

快速施工经验汇编

第三集 爆破工程

建筑工程部技术情报局 編

建 筑 工 程 出 版 社

編 者 的 話

随着我国社会主义建設事业的迅速发展，土石方的工程量也越来越多，而土石方工程中，也越来越广泛地采用了爆破技术进行施工，但目前积累的經驗尚不系統、完整。我們編輯这本书的目的，就是想把各地的經驗和教訓加以綜合，提供各方面参考。

在各项建設工程中，采用爆破技术进行施工，是贯彻党的多快好省地建設社会主义总路綫的一种較好的施工方法。它在1958年的各项工程建設中，取得了許多成績，不仅縮短了建設工期，而且減輕了繁重的体力劳动，解决了大跃进中机械設备和劳动力不足的困难。同时，各地广泛地采用了大爆破和定向爆破等新技术，来开挖隧洞、溢洪道和筑堤等。在爆破器材和火药方面，也有了很多改进，許多單位自制土雷管和生产土炸药，并采用了黑色炸药进行大爆破；有些單位还利用生石灰、液氧和沼气来代替火药爆破，解决了火药供应不足的困难。

由于時間迫促，还有很多好的經驗尚未收入，只好以后繼續編輯出版，尚希各方面同志給予我們更多的支持和指正。

建筑工程部技术情报局

1959年5月

目 录

編者的話

东川口水庫定向爆破筑堤的經驗介紹

..... 建筑工程部技术情报局整理(1)

关于采用洞室爆破方法的介紹

..... 建筑工程部石方工程公司第四石方施工大队(45)

阳辛电站溢洪道第一期大爆破工程初步技术总结

..... 湖北省水利厅(53)

建溪水电站施工导流隧洞大爆破施工总结

..... 福建省閩江水利发电工程局(74)

双牌水庫工程水填吸渣炸眼药壶法的先进經驗

..... 湖南省零陵县水利局(90)

汉川大爆破施工經驗介紹..... 湖北省水利厅(99)

紅安烟宝地水庫溢洪道爆破工作总结

..... 湖北省紅安县烟宝地水庫指挥部(106)

在爆破工程中的几項改进

..... 建筑工程部机械施工总公司生产科(111)

采用土制黑色炸药进行平地土方松动爆破試驗介紹

..... 吉林省水利厅(114)

生石灰爆破.....(121)

液氧爆破..... 四川省第四建筑工程公司(125)

空筒爆破..... 四川省第四建筑工程公司(126)

土制雷管..... 湖北省水利厅(127)

自制土硝..... 湖北省水利厅(130)

附: 爆破資料目录索引(135)

东川口水庫定向爆破筑坝的經驗介紹

編者按：这篇定向爆破經驗介紹，是建筑工程部技术情报局根据原水利电力部北京勘测設計院、建筑工程部机械施工总公司、东川口水庫施工处和水利科学研究院等单位的設計、施工、观测等資料綜合整理的。

(一) 前 言

定向爆破技术是苏联的先进經驗，其原理是利用物質內部发生爆炸时，物質將沿着从爆炸中心到自由面最短距离的方向，也就是沿着最小阻力綫的方向，向外抛擲。自由面不仅可以利用天然的地形条件，而且也可以人工造成，选择在适当的地点，用輔助药包預行爆炸。根据这项簡單原理，人們可以按照自己的意图，把大量的土石方，按規定方向，借爆破威力，迁移到所需要的地点，自动堆积成具有机械性質的一定形状。定向爆破法，可以应用到水利水电、公路、鐵路、航运和采矿等工程中去，而且还可以推广应用到建筑物清基、修筑施工圍堰及开挖灌溉排水渠道等方面。苏联的實踐經驗証明：定向爆破法施工，比一般施工方法使用机械設備要少得多，一些笨重的大型起重机械等，都可以少用或者不用，代之以一些輕便設備；由于这种方法是利用炸药能量集中大生产的方法，因而消耗劳动力也就大大減少；工程造价自然可以降低；工期也可以縮短；施工場地和交通条件均不受限制；并且这种方法，还可以在一年的任何季节中施工，

不受气候条件的影响。河北邢台东川口水庫工程，即由水利电力部北京勘测设计院设计，建筑工程部机械施工总公司第三石方施工队和該水庫施工处共同施工；采用了定向爆破筑坝的新技术，于今年1月13日爆破结果，基本試驗成功，符合设计要求。但是由于这次系初次爆破試驗，尚缺乏經驗，仍然存在一些問題，首先是用药量太多（原设计为201吨，实际用了192吨，从爆破証明，还可以大大少用），致使坝体形成馬鞍形，最低处較原设计溢流頂低了6公尺，坝体下游面左側堆积抛石較多，隧洞出口一段被抛石堵塞，右岸岩石出現裂縫；其次在地質方面，对岩石性質沒有經過詳細試驗，可能影响了采用各种参变数的准确应用。这些問題，可以作为今后定向爆破的宝贵的有益的参考。

（二）定向爆破筑坝的设计

一、工程概况

东川口水庫位于滏阳河支流七里河上游东川口村山峡中，屬河北邢台县境。坝址两岸均为裸露的厚层石英砂岩，结构致密，性質坚硬，岩层走向为北东 40° ，傾向东南 130° ，傾角 $8-10^{\circ}$ ；节理发育，主要节理有北东 50° 和北西 40° 两组，其傾角近于直立。坝址附近河道弯曲，縱坡約 0.6% ，右边凹岸高約80公尺，在高30公尺以下岸坡为1:1，30公尺以上趋于直立；左边凹岸高約40公尺，岸坡直立，在坝址上游还有倒坡地形。河槽寬40公尺左右，为砂礫层所复盖，其最大厚度为12公尺。水庫的任务是防洪、灌溉并結合发电。水庫控制流域面积为84平方公里。樞紐工程包括拦河坝、輸水洞、溢洪道和水电站四部分。拦河坝为爆破堆石坝，坝高29公尺，坝頂長112公尺，坝頂寬6公尺；輸水洞在河道左岸長

150公尺；溢洪道采用坝顶溢水（如图1）。

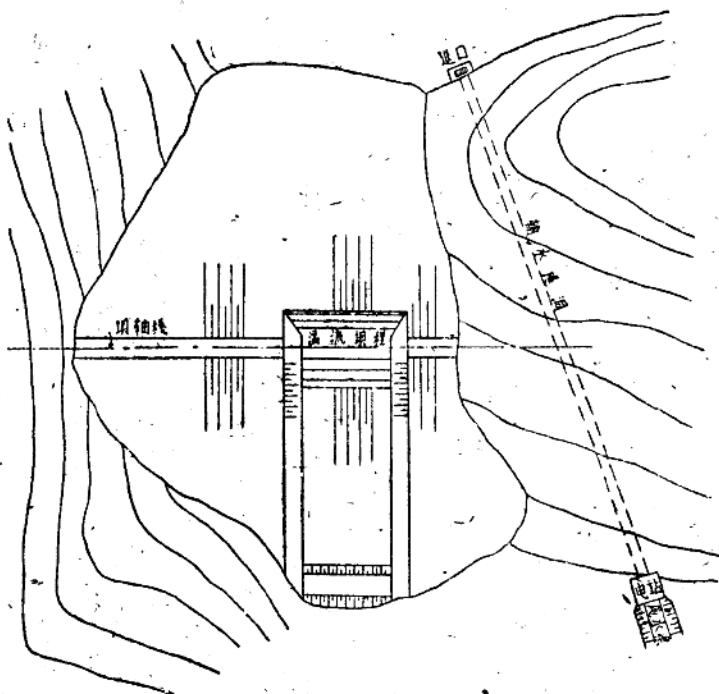


图1 枢纽总布置图

二、坝段的选择

采用定向爆破筑坝的坝段，除了一般水工设计中坝段选择的要求外，还需要补充考虑以下因素：

1. 如系两岸爆破，则岸高至少超过河宽及坝高的1.5倍以上；如系单面爆破，则爆破岸的高度，至少要超过河宽和坝高的2倍以上。

2. 一般平直河段采用两岸爆破，弯曲河段采用凹岸爆破，后者由于地形上的有利条件，可以使得爆破集中，效果较好，耗药量也可以比较节省。

3. 如系石方爆破，尽量选择两岸岩石裸露，或者复盖很少，岩性均匀一致的河，注意避免大的断裂构造，土方爆破也要求选择两岸土壤性质相同的河段，易于控制爆破抛掷方向。

4. 选择节理裂隙分布均匀的河段，考虑进行爆破，布置坝轴线时，还要使得主要节理方向，能够对称于坝轴线上下游两侧。

5. 尽量选择风化层浅，或者不风化的岩石进行爆破，流速流量较大的河道，尤其要选择结构致密完整、裂隙风化较小的岩石进行爆破，以免爆破抛掷岩石块的被冲刷和侵蚀。

6. 选择坝段时，要考虑爆破布置与枢纽泄水建筑物的相互关系，要求爆破前必须完成的泄水建筑物，尽可能地减少受爆破作用的影响。

7. 沉积岩地区，要注意岩层的倾角和走向一岸爆破，尽量选择岩层向河道倾斜的坝段，两岸爆破时，最好选择岩层近于水平的坝段。

8. 选择地下水位较低的坝段，以减少导坑药室排水的困难。

东川口水库坝址，选择在一段弯道上，计划爆破的凹岸，其高度约为河槽宽度的2倍，并超过坝高2倍以上。坝址附近没有大的断裂构造，节理分布均匀，地下水位较低，可以保持坑道药室干燥，是一岸向心集中爆破的理想坝段。

三、填体断面布置

填体断面布置，原则上与一般土石填相同，但是为了减少爆破土石方工程量，在填体稳定的允许条件下，要求断面爆破部分尽量不要过大，东川口水庫拦河坝，系利用爆破岩石堆筑。因此，其爆破堆石部分上下游坝坡拟定为1:1.5，上游坝面俟爆破后加铺土壤斜墙防渗（如图2）。

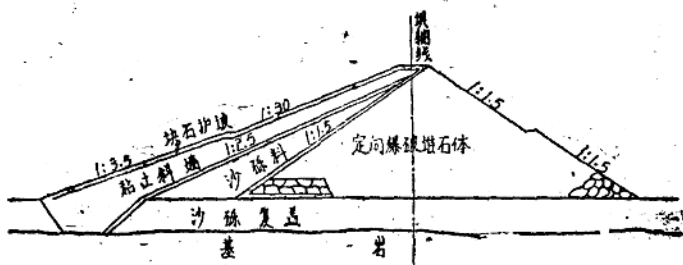


图2 非溢流堆石坝横断面图

四、设计计算方法

1. 按各向均匀连续介质的计算方法：

根据地形条件，利用右边凹岸陡岩布置药包，爆破石方可以集中左岸岩石高度仅40公尺左右，并且又是凸岸，此处还有引水隧洞，故不宜利用它来进行爆破。右岸坝肩前后均有冲沟割切，因此就限制了药包的位置，只能布置在冲沟之间。虽然爆破地段系自然凹面，但为了更好地满足定向抛石的要求，因此必须布置几个辅助药包来造成必要的定向坑。

在作爆破计算之前，先进行爆破方量和药包的规划，根据填体断面布置，求得填体堆筑方量，要求爆破的方量，一般按

填体方量的1.5—2.0倍估計。有了爆破松方,除以1.3—1.4,即得爆破岩石的实方(指折合为未破坏岩层的石方),即可利用不同地形剖面图进行药包规划。规划的方法是任意定药包

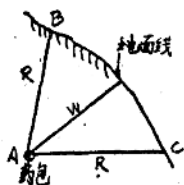


图 3

位置如图 3 中的 A 点, 量得最小抵抗线 W , 估计 $R = 1.5W$, 以 A 点为中心、 R 为半径交地面线于 B 和 C 两点, 面积 ABC 即为爆破部分, 其他断面也可以同样简单的方法估计爆破部分面积, 根据谷断面间距及爆破面积, 求得爆破岩石实方量。当计算数值大致与要求数值相差不大时, 即可进行详细的爆破计算。

我们在第一次计算时, 前排布置 4 个呈圆弧形的辅助药包, 后排布置两个主药包。后来又进行了几次修改, 修改后的布置是前排设置三个辅助药包, 后排主药包为两个, 向下游移动, 避免填址上游右岸冲沟影响, 同时对于陡坡地形降低参变数 n 和 K 值, 其主要的指标如表 1, 洞室布置如图 4。

表 1

药包 编号	最小抵抗 线 W	抛掷指数 n	爆 破 常 数 k	用 药 量 C (吨)	间 距	药包中 心 高 程
1、	15.7	1.25	1.8	10.96	16.4	231.5
2	14.5	1.25	1.8	8.65	13.3	231.5
3、	11.8	1.25	1.8	4.66		231.5
4	26.5	1.5		91.60	34.8	235.0
5	26.0	1.5		86.05		235.0
Σ				201.92		

在计算药包量时, 我们针对不同的最小抵抗线长度, 采用了不同的计算公式。

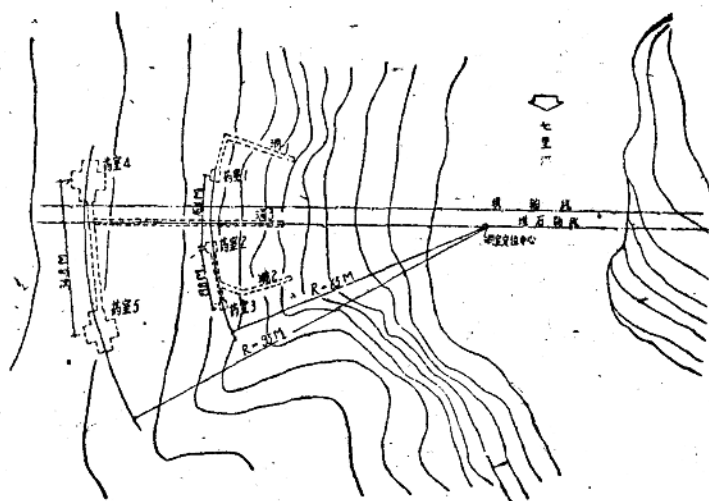


图 4 洞室平面布置图

当 $W < 20$ 公尺时, 采用鲍列科夫公式:

$$C = kW^3 (0.4 + 0.6n^3) \quad (1)$$

式中: C —— 药包量, 公斤;

W —— 最小抵抗线, 公尺;

n —— 抛掷指数。

当 $W > 20$ 公尺时, 采用普科罗夫斯基公式:

$$C = \frac{\gamma}{30000} W^{\frac{7}{3}} (1 + n^2) \quad (2)$$

式中: γ —— 岩石的密度 (公斤/公方)。

同时并采用修改后的鲍氏公式进行校核:

$$C = kW^3 (0.4 + 0.6n^3) \sqrt{\frac{W}{25}} \quad (3)$$

药包间距按照下面公式确定：

$$a = 0.5W(1+n) \quad (4)$$

关于爆破漏斗的形式，根据不同地形，采用了不同的计算方法，斜坡地形根据铁道部的经验，爆破漏斗的上端破裂线（爆破作用半径），由于岩石本身重力的作用，较理论数值大一些，其计算公式为：

$$R' = W\sqrt{1+\beta n^2} \quad (5)$$

β 为一个大于 1 的系数，随着岩石的性质和地面坡度而定（如表 2 所示），爆破漏斗的下端破裂线，则仍按照理论公式计算：

表 2

地 面 坡 度	β 值	
	土壤、软石、次坚石	坚硬岩石
20—30°	2—3	1.5—2.0
30—50°	4—6	2—3
50—60°	6—7	3—4

即
$$R = W\sqrt{1+n^2}$$

对于台阶状地形，爆破漏斗按下述方法确定：

以药包中心“O”为圆点， R 为半径，作弧，交地面线于 A、B 两点，则 AO、BO 所包围的部分，即为爆破漏斗的范围，如图 5 所示。

在确定爆破漏斗时，还考虑了压缩圈的影响。压缩圈的大小采用公式：

$$R_c = 0.62\sqrt[3]{\mu C} \text{ (公寸)} \quad (6)$$

式中： μ ——系数，随岩石的硬度而变（如表 3 所示）；

C ——炸药量, 公斤。

表 3

岩石分类	μ 值
粘土	250
坚硬土	150
枯软岩石	50
中等坚硬岩石	20
坚硬岩石	10

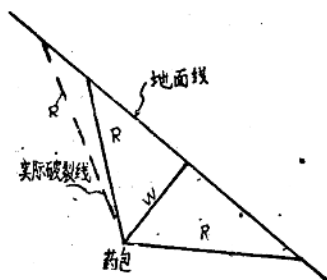


图 5

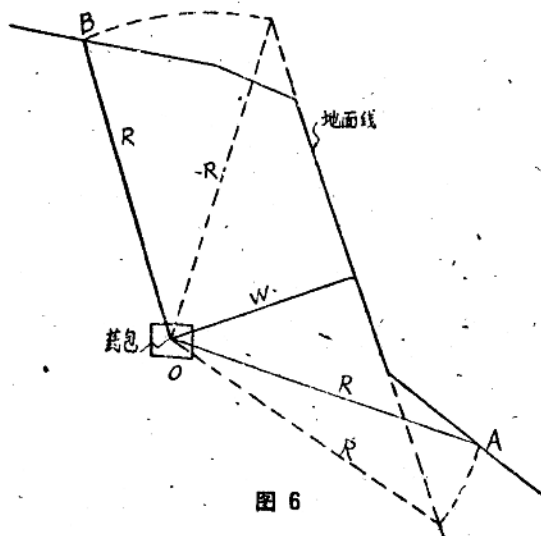


图 6

求得压缩圈后，自破裂线的外端A、B两点，作切线与压缩圈相切，则此两切线所包围的范围，即作为计算的爆破漏斗，如图7所示。

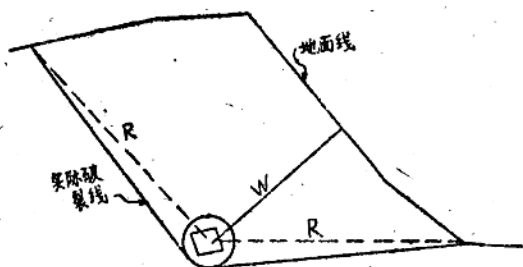


图 7

为了确定岩石爆破后的堆积轮廓，首先要求出岩石各部分的飞掷距离，计算时考虑了飞掷速度和投射角两个因素，假定岩石系自药包中心沿接辐射方向飞掷，飞掷速度则按照公式：

$$V = \frac{A}{R^3} \quad (7)$$

式中：R——药包中心到自由表面的距离，公尺；

A——常数。

根据能量平衡关系确定：

$$\frac{1}{2} \int V^2 \cdot d_m = U_1 C \quad (8)$$

式中：V——抛掷速度，公尺/秒；

d_m ——某一部分岩石体的质量；

U_1 ——每公斤炸药的能量，公斤公尺/公斤；

G ——炸药量，公斤。

联解(7)、(8)两个方程式，求出各部分的速度 V ，根据求得的 V 值和投射角 θ ，即可按照弹导公式，求得各部分的抛掷距离：

$$l_1 = \frac{2V^2}{g} \sin \theta \cos \theta \quad (9)$$

式中： l_1 ——抛掷距离，公尺；

g ——重力加速度，公尺/秒²。

上面这个公式是一个最简单的情況，当自然地形起伏則采用

$$l = l_1 + l_2 \quad (10)$$

$$\text{其中 } l_2 = V \cos \theta \times \sqrt{\frac{(V \sin \theta)^2 + 2gS - V \sin \theta}{g}} \quad (11)$$

在計算时，我們为了 求出各部分的飞 掷速度和飞 掷距离，把爆破漏斗按辐射状分成若干个小条，如图 9 所示，分別量出各条的 R 和求得各部分岩石質量 d_m ，代入上述公式，即可求出各部分的 V 值，然后根据各自的 V 和 θ ，求出飞 掷距离 l 。

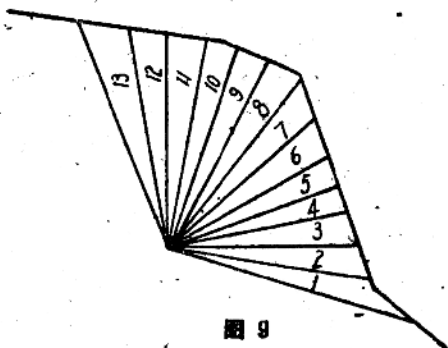


图 9

在計算中，須要解決究竟炸藥能量，除了破碎岩石消耗一部份能量以外，還有多少炸藥能量是用于拋擲作用，根據爆破工程參考資料介紹，作用于拋擲的有效能量，約為全部炸藥能量的3—7%。我們在設計中採用了：前排7%，后排10%，並根據估算拋石距離的經驗公式，進行了一些核算，核算的結果，有效利用率前排8—9%，后排均在10%以上，故採用上述數字還是可以的。

求得各部分的拋擲距離以後，即可根據它們的平面位置，來求出爆落石方的堆積輪廓。

我們考慮需要解決三個問題：

- (1) 拋石在平面位置上的分布；
- (2) 岩石的堆積坡度；
- (3) 岩石的密實程度（孔隙率）。

拋石的平面位置，我們是根據各部分石塊的拋擲方向和拋擲距離來確定的，對於前排藥包，認為它由於沒有定向的作用，因而是按輻射狀拋擲出去的，其中間部分，則是沿着爆破的方向，平行地向外推出。至於后排的主藥包，由於有前排藥包的定向作用，因此它要向中心集中，然後再按照岩石的坍塌坡度，堆成一個三角體。

爆破岩石的坍塌坡度，參考一般土工參考資料為1:1.1—1:1.3，而對於地震地區，還需要增加10—15%。另外，根據我們對於左岸清坡坍塌石方的測量資料，其坡度為36—40°，因此，我們在設計中採用1:1.5。

爆破岩石的堆積密實度，對於散體材料填是很重要的技術措施，有了堆石密實度指標，一方面可以衡量堆石質量，另一方面才可以最後校核堆積輪廓，是否符合於設計斷面要求。

首先根据已知飞石的初速，求出飞石高度 H ，然后用下式：

$$U_1 = P_1 g H \quad (12)$$

式中： U_1 ——飞石所携带的能量，公斤公分/立方公分；

g ——重力加速度；

P_1 ——飞石在高程 H 时的平均密度。

当飞石跌落遇到坚硬的刚性边界时，能量 U_1 就转变为压缩堆石体的能量 U_2 ，从而产生相应的压力 P ：

$$U_2 = \frac{P^2}{2E} \quad (13)$$

式中： P ——单位压力/公斤，平方公分；

E ——弹性模数/公斤，平方公分。

求得压力 P 以后，根据公式：

$$P\Delta = U_2 \quad (14)$$

得出堆石体的压缩变形率 Δ ；然后，根据 Δ 值就飞石抛掷密度 P_1 修正，得出最后压实密度 P_2 。

根据我们已求得的抛石实方，在填基平面上的分布，将各点堆积和实方量，除以平均压实密度 P_2 ，即可推求堆石体的堆积轮廓。

计算所得主要指标如下：

需要炸药量.....	201.92吨
爆落石方.....	100,000公方
堆积填上的有效石方量.....	51,300公方
爆落石方单位耗药量.....	2.02公斤/公方
有效石方单位耗药量.....	3.94公斤/公方
有效百分数.....	51.3%

2.主药包迟发时间的确定：

主要包在輔助藥包之后爆破所需的延緩時間，用兩個數字來控制，一個是最小值，另一個是最大值，前者是根據輔助藥包所造成的爆破坑，達到最大這一條件來控制的，小於這個時間，就不能充分發揮輔助藥包的作用。而後者則是根據爆破介質飛起后，再回落到坑內所需的時間來決定的。超過這個時間，則不利於爆破，但根據東川口水庫埧址兩岸都是陡岩的具體情況，考慮後者是沒有很大意義的，因為在爆破后，岩石已飛出去，不再回落到坑里來了，故只考慮最短的時間，這個時間的長短，按下式計算：

$$t = 0.015 \sqrt[3]{\frac{C}{H}} \quad (15)$$

式中：C——炸藥量，萬克；

H——藥包的埋置深度，公尺。

計算的結果為 $t = 0.062$ 秒。

考慮到可以取得遲發雷管的規格，同時也為了安全起見，即採用 4 秒。

3. 安全距離的確定：

爆破時的安全距離，要考慮三種不同的影響：

(1) 飛石距離，P；

(2) 空氣沖擊波的影響半徑；

(3) 爆破震動作用的危險半徑。

三者之中採用最大值，作為考慮安全距離的依據。

飛石距離按下式計算：

$$P = 20n^2 W \quad (16)$$

為了安全起見，根據上式計算得的成果，還要乘以安全係數 3—4。空氣沖擊波的影響半徑 R_a 按下式計算：

$$R_a = K_a C \quad (17)$$