

矿业 和 建筑工程 中的 控界 爆破

235, 302 捷] IVO·布鲁唐涅克 JIŘÍ·沃达 著
禾 译 顾倚磐 校



中国建筑工业出版社

矿业和建筑工程中的 控 界 爆 破

[捷]IVO·布鲁唐涅克 JIŘÍ·沃达 著

希禾译 顾倚鳌校

中国建筑工业出版社

B 618134



本书作者将预裂爆破法、排钻法及通常所说的控制爆破法中的一种方法(书中称为控界崩塌法)统称之为控界爆破。作者以简练的文字阐述了控界爆破的原理、机制及参数的确定;专辟一章介绍了控界爆破实例;还注意介绍了地震效应、技术经济方面的问题。

书中提出了一些新的观点,对建筑施工、矿山开采、铁路、公路、水利各行业从事爆破的工程技术人员及大专院校师生均有参考价值。

**КОНТУРНОЕ ВЗРЫВАНИЕ В ГОРНОМ ДЕЛЕ
И СТРОИТЕЛЬСТВЕ
И. БРОТАНЕК Й. ВОДА
МОСКВА "НЕДРА", 1983**

* * *
**矿业和建筑工程中的
控 界 爆 破
希禾译 顾倚鳌校**

•
**中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)**

•
开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 4⁷/₈ 字数: 108 千字

1989年10月第一版 1989年10月第一次印刷

印数: 1—1,270 册 定价: 3.55 元

ISBN7-112-00806-9/TU·569

(5884)

俄文版序言

在水工建设、煤矿和金属矿山中用控界爆法降低露天矿台段坡面的破坏程度，减少基坑侧壁及地下巷道周界的破损，可以较好地解决岩体稳定性的问题，这种方法广泛用于矿山采掘工业、水工和运输建设中。苏联制定了一系列使用控界爆破的规程及细则，发表过有关应用这种先进爆破工程方法的科学原理著作（其中有一些已在本书中引用）。

本书的价值在于提供有关各种控界爆破方法的实际资料，包括药包布置及其结构参数实际选择的实例。证明了如正确选择控界爆破药包结构、直径和填塞物类型时，可以使用任何类型的工业炸药的小临界直径的药包。

作者在本书的开始列出了有关控界爆破的基本术语，批判地评价了控界爆破的现有术语。文中标有星号的术语，在苏联的控界爆破实践中，尚未广泛采用。

值得注意的是作者对介质特性，特别是裂隙度和层理特性的计算，以及据此对控界爆破能否取得良好效果所需条件的判断。在研究爆破破坏岩体的物理意义时，作者在很大程度上以苏联学者如H.B.梅里尼阔夫和B.B.里热夫斯基院士、Φ.A.巴乌姆和A.H.哈努卡耶夫教授等已发表的著作作为依据。

从岩体的破碎程度、各破碎区的圈定方法以及控界爆破质量的评价准则出发，作者列出了爆破工程对岩体影响的重要数据。

作者提出了控界爆破的分类、简要理论和原理，以及相当详细地研究了控界爆破的要素，如：装药密度、按台段高度并考虑不同抵抗线的周界药包形式和结构、在地表和地下条件下施工时药包在岩体中的布置，说明了所形成的周界面的质量评价方法。本书分析了填塞物质量和结构以及起爆方法对爆破效果、形成周界裂缝的参数和缓冲层性质的影响，提出了控界爆破与在邻近周界地带采掘工作的相互关系的评价，本书比较评价了构成无破损平面的排钻法、控界崩塌法（МКО）和预裂爆破法（МПШ），并指出了这些方法综合应用时的合理范围。

本书以专门章节分析地质条件（岩体硬度、破碎程度、裂隙及其它断裂系的主导方向）对所确定的岩壁坡度（台段边坡）及其服务年限的影响（根据А.Б.法捷耶夫的资料）。

书中所述有关在控界爆破中广泛使用强力导爆索，特别是新型慢速导爆索的报导是令人感兴趣的。

虽然在作者的叙述中没有一概详细地说明岩石的性质、控界爆破的参数和结果，本书中的控界爆破应用实例对于矿山、水工、道路及房屋建设工程中的专家们无疑是有益的。

本书的特色是附有大量插图，计算简明扼要，这将对在各种不同条件下研究和实际应用控界爆破的生产人员及科研人员有所裨益。

教授、技术科学博士

В.Н.库图佐夫

目 录

俄文版序言

1. 序言	1
2. 术语	4
3. 绪论	9
4. 岩石和岩体	14
5. 坚硬介质中的爆破	18
6. 爆破工程对岩体的影响	23
6.1 碎裂带及其尺寸	23
6.2 保护层	27
6.3 崩落质量判据	30
7. 控界爆破的原理和工艺	32
7.1 控界爆破方法分类	32
7.2 控界爆破理论	34
7.3 控界爆破工艺	57
7.4 控界爆破法的评价	65
8. 地质条件的影响	68
8.1 介质对崩坍坡面形成的影响	68
8.2 根据介质性质修正工艺方法	72
8.3 坚硬岩石开挖的稳定性	73
9. 穿孔及爆破器材	76
9.1 穿孔工程	76
9.2 爆破器材	85

10. 控界爆破实例	90
10.1 实例的选择	90
10.2 排钻法	92
10.3 控界崩塌法	92
10.4 预裂法	103
11. 地震作用	121
11.1 爆破工程地震烈度	121
11.2 低密度药包的地震作用	121
11.3 屏蔽层的减振特性	122
12. 控界爆破的应用	128
13. 控界爆破经济	134
14. 控界爆破合理参数	140
参考文献	142

“……在爆破崩塌之后，露天矿坑边坡及地下巷道的顶板和侧帮留下了平整的表面，清除岩石，余下的就是技术和经济问题了……”

U.Langefors, B.Kihlström^[79]

“……爆破工程处于从技艺向科学发展的道路上……，“控界爆破”一词是指在岩层构造分析、岩石力学研究及地球物理测量的基础上，对崩塌、超挖、粉碎、振动等结果的准确的数学推断”。

H.K.Demmer^[24]

1. 序言

本书是捷克斯洛伐克出版的第一本全面论述控界爆破的著作，是继Л.И.巴隆、A.B.克留钦科夫著名文献^[3]之后的第二本。控界爆破始于25年前，在爆破技术应用于和平目的之后的三个半世纪（1627年于班斯克施恰夫尼茨）就预定了它的远景方向和发展。由于应用控界爆破，与设计的轮廓界限准确符合，形成数十万平方米面积的露天矿坑、沟、露天矿边帮、建筑基槽及隧道。同时，这种爆破方法可以最小限度地破坏景观，这符合节约的原则和保持自然界原有美观的现代倾向。

但控界爆破的应用首先是从经济上考虑的，控界爆破减少了坚硬岩石的多余崩落量，因而相应地减少巷道支护所必需的混凝土消耗量。用此法所形成的岩壁具有较高的稳定性，因而降低了支撑岩壁的必要性。可以构成极陡的倾斜岩壁，而且在坚硬岩石中形成的岩壁，特别是构筑工程量可与地面挖方相比拟的地下洞室（其中最大的一个是1955年加拿大建造

的“涅哈克·凯曼诺·开基马特”水电站洞室，尺寸为 $347 \times 25 \times 42$ 米），能够符合工程设计。

控界爆破是一种复杂的工艺，要求具有扎实的学识，精细的施工，而在更多情况下则是一种创造。控界爆破的文献很少，主要是在杂志上的单篇论文，以捷克文发表的著作只有[14,28,110]，其它外文也仅有[3,68,79,115,136]。在这些书籍中没有很详尽地叙述机理、材料、设备和深入的理论研究。爆破工程中个别现象的数学模型不适当，原始资料不准确、不充分乃至过份简单，所有这些，导致计算结果实际上只能是与实验数据相近似，不用复杂的数学工具而可取得的结果，尤其是用炸药（BB）破碎岩石的机理，至今尚未作出满意的解释。由于本书是供精通爆破技术原理的专家阅读的，因此书中未就诸如导爆索、雷管等的概念给予说明。本书所推荐的主要参考文献是[84,135]，次要文献为[6,12]。

最后，谨向协助本书出版的德意志民主共和国弗莱堡矿业科学研究院教授、执照工程师X.因捷尔斯；爆破工程界同仁；工程师A.缪列尔，博士、工程师J.考尔特，执照工程师Γ.马雅（德意志民主共和国VEB奥托本公司），执照工程师A.M.赫尔琴；阿特拉斯·考伯克公司及瑞典尼柯平哥衣迈尔格·西斯泰姆公司驻布拉格代表；《诺贝尔·盖福特·道尔特蒙德》杂志主编及“巴黎巴尔的门特C.A.R.L”协会表示感谢。

插图是工程师JIRI沃达绘制，原文誊清是B.布鲁唐阔娃，照片主要是由本书作者IVO布鲁唐涅克博士拍摄。

作者于布鲁诺

1978年5月

本书采用的符号:

C_p ——纵波传播速度, m/s;	R_{ov} ——防护层厚度, m;
d ——炮孔直径, mm;	S ——点与极影平面的距离, m;
d_s ——炮孔药包直径, mm;	l ——炮孔余痕相对长度, %;
f ——普氏硬度系数;	v ——振动速度, mm/s;
h ——岩壁高度, m;	v_{kp} ——临界振动速度, mm/s;
K_s ——防护系数;	W ——最小抵抗线 (Л. H .C.), m;
k_B ——介质扰动系数;	Z ——单位音阻, Pa·s/m;
K_o ——炮孔余痕均布系数;	α ——控界爆破工作面表面 坡度, 度;
L ——不计超钻的炮孔深度, m;	ρ ——装药密度;
$m = \frac{a}{W}$ ——炮孔相对间距 (密 集系数);	δ ——误差;
$L_{n.n}$ ——破裂面平均间距, m;	δ_H ——由于岩石性质、重力等 的影响, 炮孔与规定方 向的偏离;
b ——炮孔排距, m;	δ_p ——炮孔口水平误差;
a ——炮孔间距, m;	δ_γ ——角度误差;
n ——每组炮孔数;	μ ——泊松比;
p ——单位长度药包重量, kg/m;	ρ_v ——容重, kg/m ³ ;
q ——单位药耗, kg/m ³ ;	σ_{cd} ——抗剪强度, MPa;
q_p ——单位面积药耗, kg/m ² ;	σ_p ——抗拉强度, MPa;
Q ——药包重量, kg;	σ_{cx} ——抗压强度, MPa;
r_0 ——药包半径, m;	R ——距爆破点的距离, m;
r_R ——径向裂隙带半径, m;	Π ——超钻深度, cm;
r_T ——切向裂隙带半径, m;	H ——欠钻深度, cm。

2. 术 语

以此标题列为独立章节，主要是借以说明在国内外文献中控界爆破的术语尚不够确切，这些文献对控界爆破的主要概念提出了不同的释义（参见第3章）。对控界爆破各个过程所采用的术语，源于不确切的描述，在翻译时从原作的语言上扩大了曲解。例如，什瓦年别尔格在他的著作^[133]的补遗中，引用了不确切的术语释义，他在书中首次试图将现有的术语纳入一定的体系。

本书只对新的、有争议的或不清楚的术语给出定义。我们从文献^[27]和^[104]中借用了至今尚属可用的、符合实际现象的术语，以力求避免不正确的概念。在所举的例子中，按出版物国际十进分类法（YBTET，布拉格，1975），如这里参阅的《回采工作面放炮》图书分类编号为622235.674.3，或《劈裂爆破》编号为622235.674.3。

崩坍精度——由两平行排列的平面限定的层厚，该平面是由两相邻周界炮孔轴线的连线形成的，其中包括在这些炮孔间的地表崩落部分。

装药密度——药包重量与不包括孔口堵塞空间的炮孔总体积之比值。装药密度可以是全部药包的平均值，或者是某一定区段药包的平均值。

药包密度——药包重量与其体积之比值。药包密度可以是全部药包的平均值，或者是某一定区段药包的平均值。

岩体——介质，即在其中爆破使之破碎，或将周界内部

分与周界外部分分开。岩体通常是指矿山的岩石，但也可以是混凝土、砖砌体等。

周界内岩体——位于周界面之间的而且业已崩落的部分岩体。

周界外岩体——位于周界面之外，不予破碎的岩体一侧的部分岩体。

超挖——在设计周界面与崩坍周界面之间的面积（体积）（图1）。

药包——在某一个炮孔内的成组药卷。

药包总量——成组炮孔内的药包总重量。

药包单体——某一炮孔中相联药包中的单个药包（不能与测震用的单个药包混为一谈）。

分散药包——各个互相联系又不连接的药包，在一个炮孔内同时起爆。

低装药密度药包①——其装药密度小于1.0（减轻了的）。

轴向低装药密度药包①——分散药包。

空间低装药密度药包①——径向间隙的分散药包。

径向低装药密度药包①——在药包与炮孔壁之间有空隙，此空隙中充以空气、水或其它填塞物。

屏蔽药包——用密实材料做成的惰性铺衬物与周界外岩体分开的药包。

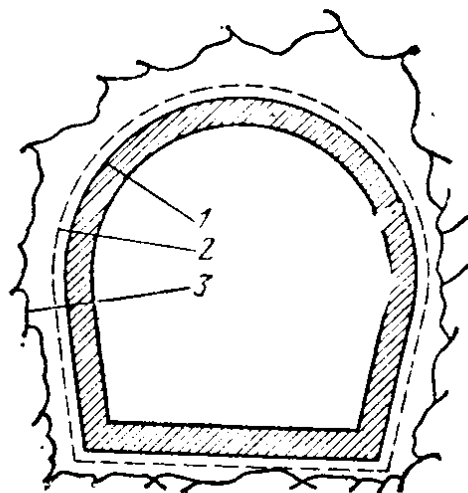


图1 周界的划分
1—净周界；2—要求的周界；3—崩坍面

① 在苏联的爆破工程实践中不用这个术语。

连续药包——由一个药包或是几个互相连接的药包组成的药包。

欠挖带——遗留下未破碎的周界内岩体的任何一部分。

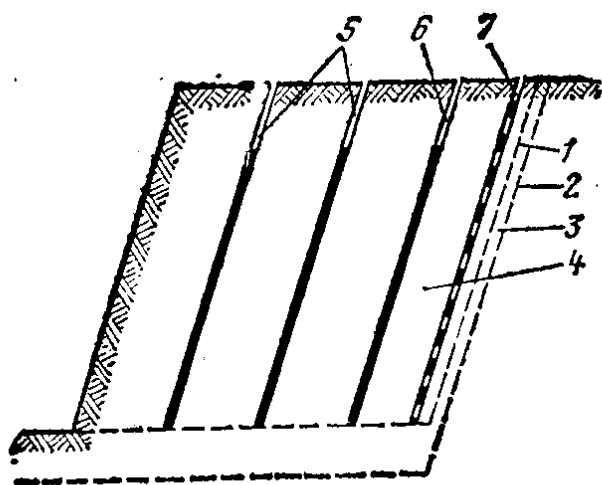


图 2 控界爆破台段示意图

1—周界面；2—崩塌面；3—保护层；
4—缓冲层；5—松碎炮孔；6—周界内
炮孔；7—周界炮孔

周界、周界面——爆破时在岩体中形成的人为的断裂（裂隙），它能与崩落面相吻合，或此断裂位于崩落前的周界内岩体中（此时在断裂与崩落面之间设置保护层或超挖带）（图 2）。

净周界、净周界面——与巷道支护外

表面相吻合的周界（面）。

要求的周界、要求的周界面——尺寸决定于岩体和净周界之间工艺间隙的周界（周界面）。

炮孔偏差——炮孔点的实际位置与设计位置的偏差。

排钻法——包括沿崩落面在靠近不装药炮眼或炮孔的崩落线上凿岩，以人工减弱岩体强度的表面形成工艺。

崩坍面——岩体与其它介质（空气、水或相应的建筑物）的分界面。

过渡带——在周界各部分接合点上的局部崩坍面。

预裂法（МПЩ）——不影响裸露面的控界爆破法装药工艺，爆破的主要几何参数是炮孔的排距。

面的质量——由通过崩坍边缘的两平行平面与连接两相

邻炮孔轴线形成的面间距离所决定的崩落精度。面的质量取决于炮孔排间的崩坍精度。在以垂直于周界面的炮孔崩落时，其质量决定于炮孔底的相对水平。

药包段——同时起爆的各药包组。

炮孔倾斜度——炮孔轴线与水平面所形成的角度。

起爆顺序——药包组的起爆顺序。

炮孔余痕——在周界面上残留的孔壁。

药包余痕——在紧靠药包的地方肉眼可以看出的局部强烈破碎的部分岩体，此处的炮孔余痕可能会被破坏。

药包间填塞 ①——填塞炮孔中各药卷间的空隙。

孔口填塞——在装入的药卷与孔口之间的空间，局部或全部填塞，应能通过孔口填塞物敷设导爆索。

满充填塞 ①——填塞炮孔中未被药包占据的全部空间。

保护层——在周界面与崩落面间的部分岩体。

屏蔽层——具有不同力学性质的部分岩体，它屏蔽由此层一侧的药包爆破对位于另一侧物体的地震作用，

缓冲层——在周界内炮孔与周界炮孔之间的部分岩体。

周界炮孔——由炮孔底或炮孔轴线限定周界面的炮孔空间体系，周界炮孔可以是爆破的（装药的）和导向的（不装药的）。通常，是利用周界炮孔药包的定向作用。

周界内炮孔——布置在周界炮孔前方的周界内岩体中，装入这些炮孔的药量计算，是以在已定缓冲层厚度的情况下，其爆破作用不超出周界面的界限为准。

爆破炮孔——布置在周界内岩体中，而按均衡作用（计入裸露面的影响所达到的最终定向效果）进行计算。

① 苏联的爆破工程实践不用此术语。

导向炮孔——不装药的周界炮孔（也就是空的周界炮孔）。

控界崩塌法（MKO）——计入裸露面的影响所实行的控界爆破药包体系的工艺，其主要的决定性的参数是炮孔间距和推进距离。

3. 绪 论

坚硬介质中的爆破工程，按其用途可分为两类：（1）为破碎岩石；（2）为构筑巷道和洞室。

通常，岩石的破碎要保证其后续的加工工序。只是在特殊情况下，其本身的目的仅在于破坏岩石，例如，要在工作面构成边坡而不运出爆下的岩石。

在构筑巷道时，不只是随意地在岩石中形成一个空洞（洞室、矿井井筒等），而是要赋予它不同于周围自然地形条件的一定形状。

如果决定普通爆破的是经济和工艺问题，则构筑巷道要求解决更广泛的问题，即从掘进乃至长期使用的问题。巷道构筑的经济评价不仅可能影响到工艺，而且还可能影响到具体挖掘方法的应用。经济问题反映着用各种机械方法破碎岩石的复杂过程及其费用大小的差异。

各种破碎岩石方法的相对费用^[59]为：用金刚石钻头钻凿时为100000；冲击式钻机为10000；全工作面凿岩时为1000；凿岩爆破掘进时为100；露天矿凿岩爆破时为10；颚式破碎机破碎时为5；核爆炸为1。

构筑巷道时，其实际形状或多或少要与设计有所差异。巷道周界的偏差取决于以下因素：介质的裂隙度、破碎工艺、要求的周界表面形状和方向。

介质裂隙度为影响构成崩坍面精确度的地质特征之一。因此，任何有关具体工艺应用的决定和建议，如果把具有一

定力学特性的岩体作为结构材料，就可能成为不准确的。直观技术证实的试验可以与昂贵的地质力学研究取得同样的结果。但是，对于认识和推断可能获得的崩坍面形状，矿山岩体力学仍是基础。

用普通爆破方法的破碎工艺偶而比沿破裂面方向破碎得更快。所以，认真完成了的并且充分注意实现了的爆破也从未建立起理想光滑的平面；形成的表面在较好的情况下是粗糙的，一般情况下是有凹坑的，从总体上以及个别情况下都是无规律的形状。发生这种情况（如果从崩落面与设计接近的精确度观点来判断巷道的构筑问题）主要是由于介质性质的影响，或是由于所使用的工艺方法不能保证建立符合设计的平整的崩落面。这种工艺的一个极端的例子就是 硐室崩矿，此时采用炮孔长度相同的药包体系崩矿，原则上适于建立这种平面。根据对周界表面的要求，主要有两种不同的爆破类型：普通的（非控制的）崩落爆破（图3.a）及控制崩落爆破（图3.b）。

控制崩落爆破或简单控制崩落，其爆破后的实际周界面近于设计周界面，而与设计周界面的局部偏差，根据工艺、爆破工程参数及介质特征条件，不超过一定的允许偏差值。

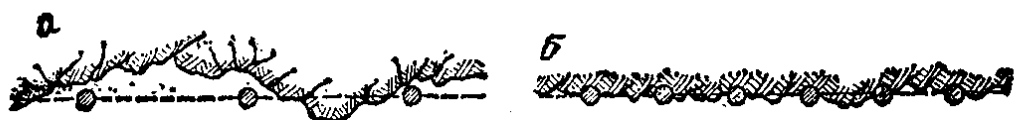


图 3 崩落面示意图
a—普通的崩落；b—控界爆破

就此观点而言，控制崩落较之简单崩落保留的炮孔余痕要更多一些，但这两种崩落类型之间的区别很小，只在于以炮孔布置为条件，即炮孔与周界面垂直并终止于周界面上。