



## 定向爆破及其在农田基本建设中的应用(一)

中国科学院北京力学研究所爆破组

本文介绍定向爆破技术在农田基本建设中的应用。主要内容有:在土岩中一般爆破的基本原理;定向爆破技术的基本原理及其设计、施工方法,以及其他与爆破有关的技术问题。文章从实际出发,列举了几种典型地形的移山造田定向爆破的设计例子。可作为对农业战线上初学爆破技术的人员举办训练班的讲义,也可供已从事爆破工作人员参考。

### 第一章 引言

使用炸药破碎和抛掷土岩,如移山造田、开挖路堑、凿通隧道、筑水坝、改移河道、开采矿石、破坏建筑物、拆毁金属物体、破冰、采伐树木等作业,都属于爆破工程。

爆破工程中常采用定向爆破技术。定向爆破就是利用炸药爆炸作用的原理,依据工程的实际需要,进行合理设计,将爆破的土或岩石按一定的方向抛掷一定距离,并将其堆积成一定的形状。

全国解放二十五年来,在党和毛主席的英明领导下,在毛主席革命路线指引下,随着工农业的大发展,用药室法进行大爆破的技术,愈来愈广泛地应用于矿山、水利、交通、铁路及国防等各项建设事业。特别是无产阶级文化大革命以来,爆破技术在社会主义革命和社会主义建设中发挥的作用愈来愈大。1971年在我国西南某地一次矿山爆破,规模达到一万余吨。在水电部门,继东川口、南水定向爆破筑坝成功之后,1973年在陕西长安又采用定向爆破方法成功地筑成了水坝,使定向爆破技术达到了新的水平。

在当前深入开展批林批孔运动的大好形势下,全国农业战线上的一面红旗——大寨,为了尽早实现农田水利化、农业机械化,为中国和世界革命做出更大的贡献,首先提出了搬山填沟造平原的新套套。大寨贫下中农改天换地的斗争,经历过“镢头加箩筐”、“小炮加推车”的阶段,1971年,他们开始用爆破方法平整土地,现在,则发展成用“大爆破加推土机”的方法,为我国山区、丘陵地区的农田基本建设闯出了一条新路子。不难预料,在毛主席“农业学大寨”的伟大号召下,为了改变山区面貌,迎接社会主义革命和社会主义建设的新跃进,采用定向爆破技术进行大规模的农田基本建设必将形成高潮。

定向爆破技术应用于农田基本建设,具有许多优越性。首先是工效高。定向爆破施工能直接运送大量土石方,一次一般规模的爆破,可以在很短时间内完成几千至几万土石方的工作量。而且由于爆破的松动作用,平整土地也更容易。其次,与人工比,工程占用劳力少,施工期限短,不受或少受农时的限制。昔阳大寨大队在夏季大忙时刻,利用定向爆

破,造地十亩,作到了当年受益。第三,工程使用的工具也比较简单,在土壤中施工时,用镢头、锹、锤子、钢钎、手推车即可;在岩石中施工,则除了利用钢钎打眼法外,有条件的地区可使用内燃凿岩机等简单机械。另外,对场地、交通运输,季节等施工条件的要求也较低。因此,对于广大山区特别是那些地形陡、有岩石,而劳力和机械工具不足的地区,采用这种技术是比较合适的。

采用定向爆破技术时需要注意以下问题:

一、在进行爆破设计之前,必须对平整土地有较全面的规划,尽可能地明确采用定向爆破所要达到的目的和要求,如预计整地高程、整地块大小等,使爆破抛掷方向、抛掷方量和抛掷距离符合实际需要,避免出现超挖超填现象。

二、详细掌握爆破地区的地形地质情况,要有比例尺在 1:200 以上精度的地形图和一般地质资料作为设计的依据。

三、精心设计。正确运用公式和选取各种设计参数,画图和计算要准确,要多做几种方案比较,以选择既经济合理,又便于施工的方案。

四、精心施工。在爆破工程中,只有正确的设计还不能认为有了成功的把握,往往由于施工条件差、施工测量误差、施工人员的疏忽等,造成施工药室位置与设计不符,以致使爆破效果不理想甚至失败。因此,必须按设计要求严格保证施工质量。施工确实发生困难时,必须重新局部或全部改动设计。

五、保证安全。所有爆破工作人员,必须加强阶级斗争观点,提高警惕、注意安全,严格执行安全操作规程,不允许有任何麻痹大意。

为了保证爆破工点附近人、畜、庄稼、设备及建筑物的安全,爆破设计必须充分考虑爆破时引起的地震、空气冲击波的作用及飞散石块的影响,提出足够的安全距离。对于可能遭到危害地带的建筑物或机械设备,应事先采取相应的防护措施。

爆破应用于大规模的农田基本建设后,必将提出爆破技术的普及和提高的问题以及炸药来源和降低炸药成本的问题。在这方面,大寨人为我们作出了榜样。依靠自力更生、艰苦奋斗的革命精神,发动群众,因地制宜,土洋并举,有计划地经过试点,逐步推广,可以相信,一些具体困难是可以被克服的。

## 第二章 爆破技术的一般原理

### § 2-1 爆破对周围土壤或岩石的作用

炸药在土或岩石内爆炸时,在极短的时间里,通过剧烈的化学反应,原来是固体的炸药迅速转变成具有很高温度和很大压力的气体。这种高压气体对周围土石压缩作用的结果,产生了应力波,并向四周传播,使这个地区的土石受到不同程度的破坏。离炸药近的地方,受到的破坏严重;距离药包越远,受到的破坏就越小。

如果药包周围的介质是均质的,爆炸波的作用在各方面均等,爆炸波在介质内向外的扩散是同心层状,产生爆破作用圈(图 2-1)。根据受爆炸作用的土或岩石的变形和被破坏的程度,大致可分为:

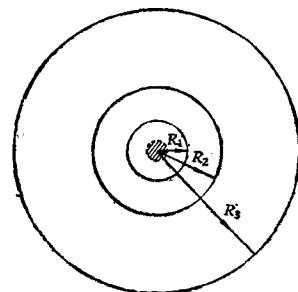


图 2-1 爆破作用圈

1. 压缩圈: 最靠近药包的一圈。在这个作用圈内, 土或岩石受到的压力最大。如果药包周围是土壤, 则爆炸后土壤被大大地压缩, 在药室四周形成空腔, 这个区域叫压缩圈。它的外半径  $R_1$  叫做压缩半径。如果是在坚硬的脆性岩石中爆破, 药室壁附近的岩石被粉碎, 所以压缩圈也称为破碎圈。

2. 破坏圈: 在压缩圈以外至半径  $R_2$  的范围内, 介质受到的爆破作用力比压缩圈内要小些, 但土或岩石原有的结构已遭破坏, 成为各种尺寸和形状的碎块。稍远的地方, 只是产生了裂缝。这个范围叫做破坏圈。由药包中心到破坏圈的距离叫破坏作用半径。

3. 震动圈: 在破坏圈之外, 爆破作用只能引起介质地层的震动而不被破坏, 这个区域称为震动圈。

## § 2-2 药包的分类

药包是指放在土或岩石内部或表面准备进行爆破的一定数量的炸药。

一、按药包的形状可分为集中药包和延长药包。在实用中, 把凡是高度不超过直径四倍的圆柱形药包或高度不超过底面短边四倍的棱柱形药包叫做集中药包(图 2-2)。如果药包的长度超过上面规定的限度都属于延长药包。在进行峒室大量爆破工程中, 一般采用集中药包。在用炮眼法进行深孔爆破或坑道掘进时, 则采用延长药包。

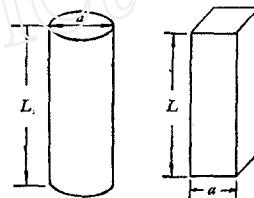


图 2-2 药包的形状

二、按药包的爆破作用可以分为:

内部作用药包。这种药包在土或岩石内部爆破时, 破坏仅限于介质内部, 对于外表面的岩石或土壤不产生显著的影响。在药包附近形成一个空腔, 一般称为药壶(图 2-3a)。

松动药包。它的爆破作用只是使土或岩石从内部破坏到表面, 破坏半径超过药包中心到地表面的距离。爆破后, 可以看到地表的土或岩石有凸起的现象, 但这些破碎块体并没有被抛掷(图 2-3b)。

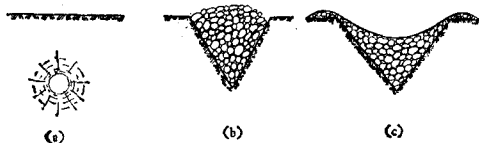


图 2-3 药包作用分类

(a) 内部作用药包; (b) 松动药包; (c) 抛掷药包

如果增加松动药包的炸药量, 炸药的埋深不变, 这时, 将有一部分炸碎的土或岩石在强大的爆炸气体的作用下被抛掷出来, 形成一个明显的爆破坑, 这种药包称为抛掷药包(图 2-3c)。

裸露药包。它指的是放在土或岩石表面进行爆破的药包。这种药包爆炸时, 由于大部分能量耗散在空气中, 爆破效果很差。只有在一些特殊情况下才使用, 如在水下爆破暗礁等。

## § 2-3 爆破漏斗

药包在地下爆破, 当破坏半径达到临空面(土或岩石与空气的接触面)时, 这个方向上的土石不但受压碎裂, 而且获得一定的运动速度, 被抛掷出去, 使地面上形成一个爆破坑。一部分炸碎的岩石或土块被抛到坑外, 一部分仍落回坑内。由于爆破坑的形状象漏斗, 所以称为爆破漏斗(图 2-4)。

大量实践表明, 爆破漏斗的形状类似一个倒立的圆锥体。这个圆锥体的高  $W$  叫做最小抵抗线(即药包中心至地面最短的距离)。圆锥底面的半径  $r$  叫做爆破漏斗半径。圆锥

的母线  $R$  叫做爆破作用半径, 又称为破坏半径。爆破后, 漏斗内还留有一部分已被松动了的和回落的土石。由原来地表面至漏斗中心残留介质的距离  $p$  叫做漏斗可见深度。

爆破漏斗的尺寸与介质的性质、炸药的性质和药量的大小、药包的埋置深度有关。爆破漏斗的相对大小, 一般以爆破作用指数  $n$  来表示

$$\text{爆破作用指数 } n = r/W$$

当爆破作用指数  $n = 1$  时, 称为标准抛掷爆破漏斗; 当  $n > 1$  时, 称为加强抛掷爆破漏斗;

当  $n < 1$  时, 称为减弱抛掷爆破漏斗。实际上, 当  $n < 0.75$  时, 就没有抛掷现象, 不能形成可见的爆破漏斗。这就是松动爆破。

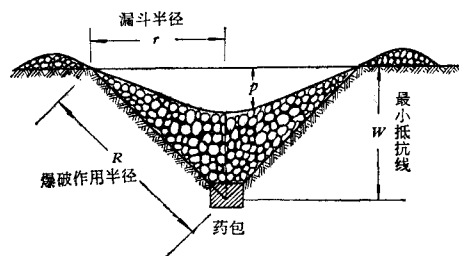


图 2-4 爆破漏斗

#### § 2-4 影响爆破作用的主要因素

炸药爆炸对介质的爆破作用是一个十分复杂的过程。因而影响爆破效果的因素是很多的。其中炸药品种、药量大小、药包位置以及地形、地质条件则是影响爆破效果最主要的因素。

##### 一、地形对爆破效果的影响

在土或岩石内放置抛掷药包爆炸时, 破碎了的土或岩石将沿着从爆炸中心到地表面(临空面)最短距离的方向抛出, 这个方向称为最小抵抗线方向。所以说, 药包中心位置和临空面决定着土或岩石抛掷的方向。

在药包位置固定的条件下, 地表面形状不同, 定向爆破效果就不一样。如果地表面是自然的山坡, 土石块就沿着垂直于山坡的方向抛掷出去。在平地爆破条件下, 抛掷方向就只能垂直于地面向上。但是如果在水平地面上先开挖一个坑, 由于地形条件变了, 抛掷方向就不再是垂直于地平面, 而是偏向一方(图 2-5)。

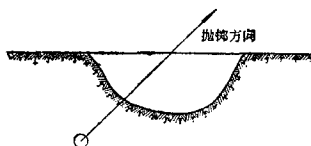


图 2-5 定向坑对抛掷方向的影响

由此可见, 地形是影响定向爆破效果的重要因素。在进行爆破设计时, 要充分利用有利的地形, 如在地形比较陡峻的山坡爆破, 用较少的炸药就可以爆落大量土石方。同时, 还可以改变不利地形, 改变临空面的方向, 控制炸药的爆破作用。在爆破工程上, 除了利用自然山坡面来控制抛掷方向外, 同时也可以利用前排药包爆破所形成的爆破漏斗作为新的临空面来控制后排药包爆破的抛掷方向。

##### 二、地质条件对爆破效果的影响

同样的炸药, 在不同的介质中爆炸, 爆破效果也不同。由于土壤的可压缩性大, 药包在土壤中爆炸可以把药包四周压缩成一个大的空腔; 而在坚硬岩石中, 同样大小的药包只能压碎很小的范围。

根据土壤和岩石的力学性质, 工程上把它们分为松土、普通土、硬土、软石、次坚石和坚石等不同等级。这些不同级别的介质直接影响着爆破单位体积的耗药量(爆破一方介质所消耗的炸药量)和介质破坏的程度。

各种岩石的组成成分、风化程度、岩层构造情况, 包括岩层走向、倾向、倾角, 岩石的层理、节理、裂隙以及断层、溶洞等地质情况, 对于爆破耗药量、破坏范围的大小和漏斗形状,

岩石破碎块度的大小和形状,有重要影响。

例如,在大寨地区,很大一部分地方的岩石都是石灰岩,当地称为青石。根据青石的分布情况、风化程度和裂隙发育程度,又分为大青石、小青石和碴。大青石往往和煤层在一起,岩层不厚,节理、裂隙发育,有时不用放炮,直接用开山锤和钎就可开挖。小青石岩体完整,岩层厚,节理裂隙不发育,一般要用爆破法开采。石碴是风化最严重的石灰岩,节理、裂隙十分发育,爆后形成的碎块在接触空气和水以后很快就变成粉末状。爆破这样的石碴,耗药量就低。

尽管地质条件十分复杂,岩石性质差异很大,但只要认真调查研究,充分掌握情况,具体分析,区别对待,根据不同情况采取适当措施,正确选择爆破参数,便可以得到最好的爆破效果。

### 三、炸药性质对爆破效果的影响

炸药的爆破效应是炸药爆炸时把贮存在炸药内的化学能迅速转变为对介质作机械功,使介质产生变形、破坏和运动。爆热是说明炸药内能大小的一个重要参数,因此各种炸药的爆热值不同,对介质产生的爆破效果也不一样。目前我国大量爆破工程中,都采用爆热值较高、爆力较大、猛度较低的铵梯炸药。常用的铵梯炸药有2#岩石硝铵炸药,这种炸药对于坚硬或松软土岩的爆破要求比较适应,价格也较低廉。用硝酸铵加可燃剂(如柴油和木屑)配制的铵油炸药爆破效果接近于铵梯炸药,价格比2#岩石硝铵炸药还要低。

## 第三章 爆破设计资料准备

### § 3-1 地形测量及地形图的绘制

为了进行正确的爆破设计,首先要对爆破工点进行普通地形测量。测量范围和精度是由平整土地规划和爆破设计的要求所决定的。在工程规模不大时,地形图比例尺一般不得小于1:200。因为整地高程是自定的相对高程,所以进行高程测量时,在爆破点附近可以任意找一点做基准点。如果爆破工点附近有国家高程控制点,则可以用它作为局部测量控制网的依据和校核基准。

测量时必须注意,在地形变化比较复杂的地方,测量点要尽可能密些;测量高程误差要控制到最小,如果误差超过允许范围,必须及时校正。

测量地形常用的仪器和工具是:水准仪、经纬仪、平板仪、水准尺、花杆、皮尺(钢尺)罗盘仪等。绘制和使用地形图时还需用计算尺、三棱尺、绘图仪、求积仪、量角器等。这些仪器和工具的使用方法,可参看测量学方面的有关书籍。

在地形测量的基础上,要绘制地形图。这个工作的主要内容是,把已测出的地形高程与平面位置的数据,按一定的比例尺绘制成等高线平面图,并在图上注明房屋、道路、田地、河流、渠道、树木等地貌特征。为了作图方便,可以使用方格纸直接绘图。

绘制出等高线地形图后,要到现场与实际地形校核。

因为爆破设计工作是在地形图上进行的,所以地形图的准确性是决定能否作出正确爆破设计的前提。

### § 3-2 阅读与应用地形图的基本知识

有了地形图后,根据平整土地的要求和爆破设计的需要,要绘制出平面图和各种断面图(横断面、纵断面),以便进行土石方量的计算和药包设计。因此,正确阅读和应用地形

图是关系到能否根据现有的地形资料作出较经济合理的爆破设计的问题。

1. 搞清楚地形图上的南北方向。
2. 搞清楚图的比例尺, 根据比例尺, 了解图上的长度、面积和实际地面上的长度、面积的对比关系。
3. 搞清楚等高线的特性, 正确地判断图上的各种地形, 如山头、山脊、山谷、盆地、鞍部、冲沟等。
4. 根据直角坐标格网确定平面图上某一点的直角坐标。

在绘制地形图时, 一般采用的图幅都有相对坐标数字。图幅的左边线与  $x$  轴平行, 图幅的下边线与  $y$  轴平行。如图 3-1 所示, 左下角交点的直角坐标数字为  $x = 500$  米,  $y = 100$  米。假设要求图 3-1 中  $A$  点的直角坐标, 则首先通过  $A$  点作平行于  $x$  轴和  $y$  轴的两条直线  $ef$  和  $gh$ , 然后用比例尺分别量出,  $ag = 7.0$  米,  $ae = 6.5$  米, 则:

$$x_A = x_a + ag = 510 + 7.0 = 517 \text{ 米}$$

$$y_A = y_a + ae = 110 + 6.5 = 116.5 \text{ 米}$$

还应量出  $gb$  和  $ed$  的距离, 作为校核。

5. 根据直角坐标格网, 确定某一直线的长度和它的坐标方位角。

如图 3-1, 在确定直线  $AB$  的长度  $L_{AB}$  时, 可按上述方法, 先从图纸上找出直线端点  $A, B$  的直角坐标值  $x_A, y_A$  和  $x_B, y_B$ , 然后按下式计算直线长度  $L_{AB}$ :

$$L_{AB} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}$$

直线  $AB$  的坐标方位角  $\alpha_{AB}$ , 可用下式计算:

$$\operatorname{tg} \alpha_{AB} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}$$

如果不要求非常精确, 则可以用比例尺和量角器在图上直接量出。

6. 根据等高线确定任一点的高程。

如果某一点的位置恰好在图内某一条等高线上, 则此点的高程就是所在等高线的高程, 如图 3-2 中  $A$  点的高程为 20 米。如果某点(如图 3-2 中的  $B$ )位于两条等高线之间, 这时就要通过  $B$  点划一条大致垂直于相邻等高线的线段  $mn$ , 并确定  $mB$  占整个线段  $mn$  的几分之几。

若  $\frac{mB}{mn} = 0.5$  则  $B$  点高程为  $20 + (0.5 \times 1) = 20.5$  米。

7. 根据等高线绘制地形图上已知方向的断面图。

如图 3-3a 要求出  $AB$  直线段的断面图。绘制的方法是: 在方格纸上取  $x, y$  直角坐标, 在  $x$  轴上取  $ab$  等于  $AB$  (图 3-3b)。再从地形图上将直线  $AB$  与各条等高线的交点  $A_1, A_2, A_3, \dots$  的位置分别按比例在  $ab$  线上划出  $a_1, a_2, a_3, \dots$ , 再在以上各点上作  $ab$  的垂

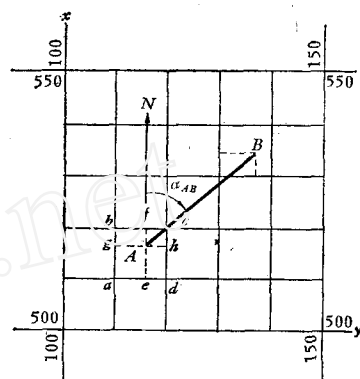


图 3-1 确定  $A, B$  点直角坐标

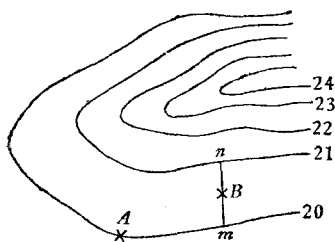


图 3-2 确定  $A, B$  高程等高线示意图

线,在垂线方向上按高程比例尺,分别划出各点的高程。最后把相邻点用平滑曲线连接起来,即得  $AB$  方向的断面图。

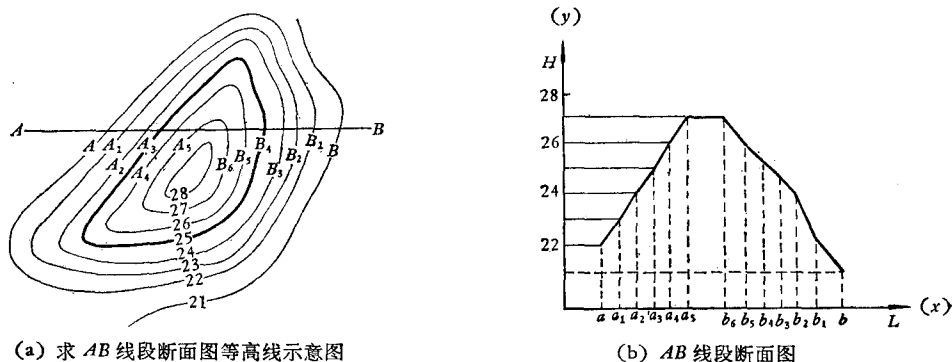


图 3-3

### § 3-3 地质勘探与地质资料的要求

爆破设计前,必须绘制地质构造平面图和断面图。

为了获得爆破设计所需要的地质资料,一般采用钻探取岩心或打竖井挖平洞等方法,并直接从地面裸露的岩石或地质构造露头去判断山体内部的地质状况。实际工作中,要注意充分利用已有的地质资料作参考。

勘探得来的地质资料,用一定的标记,按一定的比例尺,绘制地质图。

爆破设计所需要的地质资料主要是: 1. 土或岩石的名称、分类以及它们的一般物理、力学性质。2. 地质构造特性的一般描述,如岩层产状要素(走向、倾向、倾角)节理、层理、裂隙、褶皱、断层等。3. 具有较大比例尺的地质构造平面图与断面图。

### § 3-4 土石方量的计算

掌握了较充分的地形地质资料之后,就可根据平整土地的规划和要求,进行土石方量的计算。计算时要注意土石方量的平衡,即填方与挖方要基本相等。计算的方法,一般采用断面法或等高线法。

一、断面法: 按 § 3-2 绘制断面图的方法,在平整土地区域的地形图上(图 3-4a),每隔一定间距(10 米左右)划一直线垂直于左右边线,并绘出每条直线段  $A-B$ , 1-1, 2-2...

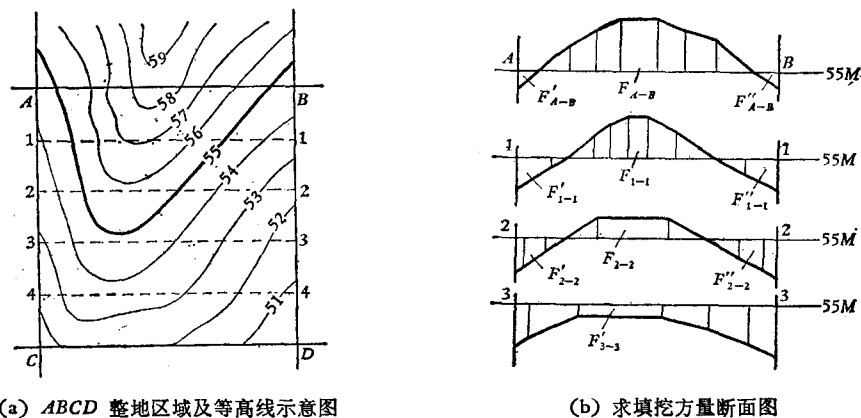


图 3-4

的断面图(图 3-4b)。在每个断面图上,以整地高程为分界,凡高于整地高程所围成的面积即为该断面处的挖土面积;凡低于整地高程所围成的面积即为该断面处的填土面积。面积计算可用透明方格纸法或求积仪进行。求出面积后即可计算相邻断面间的挖方和填方。例如,图 3-4b 中  $A-B$  断面和 1-1 断面间的挖方为:

$$V_{A-B} = \frac{F_{A-B} + F_{1-1}}{2} \times l$$

填方为:

$$V'_{A-B} = \frac{F'_{A-B} + F'_{1-1}}{2} \times l$$

$$V''_{A-B} = \frac{F''_{A-B} + F''_{1-1}}{2} \times l$$

式中  $F$  是断面处的挖方面积,  $F'$ ,  $F''$  是断面处的填方面积,  $l$  是相邻断面间的间距。

用同样的方法计算其他断面的土石方量。最后填方与挖方各自迭加起来,即求出  $ABCD$  的总挖方量和总填方量。

如果整地边线  $ABCD$  不是矩形而是任意形状时,根据边线的变化,采用不同的间距  $l_i$ ,计算方法与上面完全一样。

二、等高线法:首先分析地形图,按等高线的变化,以整地高程线为不填不挖的界线,采用分片或分层的方法求出填挖土石方量。

分片法是把所要平整的区域,根据等高线高程的差异分成若干个片,求出每个片的平均等高线高程  $h_c$  和该高程所围的面积  $F_c$ ,根据整地高程  $h$ ,求得某片的填方或挖方量为  $V_i$ ,则

$$V_i = (h_c - h) \times F_c$$

若所得的  $V_i$  是正值则为挖方,若  $V_i$  是负值则为填方。

求出所有各片的填挖土石方量后,即可求得总的填挖土石方量  $V$ 。

分层法就是按平整区域等高线的变化进行逐层计算,最后进行迭加的方法。先求出相邻二个等高线平均高程所围的面积  $F_c$ ,然后与等高线高程差  $h$  相乘,即可得出某一条等高线所占的土石方量  $V_i$ ,即

$$V_i = h \times F_c$$

按上式逐层计算完毕后,以整地高程为界线,将此高程以上各层的土石方相迭加,即为总挖方;将此高程以下各层的土石方相迭加,即为总填方。

### § 3-5 计算面积的方法

进行土石方量计算时,首先要求出填挖方的断面面积,然后才能计算出填挖方量。因为所要求的断面面积一般都不很规则,所以不能用简单的几何三角关系式去求。这里只介绍两种常用的方法:

透明方格纸法。用此法测定面积时,把透明方格纸覆盖在图形上(如图 3-5),数一下所要求的图形包括多少方格,边缘上的零头需要估计。根据图的比例尺可以算出每一个小方格代表的面积  $f$ ,这样就可以得出总面积  $F$ ,即

$$F = f \cdot n, \quad n \text{——小方格数目}$$

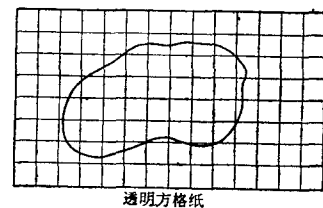


图 3-5 透明方格纸法求面积示意图

求积仪法。求积仪是一种专供测量面积用的仪器，它由极臂和航臂组成(图3-6)。使用时可按说明书中指出的方法，直接读数并计算出面积。

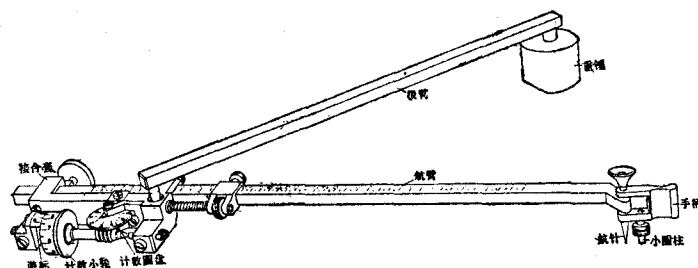


图3-6 求积仪

#### 第四章 药量计算及药包设计的参数选择

##### § 4-1 标准抛掷爆破药量的计算

在长期实践中发现，在形成标准抛掷爆破漏斗的情况下，炸药量是和爆破漏斗的体积成正比的。因此有

$$Q = KV \quad (4.1)$$

式中， $Q$  为炸药量(公斤)； $V$  为爆破漏斗的体积(米<sup>3</sup>)； $K$  为与炸药和介质性质有关的常数(公斤/米<sup>3</sup>)。

爆破漏斗的形状类似一个倒立的圆锥体，圆锥体的体积为

$$V = \frac{1}{3} W \cdot \pi r^2$$

对于标准抛掷爆破漏斗，爆破作用指数  $n = 1$ ，漏斗半径  $r$  等于最小抵抗线  $W$  (如图4-1)，即

$$r = W$$

所以  $V = \frac{1}{3} W \cdot \pi W^2 \approx W^3$ ，由此，公式(4-1)可以写成

$$Q = KW^3 \quad (4.2)$$

公式(4.2)表明炸药量和最小抵抗线  $W$  的三次方成正比。

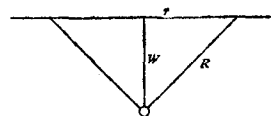


图4-1 标准抛掷爆破漏斗

##### § 4-2 加强和减弱抛掷爆破药量的计算

从大量爆破实践中看到，在同样的炸药品种和同样的地质条件下，炸药的埋深不变，如果增加炸药量，则破坏半径  $R$  和漏斗半径  $r$  都随着增加，因此爆破作用指数  $n$  也增加。如果减少炸药量， $R$  和  $r$  也减少，相应的  $n$  值也下降。这就是说，在最小抵抗线  $W$  不变时， $n$  值随着药量的增加或减少而相应地变化。为了增大爆破漏斗尺寸，就必须用较大的药量。为了减小爆破漏斗，则要减少炸药量。总结大量的爆破实践经验，这个函数关系可以写成下面的形式：

$$Q = KW^3 f(n) \quad (4.3)$$

式中， $f(n)$  是一个符号，表示这个数受  $n$  的影响而变化，它必须满足下列关系：

当  $n = 1$  时， $f(n) = 1$ ；这时  $Q = KW^3$ ，即为标准抛掷爆破漏斗的药量计算公式(4.2)。

对于加强抛掷爆破漏斗， $n > 1$ ，则  $f(n) > 1$ 。

对于减弱抛掷爆破漏斗， $n < 1$ ，则  $f(n) < 1$ 。

在我国爆破施工设计中,  $f(n)$  都采用下面的形式:

$$f(n) = 0.4 + 0.6n^3 \quad (4.4)$$

抛掷爆破漏斗的药量计算公式则为

$$Q = KW^3(0.4 + 0.6n^3) \quad (4.5)$$

从公式(4.5)可以看出,当炸药埋深(最小抵抗线)扩大  $\alpha$  倍,相应的药量要扩大  $\alpha^3$  倍,就可以得到形状相似的但尺寸扩大  $\alpha$  倍的爆破漏斗。

在斜坡地爆破时,药包的最小抵抗线是自药包中心至坡面最短的距离。应用公式(4.5)计算药量时,应根据地面坡度和设计要求选择  $n$  值。

随着生产的发展,爆破的规模越来越大,炸药的埋深也相应增大。当最小抵抗线达到几十米时,用公式(4.5)计算的药量往往不能达到设计的要求。许多研究认为当抵抗线加大时,炸药爆炸作用不仅要破坏周围介质而作功,还必须以更多的能量去克服重力的作用,才可以把破坏了介质抛掷出去。爆破规模越大,克服重力作功所消耗的能量就越显得重要。这时,炸药量不仅与  $W^3$  有关,还应与  $W^4$  有关,可以把这种关系写成一般形式,则有

$$Q = (AW^3 + BW^4)f(n) \quad (4.6)$$

#### § 4-3 松动药量的计算

松动药包爆破,没有抛掷现象发生,不能形成可见的爆破漏斗。这时应该  $r = 0$ ,  $n = 0$ 。但是实际上,只有当  $n > 0.75$ ,才可形成明显的爆破漏斗。所以在  $0 < n < 0.75$  范围内的药量爆破都是松动爆破。

在斜坡地形条件下,由于重力的作用,爆松的土或岩石可以顺着山坡滚下,形成可见的爆破漏斗。

松动药量的计算采用下面的公式:

$$Q_{\text{松}} = 0.33KW^3 \quad (4.7)$$

这个药量正好是形成一个具有同样最小抵抗线的标准抛掷药包的三分之一。在平缓地形条件下,用公式(4.7)计算的药量偏小,爆后块度大,效果不好。为了提高松动爆破效果,可以采用下式计算药量。

$$Q_{\text{松}} = 0.40KW^3 \quad (4.8)$$

或

$$Q_{\text{松}} = 0.50KW^3 \quad (4.9)$$

在农田基本建设中,垒坝(椿)、围堰都需要大量石方,采石放炮一般都用松动爆破。

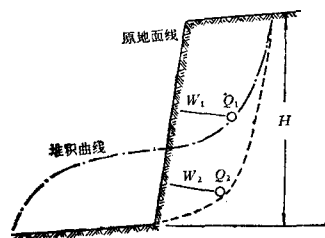
崩塌松动爆破常常用来采集大量土石方。如某地要爆松一个高达 12 米的土台阶,取土制作砖坯,要求爆松的土方堆积平整,便于浇水润湿拌成坯料。采用了两层药包布置,松动爆破效果良好(图 4-2)。

#### § 4-4 K 值和它的选取

公式(4.5)中的  $K$  值是与岩石和炸药性质有关的常数,要根据具体的爆破介质情况来选定。

对  $n = 1$  的标准抛掷爆破漏斗,公式(4.5)为

$$Q = KW^3$$



$W_1 = 20$  米  $Q_1 = 6$  斤

$W_2 = 2$  米  $Q_2 = 8$  斤

图 4-2 崩塌松动爆破

因为标准抛掷爆破漏斗的体积  $V \approx W^3$ , 所以有

$$K = \frac{Q}{W^3} = \frac{Q}{V} \quad (4.10)$$

可见  $K$  表示爆破成标准抛掷爆破漏斗时单位体积的耗药量。根据  $K$  值的这一物理意义, 在实际爆破工程中, 常常进行标准抛掷爆破漏斗的试验以确定  $K$  值。这就是在爆破地区选择一块平坦地面, 介质与正式爆破工点的一样, 进行小型单药包爆破(一般最小抵抗线  $W$  为 1—3 米)。采用和正式爆破同样品种和装药密度的炸药, 药包制成集中药包。当爆破获得标准漏斗时应有  $r = W$ ; 将爆破的漏斗体积去除形成此漏斗的药量, 便得到当地爆破的  $K$  值。

在工地进行标准抛掷爆破漏斗试验中, 应根据开挖药室爆破施工中实际崩落岩石单位体积耗药量或参考表 4.1 大致选定  $K$  值。最后应参考同地区同样介质的爆破结果, 对  $K$  值进行校核。具体设计时, 要考虑岩层表面风化程度进行调整。

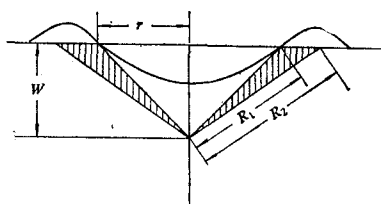
表 4.1 各种介质的  $K$  值

| 土岩种类  | $K$ 值(公斤/米 <sup>3</sup> ) | 土岩种类 | $K$ 值(公斤/米 <sup>3</sup> ) |
|-------|---------------------------|------|---------------------------|
| 粘土    | 1.0—1.1                   | 石灰岩  | 1.4—1.5                   |
| 黄土    | 1.1                       | 辉长岩  | 1.6—1.7                   |
| 坚实粘土  | 1.1—1.2                   | 变质砾岩 | 1.6—1.8                   |
| 泥岩    | 1.2—1.3                   | 石英砂岩 | 1.7—1.8                   |
| 风化石灰岩 | 1.2—1.3                   | 花岗岩  | 1.7—2.0                   |
| 坚硬砂岩  | 1.3—1.4                   | 辉绿岩  | 1.8—2.0                   |

表 4.1 列出了我国在不同的岩石介质中进行爆破施工所采用的  $K$  值。这些爆破使用的炸药为 2# 岩石硝铵炸药和铵油炸药。

#### § 4-5 $n$ 值的选用

爆破作用指数  $n$  是爆破形成的漏斗半径与最小抵抗线之比。根据这一定义,  $n$  值的大小说明爆破形成漏斗的大小。实际上在可见的爆破漏斗之外, 还有一个破坏漏斗(图 4-3)。在一定条件下,  $n$  值愈大, 漏斗也愈大, 抛掷出去的土体就多, 相应的破坏范围也大。



$R_1$  为可见漏斗半径  $R_2$  为破坏漏斗半径

图 4-3 破坏漏斗

在爆破工程中, 如平地挖槽, 铁路和公路路堑挖沟, 开挖河道和渠道, 开挖基坑(水池), 矿山揭开覆盖层等, 都需要抛掷大部分土体, 这类爆破可以选用较大的  $n$  值, 一般采用 1.50—2.00。这时爆破单位体积的耗药量都很大。同时还应指出,  $n$  值大, 破坏范围也大, 必须注意破坏范围大因而可能造成渠道渗水和路堑边坡的不稳定。如果抛掷百分比的要求可以降低, 则宜采用较小一些的  $n$  值。如果只需要加强松动而不抛出,  $n$  值可采用 0.75—1.00。

在斜坡地面进行抛掷爆破时, 应按地面坡度的大小选择  $n$  值, 根据实践经验, 为要使抛掷方量达 60% 时, 可以这样选取:

地面坡度 20°—30°,  $n$  值采用 1.5—1.75

地面坡度 30°—45°,  $n$  值采用 1.25—1.5

地面坡度  $45^{\circ}$ — $70^{\circ}$ ,  $n$  值采用 1.0—1.25

如果要求抛掷距离远,则采用上述大的  $n$  值.

多面临空和陡壁的崩塌爆破,根据具体情况,可以选用小一些的  $n$  值,其范围为 0.75—1.00,有时还可更小一些.

在采用多药包同时爆破时,如果药包是放在同一排,为了使爆破以后漏斗底面平整,各药包应选用同样大小的  $n$  值.

#### § 4-6 压缩圈半径 $R_1$

土壤在炸药爆炸的作用下被压缩形成空腔,岩石被压碎成小块. 利用土壤的这种可压缩性,许多地方在土壤中进行压缩爆破法打井,或者利用压缩爆破法开挖导洞. 利用压缩爆破法开挖的药室,由于它的形状象壶,又称为药壶. 在药壶内装药放炮,一般称为葫芦炮.

为了爆破成所需要的药壶尺寸和压缩范围,必须知道药量与压缩半径的关系.

假设药包的体积为  $V_0$ ,爆破后被压缩的体积为  $V_1$ . 内部药包爆炸,压缩圈为一球腔.

$$V_1 = \frac{4}{3} \pi R_1^3$$

药包体积

$$V_0 = \frac{Q}{\rho_e}$$

式中,  $Q$  为炸药量(公斤);  $\rho_e$  为炸药密度(公斤/米<sup>3</sup>).

令  $\mu$  为爆破后被压缩(破碎)的体积  $V_1$  与药包的体积  $V_0$  之比,  $\mu = V_1/V_0$  称为压缩系数. 那么

$$V_1 = \mu V_0$$

即

$$\frac{4}{3} \pi R_1^3 = \mu \frac{Q}{\rho_e}$$

由此得压缩圈半径

$$R_1 = 0.062 \sqrt[3]{\mu \frac{Q}{\rho_e}} \quad (4.11)$$

若  $\rho_e = 1$ , 则

$$R_1 = 0.062 \sqrt[3]{\mu Q}, \quad (4.12)$$

压缩系数  $\mu$  可以参考表 4.2 查出.

表 4.2 各种介质的压缩系数

| 被爆破的介质  | $\mu$ 值 | 被爆破的介质  | $\mu$ 值 |
|---------|---------|---------|---------|
| 粘 土     | 250     | 中等坚硬岩石  | 20      |
| 坚 硬 土   | 150     | 坚 硬 岩 石 | 10      |
| 松 软 岩 石 | 50      |         |         |

在具体爆破工点,可以进行内部药包爆破试验,测定压缩半径,确定压缩系数  $\mu$ .

用爆破法开挖渠道,基坑(如水池)和溢洪道,在设计布置药包时,除了要考虑压缩圈

的破坏范围外,还要充分注意在压缩圈以外裂缝区的大小,以免由于这些裂缝的存在而造成渠道渗水和边坡不稳定。

#### § 4-7 爆破漏斗破坏半径 $R$ 和 $R'$ 的计算

根据爆破漏斗的几何关系,爆破漏斗破坏半径  $R$  为

$$R^2 = W^2 + r^2$$

所以

$$R = W\sqrt{n^2 + 1} \quad (4.13)$$

斜坡地爆破所形成的漏斗的上坡,实际上不能由破坏半径  $R$  来控制,由于介质的重力作用,爆后一般上坡破坏半径比  $R$  要大。通常叫做上坡破坏半径  $R'$ ,它按下面的经验公式计算

$$R' = W\sqrt{1 + \beta n^2} \quad (4.14)$$

破坏系数  $\beta$  值是由地面坡度和地质情况决定的,实践表明表 4.3

图 4-4 破坏半径  $R$  和  $R'$  中所列的数值是接近实际情况的。

表 4.3  $\beta$  值与地面坡度的关系

| 地面坡度    | $\beta$ 值 |         |
|---------|-----------|---------|
|         | 土质,软石,次坚石 | 坚硬岩石和石带 |
| 20°—30° | 2.0—3.0   | 1.5—2.0 |
| 30°—50° | 4.0—6.0   | 2.0—3.0 |
| 50°—65° | 6.0—7.0   | 3.0—4.0 |

#### § 4-8 比值 $W/H$ 和不逸出半径

在阶梯或斜坡地形布置药包进行定向爆破时(图 4-5),由药包中心向上至地面的垂直高度  $H$  应大于药包的最小抵抗线  $W$ 。在抛掷爆破时,一般要求

$$W/H = 0.6—0.8 \quad (4.15)$$

如果  $H$  太小,爆破漏斗内的土或岩石将向上方抛出,定向效果差,抛掷距离近。

如果山体不厚,山后有深沟或药包两侧方向为冲沟。由于地表面风化破碎,这些侧面有可能成为另一方向的临空面,影响设计抛掷方向的抛掷效果,甚至达不到定向的目的。因此在设计布置药包时,要控制不可逸出最小半径  $R_{\min}$  满足下面不等式

$$R_{\min} \geq 1.3W\sqrt{1 + n^2} \quad (4.16)$$

#### § 4-9 药包间距

在实际爆破施工中,例如用爆破法开挖路堑、渠道,显然单个药包的爆破很难达到工程目的。特别是在采用大规模定向爆破设计施工时,单药包的爆破更不能满足工程设计的要求。因此在实际爆破施工中都是采用多个药包的爆破,利用群药包的共同作用来实现爆破设计施工的要求。

在平面地形条件下,在同样的深度按一定间隔距离埋设几个药量大小相同的标准抛掷药包(图 4-6),同时起爆这些药包。

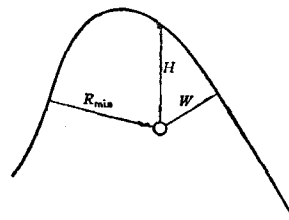


图 4-5  $H$  和不可逸出半径

试验结果说明,当两药包之间的距离比最小抵抗线大三倍时,爆后形成的漏斗是互相孤立的,药包之间的地面上还堆积着由两边抛掷上来的土体(图4-6a)。缩短两药包间的

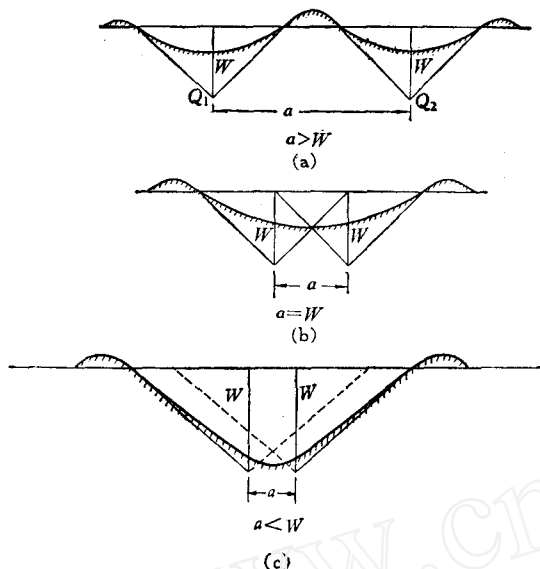


图4-6 药包间距  $a$  与  $W$  的关系

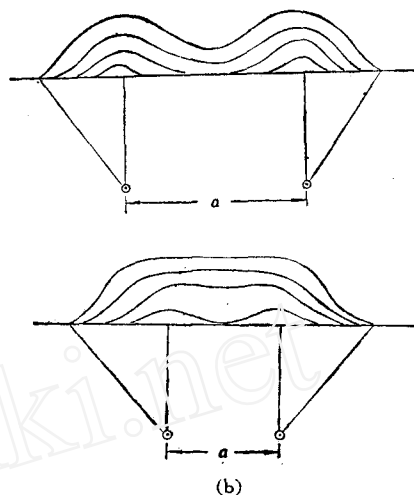


图4-7 鼓包发展轮廓线示意图

距离,则堆砌的碎块逐渐减少以至消失,继续缩小药包间距,两个爆破漏斗就互相联结在一起,但在这时,药包间土体抛掷速度还是比药包最小抵抗线方向小得多(图4-7a)。只有当两药包之间的距离等于它们的最小抵抗线大小时,爆破形成的漏斗坑才成为一个完整的椭圆形的爆破漏斗(图4-6b)。当药包间距小于它们的最小抵抗线时,这时形成的漏斗相当于一个加强抛掷爆破药包形成的漏斗(图4-6c)。

要使两个药包同时爆破形成比较均匀的联在一起的爆破漏斗,药包间距最好是等于最小抵抗线的长度。因为这时,相邻两药包的爆破对它们之间的土体产生同样大小的作用。根据力的相互作用原理,两个药包的共同作用使其间的土体获得了垂直于地面且和最小抵抗线方向一致的向上抛掷速度。在上抛运动过程中,鼓包发展的轮廓曲线比较均匀平整(图4-7b)。

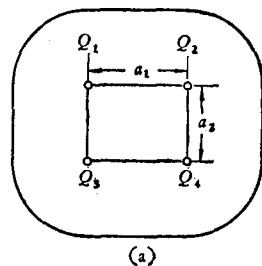
目前在爆破工程上,合理的药包间距一般采用下面的经验公式进行计算。

$$Q = 0.5W(n+1) \quad (4.17)$$

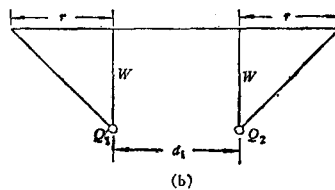
在土壤介质中,由于它的可压缩性大,设计抛掷爆破时,药包间距可以选用  $a=1.4W$ 。在岩石中爆破;在按公式(4.17)计算时,还应根据地质情况,如岩石的坚硬程度、层理等进行适当调整。

#### § 4-10 群药包爆破药量的计算

大量爆破实践说明,群药包的爆破效果比单药包的要好。特别是在定向抛掷爆破设计时,由于合理的布置药包,充分利用各个药包的相互作用,而使各个药包之间



(a)



(b)

图4-8 四药包爆破漏斗平面图

的介质都获得比较均匀的抛掷速度。爆破效果比单药包理想,抛掷距离远而且堆积集中。

关于群药包爆破药量的计算,可以根据爆破设计要求的抛掷距离,首先确定抛方耗药量,然后根据抛掷土体的体积和抛掷药包的总药量成正比的原则,求出总药量,确定各个药包的药量。例如在一平面布置四个抛掷爆破药包(图 4-8),它们的最小抵抗线均相等,若药包间距  $a_1 = a_2 = a$ ,这时,设计抛方体积  $V$  可以简单计算

$$V = 2a_1 \times 2a_2 \times W = 4a_1a_2W$$

$$\begin{array}{l} \text{若} \\ \text{总药量} \end{array} \quad a_1 = a_2 = a, \quad V = 4a^2W$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$\begin{array}{l} \text{若} \\ \text{所以} \end{array} \quad Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4$$

$$4Q_1 = q \times 4a^2W, Q_1 = qa^2W$$

式中  $q$  是根据设计的抛掷距离由试验曲线确定的抛掷单位体积的耗药量。

---

(上接第 54 页)

对于孔孟之道阻碍我国科学技术发展的反动作用,明朝徐光启曾经指出:“名理之儒,土苴天下之实事。”徐光启讲的“名理之儒”,指的就是宋代以来的儒家“名理”学派。正是长期封建制度的统治和儒家学派这种唯心论和形而上学思想的束缚,使我国科学技术,其中包括力学在内,发展非常迟缓。到明清两代,工商业的发展直接威胁了封建社会的经济基础,反动封建统治阶级更加大开历史倒车,摧残生产,实行海禁,闭关自守,从而使力学的发展更失去了生产实践的基础,导致了近几百年来落后于欧洲的局面。

欧洲在十、十一世纪,随着农业生产的发展,手工业和科学技术也开始有所进步。十二世纪开始出现了类似我国两汉时代的水力机械。十三、十四世纪,水力机械普遍应用,出现了以水力作动力的磨坊。由于手工业和采矿业的发展,十四、十五世纪出现了经过改良的脚踏纺车、脚踏织布机和水力、风力的发动机。当时使用的水力锤有的重达一吨多。同时还产生了挟丝机和压延机,制造铁丝和铁片。这些机器的出现和使用,使欧洲人对于一般机械的性能,对于力学原理在工程上的应用,有了更进一步的了解,为以后的大机器生产准备了条件。但是,欧洲在这一时期,经院哲学占绝对统治地位,它利用托勒密的地球中心说和亚里士多德的第一推动说,鼓吹上帝创造一切,提倡盲目迷信,反对研究自然,反对实践经验。在这种宗教神学的禁锢下,科学技术不能获得重要的发展,而力学在这一时期亦几乎被扼杀。

(未完待续)