

# 台阶爆破

---

TAIJIE BAOPU

汪旭光 于亚伦 著



冶金工业出版社  
www.cnmp.com.cn

# 台阶爆破

汪旭光 于亚伦 著



北京  
冶金工业出版社  
2017

## 内 容 简 介

本书总结了近几十年来台阶爆破领域中技术新进展,其中包括爆炸力学三大理论、工业炸药及起爆器材和起爆技术、工程地质与爆破工程以及金属矿山、煤矿露天台阶爆破、高台阶抛掷爆破、水利水电工程台阶爆破、地下采矿台阶爆破、隧道掘进台阶爆破、水下台阶爆破等的台阶爆破各领域应用分别进行了实例讲解,另外本书还对台阶爆破效果的综合评价体系和爆破有害效应及作业环境的保护作了专题论述。

本书作者是中国工程院资深院士,在爆破和炸药领域有非常多的建树,是我国乳化炸药的奠基人,成功研制了“粉状乳化炸药”。本书可供土木工程和采矿领域科研人员研读和作为大学教学参考书以及现场工程技术人员阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

台阶爆破/汪旭光,于亚伦著. —北京:冶金工业出版社,  
2017.9

ISBN 978-7-5024-7541-3

I. ①台… II. ①汪… ②于… III. ①台阶爆破 IV. ①TB41

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第147500号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcb@cnmp.com.cn

责任编辑 程志宏 徐银河 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7541-3

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2017年9月第1版,2017年9月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;34.75印张;841千字;540页

148.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

# 前 言

---

台阶爆破是一类工作面自上而下或自下而上，以台阶形式推进的爆破技术。它广泛应用于矿山、铁路、公路、水利水电和核电等各类工程中。台阶爆破涉及露天、地下和水下爆破的各个领域，是这些领域的主要爆破方式。目前大部分国家的采矿业均以露天爆破为主，每年从地壳采出的矿石量有2/3来自露天爆破。据统计：我国非煤矿床露天爆破的产量比例为：铁矿石占84%，有色金属矿石占52%，化工原料占70%，建筑材料近100%。20世纪90年代以来，在公路石方路堑开挖中也越来越多的应用露天深孔爆破技术，并且爆破规模越来越大。1994年在青岛市胶州湾高速公路山角村段采用深孔爆破技术成功地一次开挖成型470m的长深路堑，共布置203排，计3080个炮孔，爆破石方总量11.5万立方米，为国内公路路堑超多排、超多段、深孔爆破的典型范例。毫无疑问，台阶爆破的广泛应用必将为其发展提供广阔的空间和可贵的契机。

台阶爆破，特别是露天深孔台阶爆破具有其他爆破技术无可比拟的优点：(1) 露天台阶爆破开采空间限制较小，可使用大型机械设备，有利于实现机械化、自动化。(2) 露天深孔台阶爆破具有开采强度高、生产规模大等优点，便于引进新技术、新方法。从某种意义上讲，台阶爆破的技术水平反映了我国的爆破技术的水平，是我国爆破技术水平的一个缩影。(3) 台阶爆破的发展历程见证了我国爆破技术发展史的主要阶段。例如：在我国古代自从有了采煤就有了台阶开采的雏形——分期开采；随着毫秒延期雷管的出现和大型穿孔设备的应用，台阶爆破广泛采用大区域、多排孔爆破，使爆破技术有了质的飞跃；数码电子雷管和高精度非电导爆管雷管的出现，实现了多排孔逐孔起爆技术，使台阶爆破进入了精细化、科学化的新阶段；进入21世纪以来，人类迈入了信息化时代，信息时代就是信息产生价值的时代。信息社会与农业社会和工业社会的最大区别，就是不再以体能和机械能为主，而是以智能为主。信息时代爆破技术的发展趋势就是爆破作业数字化和智能化。在这一发展过程中，矿山爆破又遥遥领先，台阶爆破的发展方向代表了我国爆破技术的发展方向。所以，以台阶爆破为抓手研究爆破技术具有提纲挈领的作用。

本书的编写原则是：内容上力求全面性、结构上力求系统性；强调理论联系实际，突出实用性；适度注意先进性和前瞻性，以促进爆破技术的发展。

全书共分十三章。第1章简要叙述了台阶爆破的定义、分类和发展历程，有利于了解台阶爆破发展全貌。第2章概述了工程地质与爆破工程的关系，特别是岩石成分性质与岩体力学特性对爆破作用的影响，继而进一步叙述了岩石与工程岩体分级和爆破性分区及其关系，这有利于了解爆破对象的本质特性及其相互依存关系。第3~5章阐述了工业炸药、起爆器材与爆破力学的理论问题，这是爆破工程师们应该熟练掌握的，也是获得良好爆破效果必备的基础知识与理论。第6~8章分别叙述了露天矿山和水利水电工程台阶爆破以及近年来在我国发展应用的高台阶抛掷爆破，并列述了一些工程实例。应该说，这三章是台阶爆破应用最广、相当成熟的几个领域，爆破工作者应娴熟知晓它们，并在自己的爆破实践中灵活应用之。第9、10章分别叙述了地下矿山和隧道掘进台阶爆破。合理利用地下有限空间是人类生存发展的必然需求，爆破工作者应该熟知台阶爆破在地下空间的应用与发展，掌握其设计与操作技巧。第11章综述了水下台阶爆破的基本理论、设计与实施，特别关注了水上作业平台与钻爆船的选择、定位和钻爆质量的掌控，是水下爆破工作者应娴熟掌握的。第12章简述了爆破效果的影响因素，综合评价和评价指标的测定与计算，爆破工作者应综合知晓本章所述的内容并熟练地应用之，以正确评述爆破设计与施工。第13章综合阐述了爆破作业的各种有害效应与综合处理措施。作业环境的保护也是公众十分关心的事项，爆破工作者应熟练掌握这些内容，以实现和谐爆破作业。

本书在撰写过程中引用了大量的文献资料，希望这些文献能为需要进一步了解和深入研究某些问题的读者提供有益的线索。在此，作者特别感谢被引用文献的作者们，正是你们的研究成果，使我们获益匪浅！

由于作者的学识所限，书中不妥之处敬请专家和读者批评指正。

汪旭光 于亚伦

2017年6月18日于北京

# 目 录

1 绪论 .....	1
1.1 台阶爆破的定义及分类 .....	1
1.1.1 台阶爆破的定义 .....	1
1.1.2 台阶爆破的分类 .....	1
1.2 台阶爆破技术的发展 .....	2
1.2.1 台阶爆破技术的酝酿阶段（新石器时代~1627年黑火药用于矿山） .....	3
1.2.2 台阶爆破技术的奠基阶段（17~19世纪80年代） .....	3
1.2.3 毫秒雷管和大型穿孔设备的应用使台阶爆破技术广泛采用大区域、 多排孔爆破阶段（19世纪80年代~21世纪初） .....	4
1.2.4 数码电子雷管的出现使台阶爆破进入了精细化、科学化的新阶段 （21世纪初至今） .....	5
参考文献 .....	6
2 工程地质与爆破工程 .....	7
2.1 概述 .....	7
2.1.1 工程地质与爆破工程的关系 .....	7
2.1.2 几个基本概念 .....	7
2.2 岩石成分及其对爆破作用的影响 .....	14
2.2.1 岩石成分与岩石强度、坚固性的关系 .....	14
2.2.2 岩石成分与承载特性的关系 .....	15
2.3 岩石性质及其对爆破作用的影响 .....	15
2.3.1 岩石的物理性质 .....	15
2.3.2 岩石的静力学性质 .....	20
2.3.3 岩石动力学性质 .....	24
2.3.4 岩石的温度效应 .....	30
2.3.5 岩石性质对爆破作用的影响 .....	31
2.4 岩体力学性质及其对爆破作用的影响 .....	33
2.4.1 结构面的力学性质 .....	33
2.4.2 岩体的力学性质 .....	36
2.4.3 结构面对爆破作用的影响 .....	38
2.4.4 结构体对应力波传播的影响 .....	42
2.5 岩石分级、爆破性分区与工程岩体分级 .....	42

2.5.1 岩石(体)分级的发展 .....	42
2.5.2 岩石分级 .....	43
2.5.3 岩石爆破性分区(岩石可爆性分级的发展和进一步完善) .....	48
2.5.4 工程岩体分级 .....	50
参考文献 .....	52
<b>3 爆炸与工业炸药</b> .....	<b>54</b>
3.1 爆炸及其分类 .....	54
3.1.1 物理爆炸 .....	54
3.1.2 化学爆炸 .....	54
3.1.3 核爆炸 .....	55
3.2 炸药爆炸的基本条件 .....	55
3.2.1 变化过程释放大量的热 .....	55
3.2.2 变化过程必须是高速的 .....	55
3.2.3 变化过程应能生成大量的气体产物 .....	56
3.3 炸药化学变化的基本形式 .....	56
3.3.1 热分解 .....	57
3.3.2 燃烧 .....	57
3.3.3 爆炸 .....	57
3.3.4 爆轰 .....	57
3.4 炸药的氧平衡 .....	58
3.4.1 氧平衡的基本概念 .....	58
3.4.2 氧平衡值的计算 .....	58
3.4.3 氧平衡值的计算实例 .....	62
3.5 爆炸过程的热化学 .....	63
3.5.1 热化学的基本知识 .....	63
3.5.2 炸药的热化学参数 .....	64
3.5.3 评估炸药爆炸威力的参数 .....	73
3.6 工业炸药 .....	78
3.6.1 工业炸药的定义及分类 .....	78
3.6.2 常用的工业炸药 .....	80
3.6.3 现场混装炸药 .....	101
参考文献 .....	111
<b>4 起爆器材与起爆技术</b> .....	<b>112</b>
4.1 起爆器材 .....	112
4.1.1 起爆器材的定义 .....	112
4.1.2 起爆器材的分类 .....	112
4.1.3 工程爆破对起爆器材的基本要求 .....	112

4.1.4	起爆器材设计的基本原则 .....	112
4.1.5	工业雷管 .....	112
4.1.6	工业导爆索和继爆管 .....	133
4.1.7	起爆具 .....	137
4.2	起爆技术 .....	138
4.2.1	起爆方法和起爆网路 .....	138
4.2.2	电雷管起爆网路 .....	139
4.2.3	导爆索起爆网路 .....	147
4.2.4	导爆管雷管起爆网路 .....	150
4.2.5	数码电子雷管起爆网路 .....	155
4.2.6	混合起爆网路 .....	159
	参考文献 .....	160
<b>5</b>	<b>爆破力学的三大理论 .....</b>	<b>162</b>
5.1	起爆理论 .....	162
5.1.1	炸药的起爆和起爆能 .....	162
5.1.2	起爆理论的研究内容 .....	162
5.1.3	炸药起爆的基本理论 .....	162
5.2	传爆理论 .....	169
5.2.1	传爆理论的发展阶段 .....	169
5.2.2	波理论基础 .....	170
5.2.3	爆轰波的基本方程 .....	172
5.2.4	爆轰波参数的近似计算 .....	176
5.2.5	工业炸药的传爆理论 .....	178
5.3	岩石爆破理论 .....	182
5.3.1	岩石爆破理论的发展阶段 .....	182
5.3.2	爆破岩石力学理论 .....	184
5.3.3	裂隙岩体的爆破理论 .....	194
5.3.4	岩石的损伤断裂理论 .....	195
5.3.5	台阶爆破机理 .....	202
	参考文献 .....	205
<b>6</b>	<b>金属矿山及煤矿的露天台阶爆破 .....</b>	<b>207</b>
6.1	露天台阶爆破的特点与应用 .....	207
6.1.1	露天台阶爆破的特点 .....	207
6.1.2	露天台阶爆破的应用比重 .....	207
6.2	露天台阶爆破的基本概念 .....	207
6.2.1	露天采场 .....	207
6.2.2	露天矿生产顺序 .....	209



6.3 露天深孔台阶爆破 .....	210
6.3.1 露天深孔台阶爆破设计 .....	210
6.3.2 露天深孔台阶爆破施工工艺 .....	222
6.3.3 工程实例——哈尔乌素露天矿 1077.5m 水平深孔土岩爆破设计 .....	226
6.4 露天浅孔台阶爆破 .....	230
6.4.1 炮孔排列 .....	230
6.4.2 爆破参数 .....	230
6.4.3 起爆顺序 .....	231
6.5 几个问题的探讨 .....	231
6.5.1 台阶高度的确定 .....	231
6.5.2 一次爆破规模的确定 .....	233
6.5.3 多排孔毫秒延期时间的确定 .....	236
6.6 压碴爆破 .....	239
6.6.1 何谓压碴爆破 .....	239
6.6.2 压碴爆破参数的确定 .....	239
6.6.3 逐孔起爆压碴爆破 .....	241
6.7 露天采场的掘沟爆破 .....	242
6.7.1 掘沟爆破的作用 .....	242
6.7.2 新水平准备程序 .....	243
6.7.3 掘沟爆破的特点 .....	243
6.7.4 掘沟方法分类 .....	243
6.7.5 掘沟工序 .....	244
6.7.6 沟的断面形状和几何参数的确定 .....	244
6.7.7 掘沟爆破设计 .....	245
6.7.8 实例 1——酒泉钢铁公司西沟石灰石矿 .....	246
6.7.9 实例 2——攀钢矿业公司朱家包包露天矿 .....	248
6.8 特殊环境下的露天台阶爆破 .....	250
6.8.1 高温火区爆破 .....	250
6.8.2 冻土爆破 .....	263
6.9 降低大块率和根底率的措施 .....	269
6.9.1 何谓大块率,何谓根底率 .....	269
6.9.2 产生的部位和原因分析 .....	270
6.9.3 降低大块率和根底率的措施 .....	271
参考文献 .....	273
<b>7 高台阶抛掷爆破 .....</b>	<b>275</b>
7.1 抛掷爆破与无运输倒堆工艺系统 .....	275
7.1.1 抛掷爆破与无运输倒堆工艺系统的关系 .....	275
7.1.2 无运输倒堆工艺系统专用设备——吊斗铲 .....	275

7.1.3	抛掷爆破效果直接影响吊斗铲的效率 .....	275
7.2	高台阶抛掷爆破(无运输倒堆工艺系统)产生的背景 .....	276
7.3	黑岱沟露天煤矿是我国无运输倒堆工艺应用的典范 .....	278
7.3.1	黑岱沟露天煤矿的含煤地层 .....	278
7.3.2	依岩层不同采用不同的开采工艺 .....	278
7.3.3	吊斗铲倒堆开采工艺 .....	278
7.3.4	抛掷爆破设计 .....	282
7.3.5	抛掷爆破施工 .....	296
7.3.6	预裂爆破 .....	299
7.3.7	抛掷爆破工程实例 .....	302
	参考文献 .....	304
<b>8</b>	<b>水利水电工程台阶爆破 .....</b>	<b>305</b>
8.1	水利水电工程爆破的特点 .....	305
8.2	水利水电工程深孔台阶爆破的设计程序 .....	306
8.3	高陡边坡深孔台阶爆破 .....	307
8.3.1	概述 .....	307
8.3.2	影响边坡稳定性的因素 .....	307
8.3.3	高陡边坡深孔台阶爆破的损伤判据 .....	309
8.3.4	高陡边坡深孔台阶爆破的基本方法和技术要求 .....	311
8.3.5	邻近边坡处的深孔台阶爆破技术 .....	312
8.3.6	邻近边坡处的轮廓孔爆破技术 .....	317
8.3.7	高陡边坡爆破振动的放大效应 .....	319
8.3.8	工程实例——小湾水电站高陡边坡开挖爆破 .....	323
8.4	坝基保护层的台阶开挖爆破 .....	325
8.4.1	概述 .....	325
8.4.2	坝基保护层厚度的确定 .....	325
8.4.3	坝基保护层的开挖方法 .....	326
8.5	高陡山体坝肩开挖分层抛掷爆破 .....	333
8.5.1	概述 .....	333
8.5.2	拱坝坝肩的爆破方案的选择 .....	334
8.5.3	坝肩施工的技术要求 .....	334
8.5.4	工程实例——湖北省青龙水电站坝肩开挖 .....	334
8.6	面板堆石坝坝料开采技术 .....	335
8.6.1	概述 .....	335
8.6.2	混凝土面板堆石坝的结构形式和特点 .....	336
8.6.3	爆破参数的确定 .....	337
8.7	地下厂房岩锚梁开挖技术 .....	340
8.7.1	概述 .....	340

8.7.2	岩锚梁岩台开挖的关键部位是保护层内的开挖 .....	340
8.7.3	工程实例——重庆市彭水水电站地下厂房岩锚梁开挖技术 .....	341
	参考文献 .....	342
<b>9</b>	<b>地下采矿台阶爆破 .....</b>	<b>344</b>
9.1	非煤矿山地下采矿台阶爆破 .....	344
9.1.1	基本概念 .....	344
9.1.2	地下采矿方法分类 .....	349
9.1.3	地下采矿浅孔爆破 .....	350
9.1.4	地下采矿深孔爆破 .....	353
9.1.5	地下采矿大直径深孔台阶爆破 .....	361
9.2	煤矿井下采矿台阶爆破 .....	368
9.2.1	我国是全球最大的煤炭生产国、消费国 .....	368
9.2.2	基本概念 .....	369
9.2.3	采煤方法分类 .....	373
9.2.4	急倾斜煤层采煤法 .....	374
9.2.5	厚煤层采煤法 .....	378
9.2.6	采煤工作面的爆破参数 .....	380
9.2.7	煤矿爆破与安全 .....	382
	参考文献 .....	385
<b>10</b>	<b>隧道掘进台阶爆破 .....</b>	<b>386</b>
10.1	概述 .....	386
10.1.1	定义 .....	386
10.1.2	井巷工程与隧道种类 .....	386
10.1.3	隧道掘进特点 .....	386
10.1.4	隧道掘进方法分类 .....	387
10.2	各类钻爆法施工的技术要点 .....	389
10.2.1	全断面施工方法 .....	389
10.2.2	导坑式施工方法 .....	390
10.2.3	台阶式施工方法 .....	391
10.2.4	中隔壁施工方法——台阶式施工方法的变形 .....	406
10.3	钻爆法开挖隧道的爆破设计 .....	408
10.3.1	隧道爆破设计程序 .....	408
10.3.2	爆破参数的设计 .....	409
10.4	钻爆法开挖隧道的施工 .....	416
10.4.1	隧道施工方法的选择依据 .....	416
10.4.2	钻爆法开挖作业程序 .....	417
10.4.3	施工过程的质量控制 .....	418

10.5	深埋隧道开挖爆破对围岩稳定性的影响	418
10.5.1	我国水利水电工程、矿山开采都面临深部开采问题	418
10.5.2	深部岩体爆破开挖产生的振动是由爆炸荷载和地应力瞬态释放耦合作用的结果	419
10.5.3	爆炸荷载和地应力瞬态释放对围岩损伤范围的影响	419
	参考文献	420
<b>11</b>	<b>水下台阶爆破</b>	<b>422</b>
11.1	基本概念	422
11.1.1	水下爆破与水下钻孔爆破	422
11.1.2	水下台阶爆破	423
11.2	水下爆炸理论基础	423
11.2.1	水下爆炸的物理现象	423
11.2.2	与陆地爆破相比,水下爆破的主要特点	424
11.2.3	水下爆炸冲击波基本方程	424
11.2.4	水下冲击波基本参数	425
11.2.5	水下爆炸荷载计算	426
11.3	水下台阶(分层)爆破设计	431
11.3.1	布孔方式	431
11.3.2	炸药的选取	432
11.3.3	爆破参数	433
11.3.4	水中爆破起爆方法	438
11.4	水下台阶(分层)爆破施工	439
11.4.1	水下台阶(分层)爆破施工流程	439
11.4.2	水上作业平台和钻爆船的选择	439
11.4.3	钻孔配套机具的选择	442
11.4.4	钻孔前的测量与钻孔平台定位	443
11.4.5	钻孔作业	443
11.4.6	钻孔检测、装药和填塞	444
11.4.7	起爆网路连接	445
11.4.8	起爆	445
11.4.9	清碴	445
11.5	水下台阶(分层)爆破质量分析与控制	445
11.5.1	影响水下台阶(分层)爆破质量的主要因素	445
11.5.2	控制水下台阶(分层)爆破质量的主要方法	447
11.6	工程实例	448
11.6.1	舟山港马岙港区灌门口航道段台阶(分层)爆破炸礁工程	448
11.6.2	大连港海底深水炸礁工程信息化	450
	参考文献	453

12 爆破效果的综合评价体系	454
12.1 影响爆破效果的因素	454
12.1.1 岩石性质对爆破作用的影响	454
12.1.2 炸药性能对爆破作用的影响	454
12.1.3 爆破条件、爆破工艺对爆破作用的影响	456
12.2 爆破效果的综合评价	461
12.2.1 爆破质量的评价指标和评价方法	461
12.2.2 综合评价方法的分类及选择	461
12.2.3 综合评价的流程	462
12.2.4 模糊综合评价	462
12.2.5 基于未确知测度理论的爆破效果综合评价	466
12.3 评价指标的测定与计算	470
12.3.1 大块率	470
12.3.2 块度分布	471
12.3.3 爆堆形态	477
12.3.4 爆堆松散系数	480
12.3.5 铲装效率	481
12.3.6 爆破成本	482
参考文献	483
13 爆破有害效应及作业环境的保护	485
13.1 爆破有害效应	485
13.1.1 爆破地震波	485
13.1.2 爆破空气冲击波	497
13.1.3 爆破个别飞散物	503
13.2 作业环境的保护	508
13.2.1 爆破噪声	508
13.2.2 爆破粉尘	510
13.2.3 爆破有害气体	514
13.3 爆破盲炮事故处理	519
13.3.1 盲炮定义	519
13.3.2 盲炮的产生原因	519
13.3.3 盲炮的预防	521
13.3.4 盲炮的检测和识别	521
13.3.5 盲炮的处理	529
13.4 早爆事故的处理	530
13.4.1 早爆的概念	530
13.4.2 外来电引起的早爆原因分析与预防措施	530
13.4.3 炸药燃烧引起的早爆原因分析与预防措施	535

---

13.4.4 机械能作用引起的早爆原因分析和预防措施·····	536
13.5 瓦斯及煤尘工作面的爆破事故处理·····	536
13.5.1 瓦斯和煤尘·····	536
13.5.2 瓦斯爆炸及煤尘产生的条件·····	537
13.5.3 瓦斯和煤尘的防治·····	538
参考文献·····	538

# 1 绪 论

## 1.1 台阶爆破的定义及分类

### 1.1.1 台阶爆破的定义

台阶爆破 (bench blasting) 是工作面自上而下或自下而上, 以台阶形式推进的爆破方法。即无论是露天采场爆破、地下采场爆破还是其他岩土爆破, 被开采的矿岩都要划分为一定高度的分层逐层开采, 在开采过程中上下分层之间保持一定的超前关系, 构成了阶梯状, 每个阶梯就是一个台阶或梯段, 在台阶或梯段上进行的爆破作业就称为台阶爆破, 或称梯段爆破。但是在井下采矿或大断面隧道掘进爆破中, 由于受作业空间的限制, 上下分层之间难以总是保持一定的超前关系, 这时台阶爆破就演变为分层爆破、分段爆破或阶段爆破。水下台阶爆破也有类似情况。即便如此, 它们在爆破工艺和爆破参数的选取上仍然有着许多共同之处。

台阶爆破广泛地用于矿山、铁路、公路和水利水电等工程, 并且几乎涵盖了露天爆破、地下爆破和水下爆破的所有领域, 是这些领域的主要爆破方式。

### 1.1.2 台阶爆破的分类

#### 1.1.2.1 按台阶高度分类

台阶是采场, 特别是露天采场的主要构成要素, 其高度的确定与矿岩性质、开采强度、钻机和装岩设备性能、矿体品位分布、生产管理水平等密切相关, 是影响采矿效率和经济成本的重要因素。因此, 用台阶高度作为划分台阶爆破类别的标准具有广泛的实用性。

(1) 低台阶爆破: 台阶高度 2~5m; 一般使用直径小于 50mm 的钻机凿岩, 孔深不大于 5m。亦称浅孔台阶爆破。

(2) 中台阶爆破: 台阶高度 8~16m; 一般使用直径小于 180mm 的潜孔钻机或直径 250mm 和 310mm 的牙轮钻机凿岩。通常, 将孔径大于 50mm、孔深大于 5m 的台阶爆破称为深孔台阶爆破。

(3) 高台阶爆破: 台阶高度 18m 以上。高台阶爆破起始高度的确定根据是: 目前大型露天矿开采的铲装作业多采用机械电铲, 其最大挖掘高度不大于 15m。而露天矿的台阶爆破要求:

$$\text{爆堆高度:} \quad H_m = (1.2 \sim 1.3)h_m \quad (1-1)$$

$$\text{台阶高度:} \quad H = (1.05 \sim 1.15)h_m \quad (1-2)$$

式中  $h_m$  ——挖掘机的最大挖掘高度, m。

故 
$$H_m = (1.2 \sim 1.3) \times 15 = 18 \sim 20\text{m}$$

$$H = (1.05 \sim 1.15) \times 15 = 16 \sim 18\text{m}$$

显然,当台阶高度  $H$  大于 18 m 时, 现有的采掘设备难以适应。我国神华集团准格尔能源有限公司黑岱沟露天煤矿台阶高度为 40~55m, 采用吊斗铲倒堆剥离抛掷爆破技术为高台阶爆破在我国推广应用提供了成功的范例。

### 1.1.2.2 按爆破作业地点、开采方式分类

按爆破作业地点分为露天台阶爆破、地下台阶爆破和水中台阶爆破。在其中每一类爆破中, 再根据开采方式的不同进行细分。

(1) 露天台阶爆破: 作业地点在地表以上, 包括: 金属矿山露天台阶爆破、煤矿露天台阶爆破、高台阶爆破、特殊条件下的露天台阶爆破(高温爆破、冻土爆破)、水利水电工程面板堆石料深孔台阶爆破、铁路公路台阶爆破等。

(2) 地下台阶爆破: 作业地点在地表以下, 包括金属矿山地下台阶爆破、煤矿井下台阶爆破、隧道掘进台阶爆破等。

(3) 水下台阶爆破: 作业地点在水中、水底或水下固体介质内进行的爆破作业, 统称为水下爆破。

水下爆破按照工程目的、药室形状和位置的不同, 主要有如下几种类型: 水下裸露爆破、水下钻孔爆破、水下硐室爆破、水下软基处理爆破、水下岩塞爆破等(见图 1-1)。由于水下钻孔施工比较困难, 一般采用一次性的整体爆破, 但是, 当岩层厚度较大, 方量集中, 且开挖深度超过 10m 时, 也可采用中深孔台阶爆破或分层爆破。

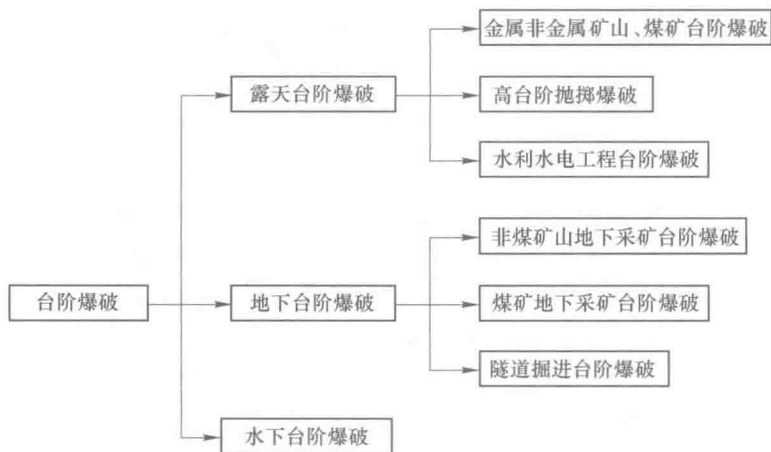


图 1-1 台阶爆破的分类

## 1.2 台阶爆破技术的发展

台阶爆破技术的发展和与其他爆破技术的发展一样, 与爆破器材和穿孔设备的进步密切相关, 台阶爆破技术的发展对爆破器材和穿孔、装运设备提出了新的要求, 是爆破器材和穿孔、装运设备进步的动力。反之, 爆破器材和穿孔、装运设备的进步又促进了台阶爆破技术的发展, 是台阶爆破技术发展的源泉。

与此同时, 台阶爆破技术的发展又与矿业的进步密切相关。矿山不仅是黑火药首个应用的场所, 而且, 规模巨大的露天矿场又是台阶爆破技术进步的力量源泉。



## 1.2.1 台阶爆破技术的酝酿阶段（新石器时代~1627年黑火药用于矿山）

### 1.2.1.1 中国古代台阶开采的雏形

早在新石器时代（约4000年前），人们就已经会使用“火攻法”开采矿石。中国古代的采矿技术在商周时期已经达到很高的水平。1988年在江西瑞昌夏畈镇得幕阜山东北角发现一处商周时期的铜矿采矿遗址。铜矿遗址的开采方法既有露天开采，也有地下开采。

辽宁省沈阳新石器晚期遗址、陕西洋西和宝鸡茹家庄、竹园沟西周墓葬都发现大批用雕煤雕刻的环、块和圆珠。雕煤位于煤层深部，它的使用表明当时已经开采深部煤层。汉代已用煤作燃料，采煤在这一时期已经发展起来，一般沿露头挖掘，但也常常开凿竖井。

根据卢本珊先生在“中国古代金属矿和煤矿开采工程技术史”中介绍：中国古代采煤技术大多用掏槽方法，先以平镐在工作面煤壁下部开一横槽，促使煤层产生裂隙，再用锤钎在上部敲击，使煤块崩落。特厚煤层不能用全采高同时采出，而是采用分期开采。先采出其中一部分，随之充填，待过若干时间，采出部周围岩石的压力使未采煤层移动，密实压实，再行开采。

由此可知，中国古代有了采煤就有了分期开采、分层开采，即台阶开采的雏形。

### 1.2.1.2 黑火药用于凿岩爆破是采矿发展的里程碑

火药是我国四大发明之一，是我们祖先对人类的一项重大贡献，是突发性瞬时高功率化学能源利用的先河。早在公元660年，炼丹家孙思邈在所著《丹经》的“伏硫磺法”中，就记载了硝石和硫磺作用的化学反应。公元803年清庶子在《铅汞甲辰至宝集成》中记载了，用硫二两、硝二两、马兜铃三钱半配制而成矾伏火法，是一个较为完整的黑火药配方，也是世界上最早的记载，用现代化学反应方程式可写为：



北宋年间，《武经总要》对黑火药的配方，有了更加完备的记载。

公元8~9世纪，中国的硝石和炼丹术同时传入阿拉伯国家。1225年烟火及火药制造方法也传入阿拉伯国家。大约在13世纪中叶，黑火药及其制造技术才秘密地由阿拉伯国家传入欧洲。17世纪以前，在国外黑火药只用于军事目的。约在1613年黑火药首次应用于奥地利的西利基上保布罗夫矿的水平巷道掘进爆破，但直到1627年，Grosslitz Chemnitz才将此事公布于众。同年，卡斯珀·文德尔也记载了黑火药在匈牙利的波斯托伦（Ober-Biberstollen）的舍姆尼芝皇家矿山的应用；1630年德国人、1670年英国人也开始将黑火药用于采矿，与原来的火攻法破裂矿岩相比，黑火药爆破矿岩的效果显著提高，因此黑火药在采矿业的应用被视为标志着中世纪的结束和工业革命的开始。值得指出的是，黑火药作为独一无二的炸药，延续了500年之久。

用凿岩爆破落矿代替人工挖掘，也是采矿技术发展的一个里程碑。

## 1.2.2 台阶爆破技术的奠基阶段（17~19世纪80年代）

17~19世纪80年代，爆破技术所需的最基本的爆破器材已齐全；凿岩机的出现为爆破作业提供了先进的钻孔工具。

19~20世纪初，相继发明了矿用炸药、雷管、导爆索和凿岩设备，形成了近代爆破技术。