遠在公元前 600 年以前，我們的祖先就會製造炸藥，並把它用於軍事和征服自然的各種鬥爭中。但直到現在炸藥爆破所生成的能量沒有全部被人們利用。大部份爆炸能無用的消耗掉了，並對人類造成了危害。例如：在礦井中崩倒棚子、炸毀井圈、引起瓦斯煤塵的爆炸和損壞地面建築物及結構物。所以最大限度的利用爆炸物的爆破能量和保證工作的高度安全性是爆破科學技術研究和實際工作中的主要任務。

根據實際經驗證明，毫秒爆破是目前最先進的爆破方法之一。它能提高爆破能量的利用率和工作的安全性。毫秒爆破和瞬時爆破及一般的遲發爆破是不同的。雖然它們之間在起爆時，只是各個炮眼的起爆時間上的不同，但正由於這樣我們所使用的儀器、爆破綫路的布置以及鑽眼爆破的參數等，都發生了不同程度的變化。因此我們可以這樣說：毫秒爆破是我們爆破工作中的重大變革，它的应用給我們礦業工程帶來了嶄新的一頁。

蘇聯是最先使用毫秒爆破的國家之一。在本世紀 20 年代末期就已經開始一系列的研究與試驗工作。後來由於偉大的衛國戰爭，這些試驗與研究工作不得不一度中斷。直到戰後 1949 年才重新恢復。1951—53 年，蘇聯在這方面有了很大的發展。當時蘇聯有不少露天礦使用了這種爆破方法。Р. М. 魯齊金 (Ручкин) 工程師首先製造出了一種使導爆綫遲發的儀器：ЗДР-52、ЗДР-53、ЗДР-54。1954 年四月蘇聯科學院礦業研究所爆破事業聯合會專門討論了遲發爆破的問題。現在蘇聯的采石、采礦以及其他爆破工程中正在積極研究與推廣使用。從 54 年後，蘇聯已經改用了——批比較新型的儀器。這便是 ПС—А—55 (прибор свишука—асбест—1955 年)。56 年又製造出 25—50—75 毫秒的 ЭДКЗ 型電雷管。

其他國家中，研究毫秒爆破較早的是美國。1945 年美國在奧佳依州採用了毫秒爆破。1946—48 年，美國大部份露天礦都採用這種爆破方法。後來不但在露天礦中使用，而且也在地下的采場和巷道掘進中使用。最近美國又將毫秒爆破使用到有瓦斯和煤塵爆炸危險的礦井中去。經驗證明：遲發間隔為 75 米/秒時不會引起瓦斯、煤塵的爆炸。直到目前為止，蘇聯、匈牙利、美國、英國、加拿大、瑞典、西德、法國、奧地利、比利時、日本等國已經將毫秒爆破廣泛地應用在露天采礦上。

我國自 1956 年起已開始進行這方面的試驗與研究工作。進行試驗的礦山有，新疆可可托海礦管處、大孤山礦、大冶鐵礦、南芬鐵礦、銅官山露天礦等。參加研究的有東北工學院、北京鋼鐵學院、中南礦冶學院、長沙冶金陶瓷研究分所、有色金屬礦山研究所、黑色金屬礦山研究所等單位。在試驗過程中成功地應用了各種毫秒遲發器具設備。鞍鋼的楊雨田工程師製造出一種精確到千分秒 (мсек) 的毫秒遲發爆破器。1957 年 8 月冶金工業部技術司召集了第一次研究毫秒爆破的專門會議。會議在總結全國各單位試驗工作情況之後，決定今後應該繼續進行試驗工作，並集中全部力量組成兩個小組分別在大孤山礦及銅官山露天礦進行試驗工作，無疑地，毫秒爆破將會迅速地在我國煤礦、金屬礦、鐵礦、水電站及水利建設等各種爆破工程中獲得廣泛地試驗與應用。

二、毫秒迟发爆破的优越性

(一) 可以大大降低爆破的地震影响。

采用毫秒迟发爆破对于降低爆破地震作用而言，其效果是肯定的。例如，正确选择等于地震波周期一半的抗震时间间隔（Артисейсмический интервал），地震影响将降低 80—87%，就整个而言，进行毫秒爆破时的地震影响将降低 60—66%，这就有可能大规模的进行爆破工作。美、加、英等国的科学家从实践中提出了所谓“三分之二定律”。认为只要毫秒迟发爆破中任何一段雷管所起爆的炸药重量不超过一次即发爆破炸药重量的三分之二，则前者的爆破地震效应不致超过后者的地震效应。

美国的飞许（B.G. Fish）曾作过这样的试验，它表明了得到同等爆破地震效应时毫秒迟发爆破与即发爆破的装药比例关系如下：

表 1

实 验 序 号	毫秒迟发爆破中因一段雷管所起爆的炸药量对即发爆破的装药量比例：
1	0.63
2	0.68
3	1.68
4	0.62
5	0.55
6	0.94

其中除第三次实验所得比例值系误差外，其它 5 次实验所得比例关系的平均值为 0.67。这个实验结果恰为三分之二。

根据美国怀特（H.H. White）研究大量的爆破地震谱以后得出结论，为了减低爆破地震效应，毫秒迟发爆破的时间间隔最好是 15—35 毫秒。苏联的某些同志主张 60—100 毫秒。苏联某些矿山（金属矿）工程师的意见认为使用该被爆破岩石地震波（即发爆破后的）周期值的半数迟发时间间隔时，爆破地震效应的降低为最好。

采用毫秒迟发爆破之所以能够降低地震影响，是由于地震波互相发生干扰的结果。因为各次爆破的时间间隔特别短，以致后一药包在前一药包所引起的地震振动开始减弱之前就发生了爆破，新的地震波与前一地震波的相是不重合的。因而形成了地震波的平衡，也就是地震波的某些消失。自然，假若迟发时间间隔等于地震波周期的一半，则地震波消失得最利害。

(二) 增加矿石块的实出率，从而降低单位炸药消耗量。

采用毫秒迟发爆破时，可以使相对炮眼距离 m 值增大。当炮眼即发爆破时 m 值在 0.65—0.8 的范围内变化。最大不超过 1。在采用毫秒迟发爆破时 m 值可以大于 1。根据美国和加拿大的实验资料，一般情况下 $m > 1$ ，个别情况下 $m = 2$ 。因此，由于最小抵抗线 W 值（较即发爆破时）不变，并且药包总重量几乎是固定的，（ $a = mW$ ）所以，岩石爆破量增加了，而炸药消耗量却减少了（10%左右）。

对于毫秒爆破矿石块实出率增加这一点，近年来受到研究工作者和实际工作者的怀疑。他们

認為，爆破参数的改变并非由于毫秒迟发爆破本身的特点。而是由于过去保守的传统概念——在采用即发爆破时不敢大胆增加炮眼間的距离。在苏联和我国就有这样的事实，由于偶然的原因，按着毫秒迟发爆破参数設計的炮眼鑽好后临时改用即发爆破方法起爆，其效果与毫秒迟发爆破一样。这样認為的人，显然是有一定事实根据的。这一爭論有待于进一步研究与試驗加以解决。

(三) 提高爆破能力，增加炮眼利用率。

采用毫秒迟发爆破时，如迟发時間間隔和爆破次序选择适当，則爆破破碎能力增强，爆块非規格品百分率下降。这是有利于电鏟工作效率的。众所周知，当大块問題严重时，就不得不把电鏟停下来进行二次爆破，这样不但影响了生产，而且使用裸露药包时炸药消耗量增加很大。

至于为什么能提高被爆岩石破碎程度等現象，解释起来是相当复杂的。如上所述，这些現象决定于爆破的迟发時間。并且照例只有在較短的迟发（由15到60毫秒）時間內更为显著。这种情况也証实了这类現象跟爆破时岩体中产生的应力有关。看来，只有当岩体还处在前一爆破所引起的应力状态下并已开始形成新自由面的一刹那間进行后一爆破才能得到最好的破碎效果。

为了得到良好的破碎效果，露天矿进行毫秒迟发爆破时最好能这样来布置第二个药包，即令該药包到梯段面和到新自由面的距离均相等。估計到松散漏斗是直角形状，則保証底盘抵抗綫条件相等的孔距按下式决定之。

$$a = \sqrt{2W} = 1.4W$$

式中：a——孔距，米；

W——底盘抵抗綫，米。

另外根据外国的某些竖井下掘实践中的数据表明，使用毫秒迟发爆破时，炮眼利用率可增加到0.8—1.0。

(四) 减小炸下的矿块爆堆宽度。

采用毫秒迟发爆破时，其爆堆宽度可以用迟发時間間隔的长短来控制。由于迟发爆破药包是在有补充自由面的情况下发生爆炸，其爆炸力不仅向工作面坡面的一方作用，而且也向新自由面的一方作用。自然也就促成了岩石爆堆宽度的减小。

用类似理由也可解释岩石爆堆的定向性（направленность）。在这种情况下，药包間的距离不应大于底盘抵抗綫。以使新自由面方向的最小抵抗綫小于工作面坡面方向的最小抵抗綫。也就是小于底盘抵抗綫。很显然，假若后一药包是在岩体表面已产生可見运动，即經過60—70毫秒或70毫秒以上才爆炸，那么大量岩石将抛置在預定的方向。

(五) 在露天矿的采掘中，减少了爆破震裂带的范围，增加了阶段边坡的稳定性，为穿孔机工作創造了有利条件。

(六) 减少了爆破能的游离量，从而使岩块集中，减少崩倒支架的可能性，降低引起瓦斯煤尘爆炸的危险性，从而增加了工作的安全性。

(七) 在井下掘进中，可以使巷道的掘进断面更加符合設計的要求。架設永久支架时断面修理工作可以大大减少。也能保証不支架的巷道围岩的稳固性。另外能使爆破后的岩石块度变得小而均匀，并且不会使岩石爆离工作面很远，因而就能够使机械装岩的效率提高。

(八) 在采用某些配电仪时，毫秒迟发爆破仅用即发电雷管无需用段发雷管，而段发雷管的价格比即发雷管高 $\frac{1}{3}$ 左右。

(九) 由于采用毫秒爆破时，提高了爆破能力、增加了炮眼利用率，并对鑽眼与装岩創造了良好的条件。因而也就能够减少放炮、鑽眼及装岩的总時間，从而加速了工程进度。

总之,采用毫秒迟发爆破时,最終可以降低工程成本、加快工程进度和提高劳动生产率,并增加工作的安全性。

三、毫秒迟发爆破的原理

毫秒迟发爆破虽然能显示出这些优越性,但到目前为止,在世界上还没有一个严整的,科学的,有根据的,而且是大家所公認的理論。因为对毫秒迟发爆破时,在岩石介質中发生的极端复杂的物理現象研究得还不够。

(一) 为了解释毫秒迟发爆破的本質,这里将首先介紹药包爆炸时对周围介質的影响。

当炸药在介質(如岩石)內爆炸时产生大量的气体和其它爆炸物。并同时放出大量的热能,使爆炸产物产生剧烈的分子热运动。这样就形成了高温高压的地震波。地震波以某种与介質弹性系数、介質横向变形系数、介質的均質程度及介質的致密程度等有关的一定速度向四面八方传播。当第一批地震波通过时,介質受到垂直压缩应力或拉应力。而当第二批地震波通过时介質受到切綫应力。药包附近的应力超过岩石的弹性极限;因此这里发生显著的破坏。在距离不远的地方产生局部的不显著的破坏。而在外处,介質只經受弹性变形。

坑道內的地震破坏主要是由于縱波作用所引起的,爆破附近的縱波是以很高压缩应力作非对称冲击的。随着縱波的扩展,振幅和振荡頻率急剧地减小。振动能由于岩石非完全弹性緣故而消耗于明显的和不明显的破坏、摩擦以及热的損失。

如果矿体是坚硬的巉岩式岩石,則坑道中爆破的地震影响是极为强烈的。当以直径为100—150毫米的园柱药包爆破这种岩石时,显著的破坏带(矿体方面)不超过0.5—1.0米,而不显著的破坏带則限制在几米之內。較远的地方只能激起弹性振荡。但是如果縱波在行程中遇到坑道,則它在經過数十米、甚至数百米之后仍能引起破坏。当波反射时,压缩負荷变为拉負荷。反射表面积,即坑道尺寸越大,則破坏效率越高。

横波不象縱波那样,能对坑道产生巨大的影响。因此在某种程度上可以不計的。

观测証实,坑道內爆破的地震作用半径 $R_{cн}$ 与即发爆破药包重量 $Q_{зap}$ 的关系式如下:

$$R_{cн} = K_1 \sqrt{Q_{зap}} \quad (\text{根据安全規程, 对于地面建筑物 } R_{cн} = K_2 \sqrt{Q_{зap}}),$$

式中: K_1 和 K_2 ——比例系数

爆破地震的放射性,是与岩石的物理机械性質及地質有着密切关系的。疏松的沉积岩能吸收地震波,而巉岩式单一岩石則傳送地震波,而其能并无显著損失。下表所列各种岩石和介質中

表 1

介 質	速度毫米/秒	介 質	速度毫米/秒
粘 土	1.4—2.0	KMA 石英岩 平 均	5.0
砂 岩	1.5—4.0	哲茲卡茲干金屬矿砂岩	3.6—4.2
石 灰 岩	2.0—5.0	17°时水	1.43
赤鉄矿和假象赤鉄矿	3.1—4.3	鉛	2.2
岩 盐	4.6—4.9	銅	4.6
花崗岩及其他火成岩	5.0—6.0	鋼	6.0
磁鉄和赤鉄矿	5.5—6.0	鋁	6.4

地震纵波的速度，其传播速度很大程度上取决于岩层构造、节理、层理及其他特性。

(二) 现将国内外关于毫秒迟发爆破的理论作如下介绍：

由上述得知并由地震勘探仪所测的资料证明：①在爆炸点四周不大的范围内，岩石质点的位移在第一周期的正位移值最大，因而最可能发生直接破坏变形；②第一振动周期以后半周期负位移达到最大，因而可能产生形变能破坏变形。在此以后由于岩石分子间的磨擦，地震波的震幅逐渐减小。所以，尽管前后相差二分之一周期，毫秒迟发爆破时地震波并没有完全抵消到消失，而是在后一次爆破地震振动方向上形成一个振幅很小的近似于正弦波的振动波。后者与第三响药包爆破引起的地震波互相干涉又形成更新的波形。这样一来，毫秒迟发爆破时的地震波图形就不是一个简单的几何图形了。假定，质点的位移与时间的关系如图1的波动曲线，则在ab间岩石发生压力直接破坏，若爆炸压力太小或岩石强度较大不足以发生破坏变形时，围岩亦将处于最紧张应力状态，只须稍有一点外力于扰立即会发生更加剧烈的破坏。在cd间发生形变能破坏。

因此学者认为，在采用毫秒迟发爆破时，由于后爆的炮眼是在先前炮眼起爆之后极短时间内起爆的，当先前炮眼将岩石抛离母岩的过程中，后爆炮眼所爆出的岩石也来到了，这样就有可能使前后爆破的岩石更加破碎。因此如果说先前炮眼是起着最初破碎作用的话，那么后爆炮眼对岩石就起着补充破碎的作用。

另外学者也认为，当先前炮眼爆破时，除了破碎一部份岩石外，对其附近的岩石也产生应力。此种应力可能在比较长的时间内才会消除，但是毫秒迟发爆破时后爆炮眼的爆破是在这种残余应力还未消失前起爆的，这样就促使岩石更剧烈的破碎。

最后有的还认为，先前炮眼虽然在后爆炮眼之前极短时间内起爆，但它毕竟能对后爆炮眼产生一个辅助自由面。根据爆破工程的原理，自由面的个数增多会加强爆破效果，这样不但可能使岩石的破碎加剧，而且有可能爆出更多的岩石来，这也就是说还有可能增大炮眼之间的距离。

有的人认为，上面的三种说法都是正确的，这些说法是一个问题的三个方面，如果只承认某一方面的看法，都是不全面的。比如只承认毫秒迟发爆破中能产生辅助自由面，而忽略了岩石的补充破碎和残余应力的作用，那么就回到了一般的迟发爆破的情况。相反地情况，则又回到了即发爆破的情况了。并且指出，有些人认为根据苏联的快速摄影证明被爆岩石是在药包爆破之后60—70毫秒才开始移动的，而目前最广泛采用的时间是15—45毫秒，因此他们认为在这样短的时间间隔内，不可能有增加辅助自由面的作用。这是由于他们只看到15—45毫秒比之60—70毫秒要小得多，而忽略了后爆炮眼不但要在先前炮眼爆破之后15—45毫秒时才起爆，而且后爆炮眼仍然需要在爆破之后60—70毫秒的时间，岩石才开始移动。

也有的人认为，根据爆破工程的原理，自由面的个数增多更会有利于爆破但在毫秒迟发爆破中，由于先前炮眼比后爆炮眼领先15—45毫秒起爆，而对后爆炮眼产生一个辅助自由面这一点有不同的看法。认为，根据苏联快速摄影资料证明被爆破岩石是在药包起爆后60—70毫秒才开始移动的。我国煤矿利用快速摄影或用电子测时仪的方法所测得的岩石移动时间也是一致的。又从岩石移动过程的胶卷中得知，从爆破网路通电起爆，到岩石起爆的时间为60—70毫秒。紧接着大块岩石和爆破气体逐渐地大量涌出，飞起达最低的高度时，其时间为1000—1200毫秒。而形成自

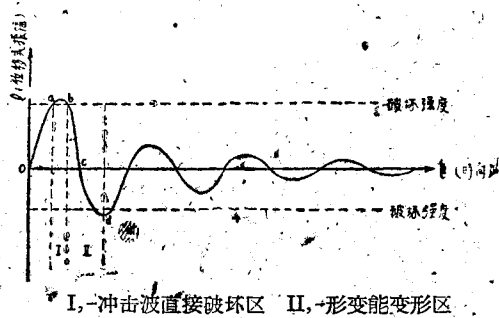


图1 质点位移状况图

由面的時間必須大於此時間的 $\frac{1}{2}$ 倍。即 500—600 毫秒以上。因此在那樣短的時間間隔內形成自由面是不可能的。何況毫秒遲發爆破所形成的是有阻力的自由面，它與爆破工作中所指的自由面，無論就意義與作用而言都完全不同。所以關於先爆的藥包造成的自由面的假說，已經被我國某些實際工作者否認了。

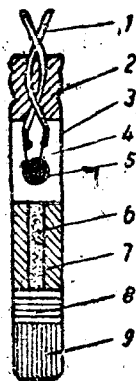
看來，這一問題的爭論還有待於今后的試驗與實際工作中得到答案。

四、毫秒遲發爆破的方法和使用的儀器

目前毫秒遲發爆破的方法和使用的儀器是很多的，大体上可以分成下列三大類：

第一類：使用毫秒電雷管。

毫秒遲發電雷管較早地應用於英國（見圖 2）及美國，其構造與普通秒遲發電雷管相似，不同之處僅在於其中有遲發劑。遲發劑是由富含氧素的物質與金屬或其他可燃物質組成。而某些毫秒遲發雷管的遲發劑是用鉛丹（四氧化三鉛）和砂粉及其他加料混合劑組成。現在英國出品的有 15 種不同遲發時間的毫秒遲發電雷管，這些雷管的額定遲發時間（參見表 3）；美國各公司出品的牌號最多，其中有一種是具有 19 段發的毫秒遲發電雷管，其額定遲發時間（參見表 4）。



1—導線；2—橡皮封口塞子；3—管壳；4—空氣室；5—電引焰球；6—遲發劑；7—銅管；8—主起炸藥；9—副起炸藥。

圖 2 英國出品的毫秒遲發電雷管

表 3

遲發順序	額定遲發時間 (毫秒)	額定間隔時間 (毫秒)
0	—	
1	25	25
2	50	25
3	75	25
4	100	25
5	150	50
6	185	35
7	225	40
8	265	40
9	305	40
10	345	40
11	400	55
12	465	65
13	535	70
14	615	80
15	700	85

英日出品的毫秒遲發電雷管的遲發時間

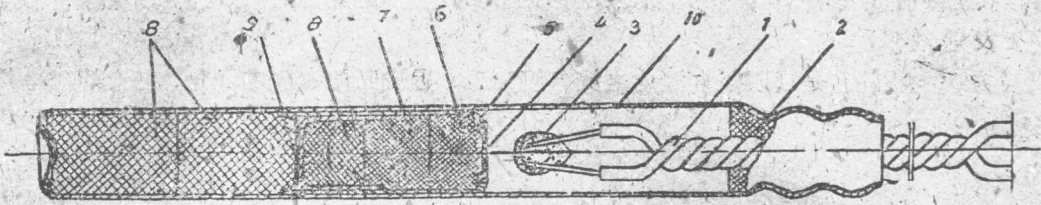
表 4

遲發順序	額定遲發時間 (毫秒)	額定間隔時間 (毫秒)
1	8	8
2	25	25
3	50	25
4	75	25
5	100	25
6	125	25
7	150	25
8	175	25
9	200	25
10	250	50
11	300	50
12	350	50
13	400	50
14	450	50
15	500	50
16	550	50

美國生產的一種毫秒遲發電雷管的遲發時間

1956 年蘇聯試驗成功一種 Θ ДК-3 型毫秒遲發電雷管（圖 3），其遲發時間共有六種（參見表 5）；最小遲發時間為 25 毫秒，最大遲發時間為 200 毫秒。對 2600 個雷管進行試驗結果指出：當間隔時間為 25 毫秒時，遲發時間最大誤差不超過 11 毫秒。當間隔時間為 50 毫秒時最大誤差為 20 毫秒左右，試驗時通入雷管的電流為 1 安培；這種雷管引爆是用电引焰球，少瓦斯的兩層引焰劑包裹着直徑 0.03 毫米的鎳鉻金屬電橋絲而形成如家用火柴頭的球滴狀體；第一層引焰劑的配方為：50 分氯酸鉀、50 分硫代氯酸鉛和一分鉛丹；第二層引焰劑配方為：90 分鉛丹和 10 分硅酸

钙；这种引焰构件保证达到最小的起爆误差时间，它的迟发剂是与一部分起爆药一起压装在加强帽中，迟发剂是由铅丹和硅酸钙及硅铁制成；这种雷管是用塑胶塞子密封的，所以防水性很好。



1-导线； 2-塑胶封口塞； 3-电引焰球； 4-加强帽； 5-迟发剂； 6-叠氮化铅； 7-泰安炸药； 8-笠帽； 9-管壳； 10-管亮。

图3 苏联制 ЭДК-3 毫秒迟发雷管

表 5

迟发顺序	额定迟发时间 (毫秒)	额定间隔时间 (毫秒)	试验的迟发时间 (毫秒)
1	25	25	21—31
2	50	25	39—60
3	75	25	65—84
4	100	25	91—115
5	150	50	133—170
6	200	50	180—240

毫秒迟发电雷管能够应用于各种爆破工程中，在有水有瓦斯煤尘爆炸危险的平巷和竖井掘进中，特别能够显示出它的优越性。因而在外国逐渐广泛地趋向于使用构造更完善，迟发时间更精确的，段发数更多的毫秒迟发电雷管，这种雷管在制造上剂量要求较精密，工艺过程较复杂，成本也较高，火药工业不太发达的国家制造起来比较困难，但是在我国现今条件下不但迫切需要而且完全有可能组织试验生产。

第二类：电阻电线联结。

在瑞典使用的差电阻毫秒迟发爆破仪网路如图4、5所示。其原理是：毫秒迟发爆破药包的电雷管相互之间是按多段并联线路联结的。定值附加电阻 r 依次与每一电雷管相接。由于这些电雷管互不相等，故将规定定值的电流供给爆破线路时，就形成一种能保证药包依次爆破的电流分配。

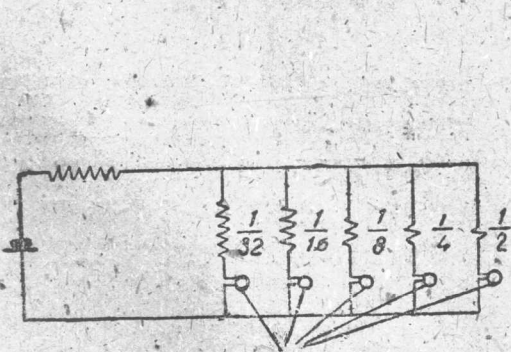


图4 差电阻爆破仪的电路

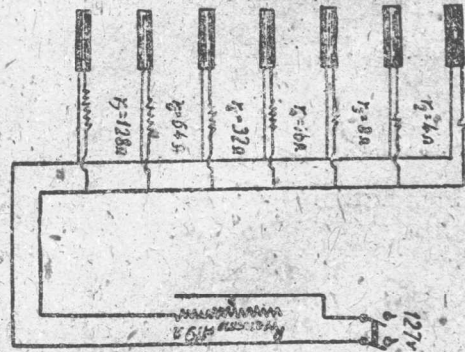


图5 差电阻爆破网的电路

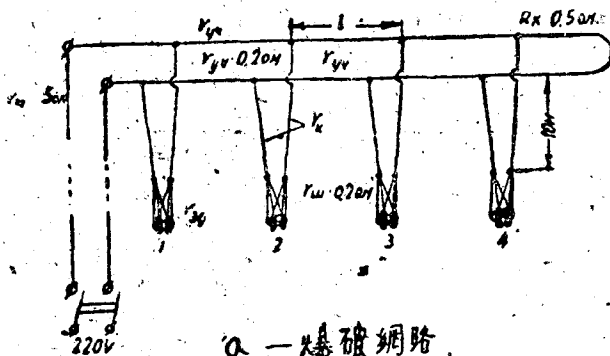
相邻药包的爆破迟发时间（普通为 25 毫秒）取决于进入各电雷管的电流的强弱。电源由电池组供给。所有必需的附加电阻均置于专门的小盒内，主线由此处敷向起爆药包。

这种方法的主要缺点为线路比较复杂。但有些人认为在我国缺乏毫秒迟发电雷管和精确的继

爆装置情况下，它是比較精确而又易于使用的一种方法。

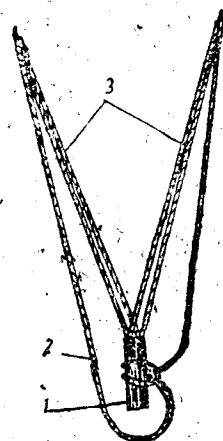
苏联路其錦 (М. В. Ручкин) 工程师所說的綫路联結系用定阻导綫来分配电流使用較为方便 (图 6)，其迟发時間間隔为 15 毫秒，但須进行計算和測量。迟发時間間隔决定于电雷管中电流的大小 (見表 6)。

这类方法主要缺点是当爆破电源的电流不恒定时，迟发時間也就不准确，而且爆破电网的联



r_{yd} —雷管电阻； r_{yu} —分流电路电阻； r_{yu} —雷管間之导綫电阻；
 l —具有电阻 r_{yu} 的导綫长度； r_k —脚綫电阻； R_k —終端閉合导綫电阻。

图 6 双并联合分流爆破电路



a-联結方法

1—电雷管；2—分流电路；
3—脚綫。

表 6

通入电雷管的电流强度 (安 培)	間 歇 時 間 (毫 秒)	通入电流管的电流强度 (安 培)	間 歇 時 間 (毫 秒)
2.5 以上	15	1.52	40
2.23	20	1.32	50
1.79	30	1.18	60

分流电路中电流强度与間歇時間的关系

結技术比較复杂，对供电綫路的电阻值和电雷管的引焰构件都要求得很严格。

第三类：繼爆装置。

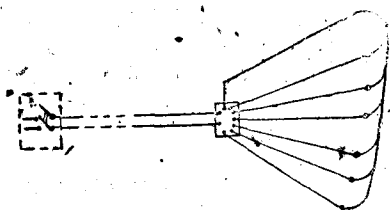


图 7

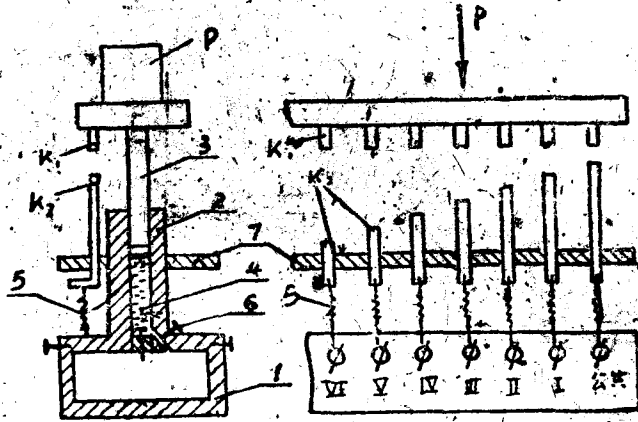
借助于專門的換向开关仪来进行毫秒爆破的方法已得到广泛的应用。运用这种仪器每隔一定時間依次供給各起爆药包的电雷管以电流起爆能。如图 7 所示，当活动接触点与固定接触点閉合时，电流就依次通向爆破綫路的每一个导綫，因而药包按預定次序和为活动接触点运动速度而确定的時間間隔进行爆破。

下面將各种繼爆装置作簡單介紹：

(1) 庫庫諾夫式起爆器

每一段的电雷管都有一根脚綫接到公共綫接綫柱上，另一根脚綫則分別接到接柱 I、II……上，使仪器发生作用时，用手將活塞 3 提起，此时油 4 由容器吸入圓筒。假若放开活塞，則其慢慢向下移动。这时接触杆 K_1 便开始順次与接触杆 K_2 接触，因而电流亦依次爆破綫路的各导綫。爆破

的迟发速度决定于接触杆 K_2 的高度差和活塞的降落速度，活塞向下移动的速度可由针形阀 6 来调节。仪器分为 15 个迟发时间间隔。迟发时间间隔是从 10 到 100 毫秒。仪器重约 9 公斤 (图 8)。



1-液体容器；2-油筒；3-活塞；4-油；5-弹簧；6-开关；7-绝缘架。

图8 庫庫諾夫式起爆器

庫庫諾夫式仪器的主要缺点是仪器需要经常调节，这是因为油的粘度随着温度的变化而变化，致使触键 K_1 下降速度有误差，因而就影响迟发时间的精确性。

(2) 工程管理局式起爆器。

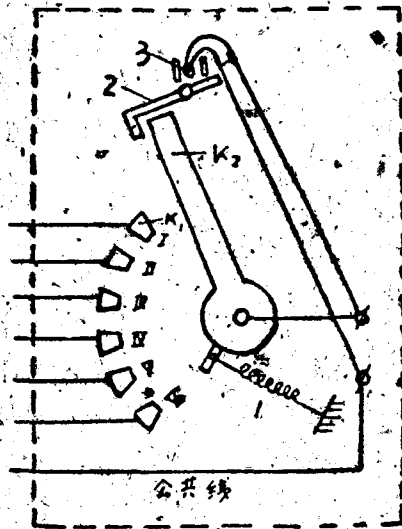
起爆时接通电流，电气点火剂 3 爆炸。因而使杠杆 2 蹿起，滑键 K_2 被弹簧 1 拉向左旋。当滑键 K_2 依次接触定键 $K_1 I II \dots$ 时，各段电雷管即相应地顺序爆破。这种仪器的迟发时间是固定的，约为 70~80 毫秒。本仪器使用方便，外形尺寸小，构造也简单 (图 9)。

这种仪器的主要缺点是，其规定的迟发时间间隔不准确，另外在使用过程中迟发时间会因弹簧的弹性疲劳而增加，即迟发时间不能保持常数。

(3) 科列尼斯托夫式起爆器，

本仪器是利用重物自由下落的原理来工作的。将插销 1 拔除后，重物 P 沿导杆 2 落下，使活动接触点 K_2 转动，与相应的一些接触点 K_1 接触，爆破线路内各导线即依次接通，迟发时间间隔可用接触点所处的高度的调节来控制。

本仪器的构造及校准都很简单 (图 10) 但是它不能得到



原 9

很多的迟发时间间隔。

(4) ВЭД-Л-1 式起爆器

工作最可靠和准确的仪器是以电动机使活动接触点发动的换向起爆仪。苏联列昂耶夫工程师设计的 ВЭД-Л-1 型仪器 (图 11)，就是一种用 220 伏特电压的交流电来工作的换向起爆仪。这种仪器其马达经过两次减速后带动圆盘旋转从而使滑键 K_2 依次与定键 K_1 接触。各段电雷管因而获得电流顺序起爆。其迟发时间间隔为 10、20、30、40、60、80、120、150 毫秒等。

本仪器的原理示意图很简单，但其构造却极为复杂。

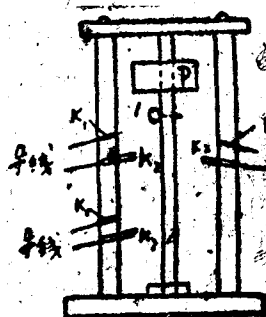


图 10

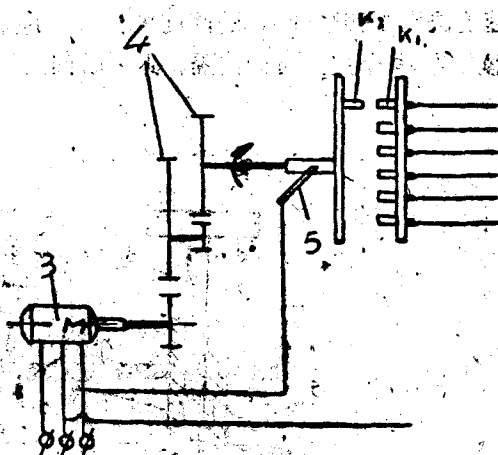


图 11

(5) 卡杜林式起爆器

馬達轉動時螺帽沿螺桿行進，螺帽上附有滑鍵 K_2 依次與定鍵 K_1 相接觸。造成電雷管的順序爆破。遲發時間間隔決定於電動機的迴轉數，螺絲杆螺距的長短以及各固定接觸點間的距離。利用這種儀器可以得到 45 毫秒到 4 秒的遲發時間。(圖 12)

(6) MBM-1M 型起爆器。

這種起爆器是用特殊裝置將電氣起爆能依次送入各爆破綫路的。每次可起爆 4 組電管。每組各有 10 個電雷管串聯。遲發時間間隔為 40~400 毫秒。儀器全重 4.9 公斤。

(7) ПС-А-55 型傳爆綫繼爆裝置

當穿過管尾 3 的傳爆綫爆炸時，爆炸生成的氣體推動帶撞針的活塞 4 以一定的速度飛向裝在制動螺絲墊 5 內的引火帽。後者引起雷管的爆炸可通過另一根傳爆綫達到第二響雷管。撞針行程長度的不同可以決定遲發時間間隔。撞針行程長度分 10、15、20、30 厘米幾種。其遲發時間間隔為 10~30 毫秒。使用這種方法時遲發各段雷管每個都需要裝上這種裝置(圖 13)。

其主要缺點為，遲發時間不易掌握準確。並且經常有拒爆現象。撞針不能準確的击穿引火帽

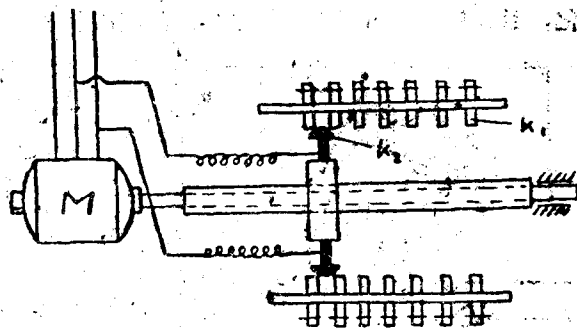
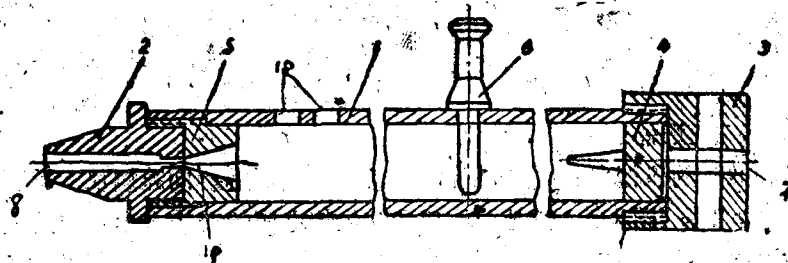


图 12



1-金屬管； 2-前螺絲帽； 3-尾螺絲帽； 4-撞針； 5-制動螺絲墊； 6-安全插銷；
7-插先發導爆綫孔； 8-插後發導爆綫孔； 9-放置引火帽孔； 10-出氣孔。

图 13 ПС-А-55 繼爆器

或引火帽不能引爆迟发的导爆线。

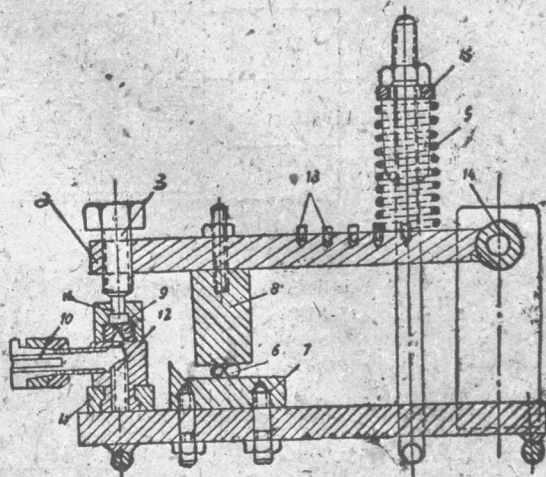
(8) 3ДР-54 型传爆线继爆装置

先先导爆线 6 的爆炸迫使杠杆 8 向上升起，然后标准弹簧 5 又令杠杆回降，这时冲击螺钉打击枪弹式引火帽。引火帽 9 的火花引起爆炸室中雷管的起爆，雷管的起爆通过传爆线通到第二响雷管 (图 14)。在安装正确无误的情况下，迟发间隔时间为 10~90 毫秒。迟发时间间隔的大小通过弹簧 5 的弹压力和弹簧位置来调整。弹簧距铰链轴愈近，迟发时间就愈长，固定螺母 15 愈向下拧则弹簧的压力就越大。迟发时间就愈短。

这种装置较复杂，由于弹簧弹力不能维持常数不变，因而迟发时间误差很大。并且经常不能使第二发起爆，所以现在很少使用。

(9) 双雷管迟爆管

这种双雷管迟爆管较广泛的应用在美国、加拿大、英国及比利时的露天和深孔爆破中。其构造 (图 15) 主要是两个雷管，中间由胶皮把它们分开。第一个雷管 (接至先发的导爆线) 就是一个普通的火雷特管，第二个雷管前带有特殊的毫秒迟发构件。实际上第二雷管就是一个毫秒迟发雷管，第一个雷管爆炸所产生的爆炸能沿着胶皮管前进引燃迟爆剂。经过若干毫秒后，迟爆剂燃完而使第二个雷管起爆。



1-基架； 2-冲击杠杆； 3-冲击螺钉； 4-发爆构件；
5-弹簧； 6-先导爆线； 7-螺钉； 8-抬起杠杆；
9-火帽； 10-发火室； 11-冲链； 12-斜顶螺钉； 13-弹簧定位销； 14-铰链轴； 15-固定螺母

图 14 3ДР-54 型传爆器



1-雷管 2-胶皮管 3-卡口管 4-金属管 5-缓发剂 6-ДМ-ДМ导爆线

图 15 双雷管迟爆管

这种迟爆管制造技术较复杂，雷管的消耗量较大。但是使用方便可靠，间隔时间较准确。目前可算是使用导爆线的毫秒迟发爆破方法中最好的一种。可以在我国火药制造厂组织生产。

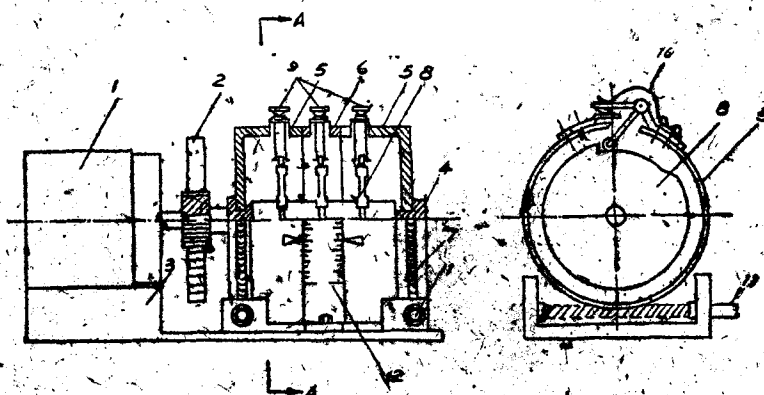
(10) 57 型毫秒爆破仪

1957 年鞍山钢铁公司积极研究和推广毫秒迟发爆破法，并试制出 57-型毫秒迟发爆破仪。该仪器是由机械与电机两个部分组合而构成的 (图 16、17)。

220 伏的动力电源接在接线柱 T_1 上，伏特表 M 指出线间电压值，电源红色信号灯 JK 发光。若使用同一电源进行爆破，则需将接线柱 T_1 与 T_2 并接，点炮电源信号灯 JK 发光，表示点爆电源已通电。

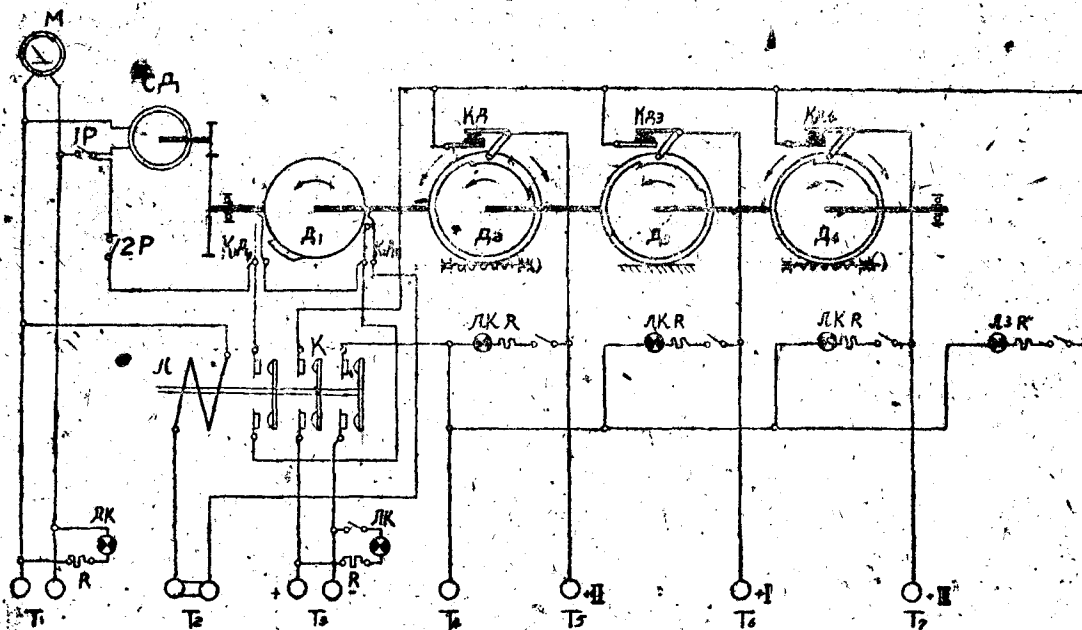
当用另外的电源 (6、12、36、110 伏等) 起爆时，则 T_3 与 T_1 接线柱分开。电源不用 220 伏时，信号灯 JK 不发光。

电源开关 1P 接通后，电机开始转动，如果声音正常，证明动力部分良好。



1-电动机, 2-变速齿轮, 3-机座, 4-輪軸, 5-活动座盘, 6-固定座盘, 7-蜗輪, 8-凹輪, 9-接点, 10-彈簧, 11-蜗姆杆。

图 16 157 型爆破仪器机械部分示意图



OM-同步电动机, M-电压表, 1P-总电源开关, 2P-点炮电源, JK-红色信号灯, LK-信号灯电阻器, L-绿色信号灯, J-继电器, K1, K2-常开接点, K3-常闭接点, K4-凹輪接点, T1-电源接线柱, T2-远操作接线柱, T3-点炮电源接线柱, T4-輸出总接线柱, T5-第二列輸出接线柱, T6-第一列輸出接线柱, T7-第三列輸出接线柱。

图 17 电器系統

自动控制(放炮)开关 2P 接通后, 电流到常开接点 K_1A_1 处被遮断, 待凸輪 A_1 凸点轉到 K_1A_1 时, 接点才闭合。这时, 电流通过常閉接点 K_2A_1 和 T_2 , 导入繼电器綫圈 J , 鉄心激磁, 冲鉄吸着牵动拉杆, 使繼电器的各組接点 $K(J)$ 接通。第一組 K_1J 接通后, 使 K_1A_1 常开接点短接, 凸輪虽越过 K_1A_1 , 繼电器仍然保持吸着位置。第二組接点接通, 使起爆电源从 T_3 导至接触点 K_2A_2 、 K_2A_3 、 K_2A_4 等固定的一极直到凸輪 $A_2A_3A_4$ 的凹下缺口按調好的順序轉过 K_2A_2 、 K_2A_3 、 K_2A_4 接点, 接点活动一极与固定极接触后, 电流才按調整好的時間順序——导至輸出接点 T_5 、 T_6 、 T_7 , 同时 T_3 通过第三組 K_3J 接点与輸出电路 T_4 接通。

信号灯 JK 随着各接点的闭合而顺序发光, 输出电流到达药室, 烧断电管桥线, 完成了点炮任务, 这时 A_1 凸轮的凸点接触常闭接点 K_2A_1 , 切断继电器电流, 信号灯 JK 消光, 继电器磁铁消磁, 冲铁释放, 各接点 KJ 断开, 恢复原位。

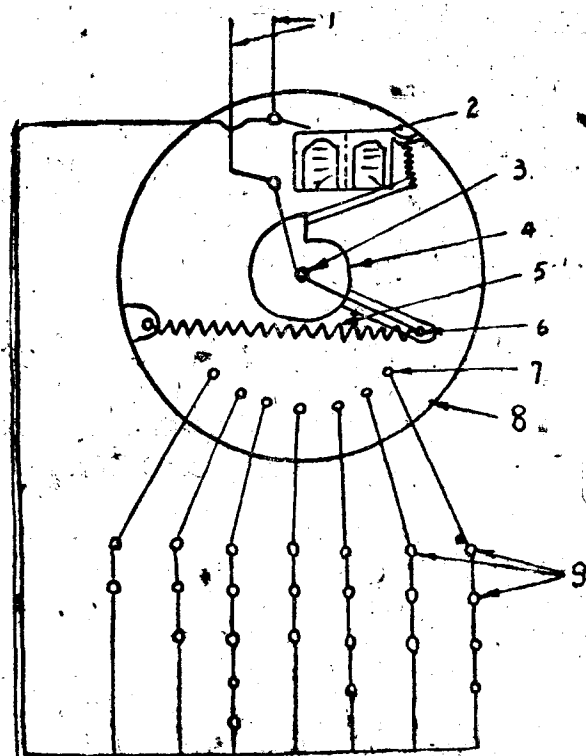
远方操作接线柱 T_2 , 在不作远方操作时短接不用, 需要远方操作时, 用导线延长, 线端装一开关, 在安全地点操縱继电器的动作。

这个仪器动作时间准确, 可調范围 $0 \sim 200$ 毫秒, 中間任意选择, 爆破段数为三, 时间誤差为一毫秒, 不受温度、潮湿、震动等外界影响。另外在危险地区可作远距操作, 一台仪器同时可供多組进行爆破。

最后介绍两种目前我国现场試驗与使用的配电仪

(1) 鼓形配电仪

这种配电仪如扁鼓形, 使用时将它放在爆破孔附近或支架的背板后面, 每組电雷管皆抽出一



1-接电源导线; 2-继电器; 3-中轴; 4-转动盘;
5-弹簧; 6-游动触点; 7-固定点; 8-外壳;
9-电雷管。

图 18 鼓形配电仪

根电线接至放炮总的外接线柱上, 另一根电线则根据爆破孔的爆破次序接至相应的固定触点上, 用把手揷动中轴上端时, 转动盘便被继电器衔铁卡住。此时人及工具等撤至安全地点, 接通电流后, 继电器首先开始动作而放松转动盘。于是转动盘在揷紧的弹簧恢复力作用下转动, 游动触点輪次接触各固定点后, 雷管即起爆, 由于所有雷管是即发的, 故先通电者先起爆。若即发雷管的起爆誤差时间很小, 则相邻两发爆炸間的迟发时间由游动触点的行动速度和固定触点間的距离以及触点移动阻力来确定。

鼓形配电仪的弹簧是采用大型时钟用的盘形发条, 其弹力經久很少变化, 因而保证了配电仪的耐用。(图 18)

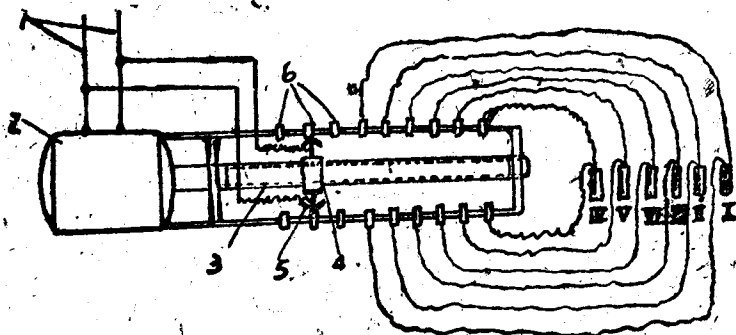
根据鼓形配电仪的最先两个样品的初步試驗証明, 它具有下述主要优点:

1. 构造简单、制造容易、成本低。
2. 使用技术简单, 只需用即发电雷管。
3. 調整弹簧的預紧程度和固定触点間距可以任意选择和控制在迟发时间。
4. 一次起爆的雷管量多, 可以获得較多的迟发数。

但是当通入的电流和电压較小时, 继电器的动作就不可靠, 迟发时间也就不大准确。同时常由于游动触点与固定触点間的接触不良, 接触电阻增大, 故每次通入各組雷管的电流不恒定, 必須使用較大的电流 (最好是直流电) 并尽可能使触点平滑, 以减少游动触点的滑动阻力, 这样才能保证較准确的通电間隔时间。

(2) 利用电动机螺絲杆带动的配电仪,

馬達經過減速後帶動螺絲杆 3 轉，而螺母 4 向前行進。使游動触点 5 依次與固定触点 6 接觸，各段電雷管獲得電流順序起爆。為了使電動機有恒定的轉速以控制遲發時間，最好利用 0.5 馬力以下的同步電動機帶動，其構造如圖 19。



1-接電源導線， 2-同步電動機， 3-螺絲杆， 4-螺母， 5-游動触点，
6-固定触点， I-IV-順序起爆的雷管

圖 19 電動機——螺絲杆或配電儀

五、各國應用毫秒遲發爆破法的情況

大家知道，目前我國很多礦山都在進行毫秒遲發爆破的試驗與研究工作，並取得了一定的成績。由於篇幅所限只把大孤山鐵礦毫秒遲發爆破的經驗作如下簡介：

該礦是在中等的或難爆的岩石礦床中，選擇 20—25 毫秒的時間間隔，使用楊雨田工程師設計的電氣爆破器（57 型毫秒爆破儀）進行兩次試驗的結果，分別獲得如下指標（表 6）與（表 7）。

表 6

爆 破 方 法	日 期	爆 破 效 率		炸 藥 消 耗	
		M ³ /M	%	kg/M ³	%
即 發	技術設計	37.7	100	0.428	100%
旧 法 即 發	57 年 9—12 月	51.7	137.5	0.400	93.5
大 孔 距 即 發	57 年 9—12 月	58.3	154.5	0.394	92.0
微 差	57 年 9—12 月	58.3	154.5	0.390	91.1

從表 6 可以看出，毫秒遲發爆破每米炮眼的出岩率較技術設計提高了 54.4%，較旧的大孔布置參數的即發爆破提高 12.8%。

從表 7 可以看出，大孔距即發爆破的二次爆破炸藥消耗量比毫秒遲發爆破少 19%，但是該數值是不準確的，因為爆破了礦石尚殘留一部分（23 噸）沒有挖淨，同時大塊多、根底也較多的第二采掘帶尚未采完，所以還不能作最後的結論。

根據試驗認為，毫秒遲發爆破的最大優點是減弱了爆破的地震效應，爆破區的后沖綫小，裂縫少，便于穿孔作業。

蘇聯在試驗與應用毫秒遲發爆破方面取得了很大的成效。他們現在已經開始將毫秒遲發爆破