

建筑物

爆破拆除

理论与实践

史家堉 程贵海 郑长青 编著



中国建筑工业出版社

建筑物爆破拆除理论与实践

史家埝 程贵海 郑长青 编著

中国建筑工业出版社

前 言

随着我国经济建设的高速发展，城镇现代化建设或扩建工程的大规模实施，旧有建（构）筑物的爆破拆除和建筑施工中的土岩控制爆破技术得到迅速发展，并通过大量的工程实践和应用积累了丰富的经验。

城镇控制爆破技术的发展，主要是密切结合工程建设实践，依靠技术创新，不断提高爆破技术水平，不断扩大应用范围而取得。爆破拆除建（构）筑物内容涉及各种结构类型的建筑物，烟囱、水塔、各种储仓、冷却塔、围堰、码头等无所不有；建筑施工中的土石方爆破，包括建设场地平整、基坑开挖、隧道和桩井掘进、泡槽开挖、爆炸挤淤填海等等，使控制爆破技术在城镇建设中被广泛采用。

改革开放三十年来，控制爆破拆除建（构）筑物规模不断扩大，由多层到高层，由单一结构形式到复合结构，拆除方式多样化；构筑物由单体到群联体一次齐爆拆除，高耸构筑物拆除高度达 200 余 m，建筑施工中的土石方爆破量由几千立方米达到数万立方米，工程规模不断扩大。

城镇控制爆破技术，虽然是 20 世纪 70~80 年代发展起来的爆破技术，但其爆破基本理论是以一般岩土爆破为基础的，同时融入了结构力学、材料力学、断裂力学和工程力学等相关学科知识，以及实践方法、计算工具和测试技术的现代化，更加促进了控制爆破技术的发展。爆破技术的发展离不开爆破器材的发展，爆破器材在近 20 余年中取得了长足进步，一些先进的器材不断涌现，如低爆速炸药、耐热炸药、电子雷管、电磁雷管等。

城镇建（构）筑物拆除和岩土开挖由于工程类别多样，要求各异、质量严格、工期短和工程环境复杂，控制爆破技术在理论、设计方法、施工工艺、环境保护和安全防护上具有不同于一般岩土爆破的特点。目前，城镇控制爆破技术还存在许多不确定因素，如炸药能量的转化问题，建（构）筑物倒塌后支撑构件高度和后坐问题，爆破有害因素控制问题，特别是爆破和倒塌落地振动，粉尘危害，在环境保护中是人们更加关注的问题。因此，在不断实践的基础上深入开展控制爆破理论研究，逐步使不确定因素变成可确定因素，提高和完善控制爆破技术，使之在建设中发挥更大的作用，依然任重道远。

本书编写以爆破技术为工程实践服务为原则，系统叙述有关建筑物和构筑物爆破拆除基础知识，各种拆除方式和爆破参数确定原则，同时还围绕城镇建筑工程及市政工程中经常实施的场地平整土石方爆破，建筑物基坑开挖等方面，详细论述爆破方案的确定方法、施工工艺和安全保障技术。考虑到爆破工程已进入市场范畴，爆破技术应用范围逐渐扩大，为了提高工程爆破设计水平和安全控制技术，本书又编入了爆破工程设计管理，爆破工程安全评估两章内容，以期达到抛砖引玉的作用。

由于作者水平所限，难免疏误，恳请爆破工程界同仁给予指正。本书有的内容也参考和引述了许多爆破工程同仁的论述和著作，在此深表敬意和感谢！

目 录

第一章 建（构）筑物拆除技术现状和发展趋势.....	1
第一节 拆除爆破的内涵和基本特点.....	1
第二节 建（构）筑物拆除技术现状.....	2
第三节 拆除爆破技术的发展趋势.....	4
第二章 建筑物或构筑物的平衡与失稳.....	7
第一节 建筑物、构筑物的稳定与拆除失稳.....	7
第二节 超静定刚架结构受力分析及结构失稳落地堆积规律	11
第三节 建筑物倒塌落地时的附加破碎	17
第四节 爆破拆除建（构）筑物的弱化处理	19
第三章 爆破器材及起爆系统	27
第一节 炸药	27
第二节 起爆器材及起爆系统	34
第三节 起爆方法	45
第四节 爆破参数选择	54
第四章 楼宇建筑的爆破拆除	61
第一节 建筑物爆破拆除方式的选择	61
第二节 建筑物定向倾倒方式	63
第三节 建筑物爆破折叠拆除方式	80
第四节 横向逐段解体拆除方式	88
第五节 建筑物原地塌落拆除方式	94
第六节 特殊条件下建筑物爆破拆除.....	104
第五章 高耸构筑物爆破拆除.....	113
第一节 高耸构筑物的特点与爆破拆除方法概述.....	113
第二节 高耸构筑物定向倾倒爆破拆除方法.....	119
第三节 高耸筒状构筑物定向折叠倾倒.....	129
第四节 构筑物原地塌落爆破拆除方法.....	135
第五节 烟囱、水塔拆除爆破失控实例.....	137

第六章 大型圆筒仓爆破拆除	142
第一节 筒仓结构特点及爆破拆除设计概述.....	142
第二节 炮孔布置及爆破参数选择.....	145
第三节 筒仓爆破拆除工程实例.....	146
第四节 大型冷却塔爆破拆除.....	150
第七章 混合结构建筑物爆破拆除	160
第一节 混合结构建筑物的特点及砌体强度.....	160
第二节 多层混合结构房屋受力分析.....	162
第三节 砖混结构建筑物爆破拆除倒塌时构件的破坏形式.....	165
第四节 工程实例.....	168
第八章 大型砌体、基础和地坪爆破拆除	171
第一节 大型砌体和基础爆破拆除.....	171
第二节 地坪拆除爆破.....	176
第九章 桥梁拆除爆破	179
第一节 桥梁拆除爆破设计.....	179
第二节 工程实例.....	185
第十章 水压爆破拆除理论和计算	204
第一节 水压爆破机理与设计.....	204
第二节 水压爆破拆除实例.....	211
第十一章 城镇中的石方开挖爆破	216
第一节 工业与民用建筑场地土石方开挖.....	216
第二节 沟槽开挖爆破.....	234
第三节 桩井开挖爆破.....	238
第四节 陡峭山体危岩处理.....	244
第五节 石方开挖延时爆破技术应用.....	247
第十二章 爆破安全与环境保护	251
第一节 城市爆破的主要危险与有害因素及其防范措施.....	251
第二节 爆破有害因素及其防护措施.....	264
第三节 爆破安全事故处理预案.....	269
第十三章 爆破工程管理	271
第一节 爆破工程分级管理.....	271
第二节 爆破工程设计与管理.....	274

第十四章 爆破工程安全评估..... 279

第一节 安全评估内容和原则..... 279

第二节 安全评估指标体系和细则..... 281

第三节 爆破安全评估方法和流程..... 284

第四节 评估结果..... 286

第五节 评估报告实例..... 290

附录..... 300

参考文献..... 311

第一章 建（构）筑物拆除技术现状和发展趋势

第一节 拆除爆破的内涵和基本特点

一、拆除爆破内涵

爆破拆除建筑物和构筑物是在第二次世界大战以后发展起来的，已约有 60 余年历史的行业技术。随着经济建设的发展，新建、扩建和改建工程增多，我国也由 1958 年开始了应用爆破方法拆除建、构筑物。几十年的实践与开发，已逐步发展成了一门与岩土爆破技术相结合的专门控制爆破技术。

控制爆破技术是一个总称，它包括许多个不同的内容。其内涵可概括为：根据工程要求和爆破环境、规模、对象等具体条件，通过精细设计，采用各种施工方法及防护技术措施，严格控制炸药爆破能量的释放和介质破碎过程，达到预期的爆破破碎效果，又准确控制建筑物的倒塌方向、堆积范围；把爆破地震波、空气冲击波、噪声和飞散物等的危害控制在规定的限度内。根据这一涵义，概括言之，不外乎要达到以下几个目的：

（1）采取合理装药量和药包形式，使爆破力仅仅作用于要破坏的构件物体或岩体，而不作用于不需要破坏的构件或岩体；不影响拟留的构件、墙面，破坏范围符合设计规定，达到预期效果；

（2）控制爆破药包起爆后大多数被爆构件或岩石破碎而不抛出，破裂而不飞散，即形成龟裂型松动爆破，以保证爆破环境安全；

（3）控制爆破体的倒塌方向和倒塌效果，避免出现炸而不倒或倒塌过程中危及周围建筑物、设施的安全，控制岩体爆破爆堆范围和高度；

（4）减轻爆破危害，合理选择爆破参数、起爆工艺和防护技术措施，将爆破震动波、空气冲击波、飞石和噪声等危害作用严格控制在允许范围内，确保爆区环境安全。

为不引起混淆，本书后面不再使用控制爆破一词，凡建、构筑物拆除爆破均为控制爆破。

二、拆除爆破的特点

（1）拆除爆破一般是在城市建筑群中和人口密集区进行的，需设严密警戒区，设警戒人员，爆破时要动员警戒区内的居民撤离到安全地点，为了保证安全、需要动用大量的警力维持秩序。

（2）拆除爆破工程技术人员必须懂得建（构）筑物的结构特点及结构各部位的作用，进行合理的爆破设计和施工，确保建（构）筑物顺利倒塌解体，并保证施工人员施工中的安全。

(3) 拆除爆破一般环境比较复杂,被拆除建(构)筑物的周围常有需要保护的民房或厂房、地下管线、架空缆线、输配电设备及贵重的树木等。拆除爆破的防护,既有阻止碎渣飞散的近体防护,又有防止飞石砸坏被保护物的防护。防护方法、防护材料和防护要求均有与一般爆破不同的特点。

(4) 爆破拆除建(构)筑物规模一般不大,工期不长,一般不超过几十天,施工组织、机械设备、人员配置都要比较精炼。

(5) 拆除爆破要根据建筑物结构特点,工程要求,通过结构力学分析选择爆破解点,往往解点多且分散,炮眼多,雷管多,因而起爆技术复杂。

(6) 随着社会的进步,人们的环保意识逐渐增强,对拆除爆破中的粉尘污染十分重视,必须采取行之有效的降低粉尘的技术措施。

第二节 建(构)筑物拆除技术现状

随着城市建设的发展,企业技术改造项目的不断增加以及城市治理环境污染,工厂搬迁不断增多,需要拆除大量建(构)筑物,与此相适应的各种拆除新理论和新技术不断出现,并得到广泛应用。纵观城镇建、构筑物拆除技术的发展,其拆除基本原理概括为以下五类:

一、失稳原理

按传统的压杆稳定原理是将建(构)筑物立柱爆破后裸露出的钢筋视作单根立筋的压杆,应用失稳临界应力的方法计算立柱(墙)的最小破坏高度,也即爆破后建(构)筑物不能保持它原来的稳定平衡状态,故谓之失稳。建(构)筑物拆除倒塌,是以引发建筑物失稳为主的原理。

二、冲击破碎原理

这是一种利用重力锤或势能初始冲击产生的能量,对建、构筑物结构进行破坏。冲击能量包括势能和机械动能,势能由建、构筑物的质量和质心高度所决定,机械动能是由高压气体或液压油推动冲击头产生的,有人工或机械重力锤两种类型。

三、静态胀裂原理

利用装在炮孔中的静态膨胀剂的水化反应作用,产生径向体积膨胀,膨胀压力可达30~40MPa乃至60~90MPa。膨胀时膨胀压力转化为拉伸应力,对脆性介质而言,其抗拉强度远小于抗压强度,因此,介质在拉应力作用下产生断裂破坏。

这种原理主要适用于拆除混凝土基础,地下构筑物和开采大理石、花岗石等。

四、切割分解、起吊拆解原理

这种拆除原理是根据建筑物的结构特点,利用切割技术按一定的顺序分别将梁、柱和楼板整体成块切割分解,再用大型吊装设备进行起吊拆除。这种原理的拆除方法在日本得

到广泛应用，现在已进一步发展为机械人自控拆除，高压水射流切割、高压电流切割、火焰喷射切割和激光切割技术等。

五、爆炸等能原理

炸药爆炸是瞬间释放大量的物理化学反应过程，这个能量通常产生具有高温高压的高速膨胀气体作用于周围介质，使介质结构破坏，由于作用于单位质量介质的能量比破坏单位质量介质实际所需的能量要大，因而还有部分多余能量转化为空气冲击波、地震等有害效应。根据介质特性，选择爆破方式，优化爆破参数，选用合理的起爆方式和炸药品种，以期使作用于单位质量介质的能量与破坏单位质量介质所需的最低能量相等，介质既能产生一定程度的破碎，又无多余的能量产生冲击波和震动等危害，这就是等能原理。

在确定爆破药量时影响因素很多，除如爆破介质的强度、均匀性、裂隙等特性以及炸药品种，起爆方式等一系列的因素外，还有爆破参数，如炸药单耗、抵抗线、炮孔排间距等诸多因素的影响，特别是目前对爆破破坏机理的认识尚不充分的情况下，所以，爆破药量的确定还没有完整的理论计算方法，而只是从等能原理出发提出一些假设，根据各自在工程爆破的实践中总结出各自的经验计算方法或半理论半经验计算方法。

20 世纪 70 年代以来，高层建、构筑物的爆破拆除技术在国内外取得了巨大发展。在国外成功地利用爆破方法拆除了 32 层的钢筋混凝土大楼；270m 高烟囱；高 40m 的储水 1700t 的水塔；1986 年瑞典采用爆破拆除 10 层住宅楼；由 1979 年至 1993 年间，英国采用爆破方法拆除了 40 座 12~25 层高的建筑物；德国在 1978~1988 年间采用爆破方法，拆除了几百座桥梁；奥地利爆破工作者，在距被埋在倒塌物下面的人员 40cm 处实施控制爆破，安全救出人员，有效地加速了抢救工作。总之，国际上采用爆破方法拆除高层建筑物，已十分普遍。

我国从 20 世纪 70 年代应用拆除爆破技术，其后进展迅速，目前拆除爆破正朝着“高、大、难、准”的方向发展，1973 年北京铁路局爆破拆除了北京饭店 2000m² 钢筋混凝土结构物；1994 年一次性爆破拆除了 29400m² 的望江亭电厂大型厂房；1995 年 12 月和 1996 年元月广东茂名分别爆破拆除了两座 120m 高的钢筋混凝土烟囱；山东十里泉电厂，逐段爆破拆除了 180m 高的钢筋砖烟囱；1998 年 12 月在武汉成功拆除了一座 18 层高 56m 的已倾斜的危楼；1990 年在上海采用折叠方式爆破拆除了 16 层高 67m 的长征医院大楼；2001 年北京在东直门爆破拆除了 22 层高 62.18m 的全现浇结构塔楼；2002 年广西南宁爆破拆除的框剪结构高 54m 的公安局办公大楼；2001 年 12 月~2002 年 9 月北京密云水泥厂成功爆破拆除了各类大型联体筒仓；2002 年北京武警总医院爆破拆除了 16 层的内浇外挂板式结构的塔楼；2002 年 1 月~7 月上钢一厂爆破拆除了钢结构排架厂房等；2005 年 12 月广州造纸厂采用三段连续折叠方式爆破拆除 100m 高钢筋混凝土烟囱。2008 年武汉王家墩商务区 19 层高 63m 框剪大楼，采用双向三次折叠式爆破拆除……。此外，广东宏大爆破公司还研制开发了“活性水”、“活性雾”，采用“活性泡沫”浸没塌落物，通过“活性雾”的方式包围捕捉扬尘，从而减少了爆破产生的粉尘，保护了环境卫生。所有这些工程代表了当前我国在建、构筑物爆破拆除领域中的成就和发展。

第三节 拆除爆破技术的发展趋势

一、建（构）筑物的爆破拆除的新特点

(1) 高层建（构）筑物增多，结构多样化，已由一般框架、框剪和剪力墙结构，逐渐发展成筒体、筒束、套筒及其他形式的新型结构。

(2) 高层建（构）筑物造型和平面布置更加复杂，结构承载力和整体刚度增加，拆除和解体难度加大。

(3) 对高层建（构）筑物倒塌堆积范围的环境和安全的约束条件要求愈来愈多。

(4) 施工期短，要求建（构）筑物倒塌解体和破碎更加充分。

(5) 城市建（构）筑物密集，有的工程需部分拆除，局部保留，必须保证保留部分不受损伤，有的工程需要按不同的方向分体倒塌。

(6) 在某些条件下，发生建（构）筑物结构断裂，存在倒塌危险，需实施抢险性爆破拆除。

面临建（构）筑物爆破拆除的新特点，今后会提出更多和更加严格的技术要求，更加苛刻的环境和安全要求，实现更可靠、更快捷、更经济的拆除工程，这就要求开发和引进相关的新技术，探索新的拆除方法，提高拆除爆破的施工工艺水平。

二、拆除爆破技术的展望

（一）理论研究

当前，在爆破拆除建（构）筑物承载构件的失稳条件和破坏高度的研究有了一些新的发展，如用传统的压杆原理将爆破后立柱裸露部分钢筋作为单根主筋的压杆，利用失稳临界应力的方法确定最小爆破高度，或者是将承重立柱爆破后裸露的部分钢筋骨架视作一个小型钢结构，按结构力学的刚架失稳方法，确定最小爆破高度。此外，国内外许多研究者用平面杆系结构有限元法和结构力学中的直接刚度法计算结构爆破前后的内力分布，并力图完善建、构筑物拆除爆破的辅助设计。

建（构）筑物的倒塌运动过程，国内外已有众多学者应用有限元法和离散元法研究建筑物倒塌运动过程的数值模拟，以确定爆破切口位置、爆破顺序和分段时间差对爆破倒塌的影响，其中比较理想的是 DDA 法（不连续变形分析法）进行建、构筑物倒塌运动过程的数值模拟。

由上可知，我国在建（构）筑物爆破拆除工程中，对爆破拆除机理的研究愈来愈深入，注重理论与工程实践相结合，已由过去主要依赖经验公式和定性分析，正逐步向理论化、定量化转变，同时，随着实际手段、测试技术和计算工具的现代化，更加促进了这一研究领域的发展。

汪旭光院士等，在论述二十一世纪拆除爆破发展战略时，曾提出如下三项主张：

(1) 要突破传统的结构失稳原理，从建筑物空间整体结构出发，分析倒塌过程（自由下落、失稳转动、倾倒塌解、倒塌堆积），研究结构由一个几何不可变体系转变为几何可

变体系的发展过程，以崭新的观点阐明失稳倒塌机理。

(2) 要突破传统的针对建筑物局部结构和单一结构破坏失稳的设计方法，建立概念设计的新方法，其实质是在一定拆除空间和环境条件下，用整体概念来考虑结构的总体方案，并充分利用结构总体与各分体系之间的力学特征和关系，采用概念性的近似计算方法，对结构体系进行比较和选择，快捷选择最优爆破拆除方案和结构失稳参数。

(3) 要研究建立结构倒塌过程所产生的地震波和对地面冲击力计算方法，并以计算机模拟方法再现结构倒塌过程和效果，在爆破震动信号中采用小波分析 (Wavelet Analysis)，使震动信号分析进入一个崭新阶段。

其次，面对未来各种复杂条件下的建（构）筑物的爆破拆除工程，必须加强爆破理论研究和工程实践的分析总结，做好理论与实践相结合。探索 and 解决有关控制爆破作用机理问题。

(二) 器材研制

近年来爆破器材研制技术的发展很快，国内外已研制各种安全电雷管及起爆系统，如电子雷管起爆系统、电磁雷管起爆系统。除此之外，许多国家也在开展研究一些新型安全起爆系统，并取得了较好的试验效果，如气体导管起爆系统、超声波起爆系统、PED 遥控起爆系统和激光雷管起爆系统等。

由于非电导爆管起爆法，比电雷管起爆法具有许多优越性，在拆除爆破工程中得到了广泛的使用，但非电导爆管起爆法的主要缺陷是无法检查起爆网路的质量，不能预先消除网路中可能产生拒爆的隐患。另外，由于多段毫秒雷管和继爆管系列配套不理想，精度较差，使用中常有跳段现象发生。而这方面恰恰是电雷管起爆法的优点，所以电雷管起爆法在很多重要的爆破工程中仍是主要选用的方法，但它易受杂散电、射频电、感应电等的影响，危及爆破安全。因此，传统的电力起爆和非电起爆方法仍需完善和提高。

在拆除爆破中，除了使用常规的工业炸药，如岩石铵梯炸药、乳化炸药、水胶炸药和浆状炸药以外，由于爆破对象、环境、条件和要求不同，对炸药的性能提出了不同的要求，各种不同的爆破工艺、爆破方法，随着科学技术的发展，一些新型的炸药应运而生，如塑黏性炸药、挠性炸药、低爆速炸药、耐热炸药和液体炸药等。各种新型起爆方法也在研制，有的已在特殊工程中应用试验。

在拆除钢结构或钢筋混凝土结构建筑物时，采用切割控制爆破，有可能成为快捷、有效的拆除爆破方法。

(三) 环保与安全

在城市复杂环境条件下，建、构筑物拆除工程，不论采用控制爆破法、机械拆除法或综合拆除法，确保拆除过程中人员、设备和周围建、构筑物的安全，是拆除过程中必须首先考虑的问题。

(1) 爆破安全技术的核心是研究意外爆炸事故和有害效应引起的灾害及其避免和抑制的技术途径，随着综合防灾观念的增强，对城市控制爆破的安全性有了更全面更高的要求，在爆破安全技术中，既要防止和控制爆破产生的地震波、空气冲击波、飞散物、粉尘、噪声、有害气体等负面效应对周围环境的影响，更要杜绝电干扰及其他外界因素可能引起的早爆和拒爆事故。除此之外，拆除的环境意识，保护生态意识和可持续发展意识也对爆破工程提出更新的要求，借助高新技术，实现无公害爆破，是爆破工作者应当追求的

长期战略目标。

(2) 建(构)筑物拆除结构倒塌落地,产生地震的机理,环境安全的判据标准及其有效的防范措施,也是当前的热点问题,期待取得有效突破,建立拆除爆破中有害效应的预报、监测、防护技术,同样是急待提高的问题。

(3) 机械拆除过程中的安全问题,往往被忽略,必须进行严格的安全管理,采取必要的安全技术措施,杜绝雷击及高空落物造成的事故,同时爆破拆除与机械人工拆除平行作业时各工序的合理衔接和协调管理也是安全生产的保证。

创新是爆破拆除工程发展的不竭动力,21 世纪高新科学技术的发展,必将推动新的工业技术革新,爆破技术也必将随之产生新的飞跃。

第二章 建筑物或构筑物的平衡与失稳

第一节 建筑物、构筑物的稳定与拆除失稳

一、建筑物、构筑物的稳定与拆除失稳的一般概念

建筑物或构筑物属于支承在水平面上的物体，作用其上的力有重力及支承面反作用力。稳定平衡时重力与支承面反作用力必定在一条直线上，也即建筑物或构筑物在重力作用下的平衡稳定条件为：重力作用线必须通过支承面。在城市爆破拆除建筑物或构筑物时，就是根据其结构特点，以及受力状态和拆除要求等，运用爆破技术破坏其部分承重结构，使建、构筑物丧失稳定平衡，在重力作用下原地塌落或定向倾倒。

建筑物或构筑物的稳定平衡，是由建、构筑物的受压承载能力（即能承受的最大压力），主要是由强度条件和稳定性条件来决定的。而按建、构筑物的强度条件来说，其承载能力由结构或构件材料的受压极限强度和横截面积来决定。但按稳定性条件来说，建筑物或构筑物的承载能力就完全不同了。矮的（少层）、高宽比小的建、构筑物稳定性好，即使承受的压力超过允许压力，只要其轴线还保持直线状态，还不致弯曲或倾倒，只有超过极限压力，结构或构件横截面的应力超过材料的极限强度，才会导致构件强度破坏。所以矮的建、构筑物的承载能力是由强度条件决定的。高耸（多层）的、高宽比大的建筑物或构筑物则相反，当压力还不到承受的极限压力时，只要其轴线弯曲或偏移一个角度，建、构筑物随即丧失平衡稳定，甚至破坏倒塌。所以高耸建、构筑物的承载能力由稳定性条件决定。

城市拆除建筑物或构筑物正是基于建、构筑物结构或构件的这种特点，既要研究破坏建筑物或构筑物原有的稳定平衡条件，使其失稳倾倒，又要研究在建、构筑物倾倒过程中破坏原有结构或构件承载力、刚度，使其充分解体。

考虑建筑物或构筑物能否失去稳定或者失稳是否足够，是爆破拆除结构工程中一个与强度条件同样重要的问题。高耸建、构筑物、多层楼房、工业厂房以及薄壁筒管、拱、薄板和薄壳等结构，都存在破坏其支承部位构件，实现结构丧失稳定。

由于对结构丧失稳定问题没有给予足够的重视，或者考虑不周，以致爆破拆除中建筑物或构筑物结构没能完全丧失稳定平衡；或者提前失稳倾倒，但构件未能解体，产生严重事故的，也有不少实例。例如，1996年北京某化工厂厂房爆破拆除时，由于对其结构考虑不充分，设定转动轴一侧的受力钢筋没有全部切断，致使该厂房未能倒塌落地，给以后的解体工作造成很大困难。图 2-1 就是该厂房失稳后未充分解体的面貌。

另一个例子是，1995年3月，郑州照相机厂拆除 1000m² 五层钢筋混凝土框架厂房，设计向东定向倾倒，但在对 31 根柱子，32 条大梁实施爆破后，倾倒方向却相反，倒向了

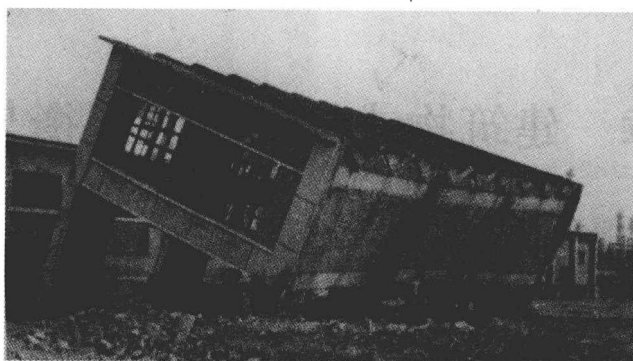


图 2-1 北京某化工厂厂房倾倒后未充分解体的面貌

西侧，当场砸死 1 人，砸伤 4 人，砸坏水房、木工房和职工宿舍多间，损失惨重。

还有，1989 年 11 月，柳州钢厂拆除 45m 高砖烟囱，预定向北倾倒，爆破后却向东倾倒，偏离预定方向 90° ，烟囱倒散地上长 25m，顶端离围墙及其前方的输电线路不到 1m，幸未造成损失。

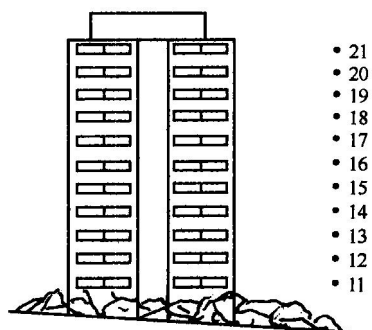


图 2-2 英国 Northaird Point 大厦
爆破拆除不倒面貌示意

如英国在拆除 21 层的 Northaird Point 大厦时出现了 11 层以上的不倒的严重后果，如图 2-2。

还有英国某爆破公司在拆除一高耸烟囱时竟然出现反倒现象，造成了严重的经济损失。类似事故在国内外均有发生，因此，在建筑物或构筑物爆破拆除工程中，分析建（构）筑物的结构特点及其失稳条件是至关重要的。

二、建筑物或构筑物稳定平衡和不稳定平衡

建、构筑物的平衡稳定性是与作用在建筑物或构筑物上的力密切联系的。建、构筑物上不仅作用着重力及支承反作用力，而且还作用着发动力、阻力等，例如风力等。

在正常情况下，建、构筑物是处于稳定平衡状态，而且是具有支承在水平面上的建筑物或构筑物的平衡稳定问题。如图 2-3 所示，建筑物 M 处于 S 平面上，建筑物与 S 平面接触的面，称为支承平面。一般建、构筑物（在地表部分）不是以建筑物的建筑面积作为与地面的接触面，而是以柱子或墙体立于地面，此时支承平面系指最边缘的柱或墙体接触点的连线所包围的面积，如图 2-4 所示。

建筑物或构筑物上作用着重力及支承面的反作用力必须在一条直线上，建、构筑物才能平衡稳定。也就是说，建、构筑物在支承平面上重力作用的平衡条件为：重力作用线必须通过支承平面。例如 2-3 (a) 建筑物是平衡的；图 (b) 建筑物不能平衡。

建、构筑物的平衡是属于稳定平衡的，如图 2-5，受外力作用后（包括倾覆力矩），只要重力作用线没有超出支承平面的周界，则当取消外力或外力小于约束力时，建筑物必然回到原来的平衡位置。

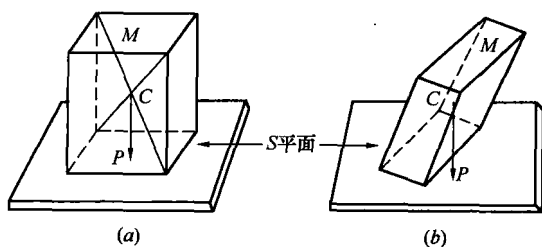


图 2-3 建、构筑物平衡稳定
(a) 为平衡；(b) 为不平衡

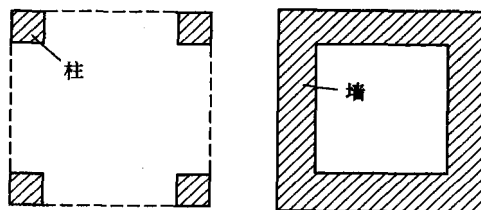


图 2-4 建、构筑物支承平面

有支承面的建筑物的平衡，虽然都是稳定平衡，但稳定的程度不尽相同。在图 2-5 中，将建筑物的 AD 面置于平面上，显然平衡的稳定性要比 CD 面放在平面上小一些。爆破拆除建筑物，使其失去平衡的稳定性，一般可采取两方面的办法：一是减少建、构筑物的支承面；二是提高建、构筑物的质心。如图 2-6 所示，3 个建筑物转动同一角度，图 a 不能回到原来的平衡位置，在重力作用下将继续倾倒，但图 b 与图 c 或因支承面加大，或已将重心降低，重力作用线都在支承平面 AB 以内，因而都能回到原平衡位置。

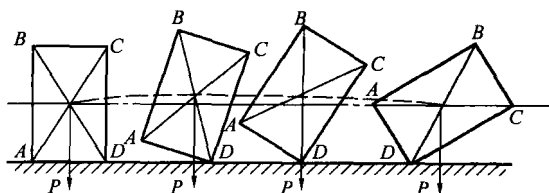


图 2-5 建筑物稳定状态

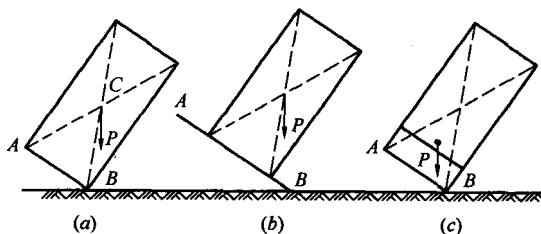


图 2-6 建、构筑物重力作用线

三、建、构筑物重心

建筑物或构筑物爆破拆除，其重心位置对建、构筑物结构失稳或失稳后的倒塌方向及其运动状态有着重要影响。如前所述，建筑物或构筑物重心的位置若偏低时，爆破后的重力作用线仍在支承面的周界之内，建、构筑物将不能顺利失稳倾倒，或者虽倒塌结构也不能充分解体。建、构筑物重心位置越高，倾倒运动中产生的冲击能量就越大，其落地解体就充分，或建筑物、构筑物上部层面有料仓、设备基础、仪器机座、水箱等附加物时，会使结构荷载不均匀或重心上移，因此，在建、构筑物爆破拆除设计中，首先要计算或测定重心位置。

(一) 重心计算

每一个建筑物或构筑物都可以看成是由许多个单元体组成的。如图 2-7 所示，楼房楼层每一个单元体的重力以 Δp_1 、 $\Delta p_2 \cdots \Delta p_n$ 表示，作用在建筑物各单元体上的重力组成了一个空间平行力系，这些力的合力 P 就是建筑物的重力。而此平行力系的中心为建筑物的重心。

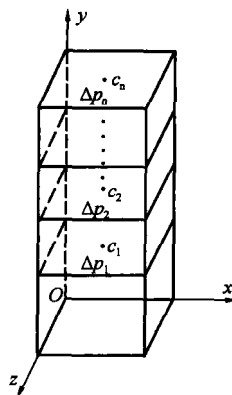


图 2-7 建筑物重力系示意图
 $c_1 \cdots c_n$ —楼层质心； $\Delta p_1 \cdots \Delta p_n$ —楼层重量

根据平行力系中心的性质可知，当建、构筑物在空间作移动或转动时，作用于诸单元体上的重力的合力作用点在建筑物内的位置是固定的。因此，建筑物的重心位置，不会因建筑物在空间运动而改变。而建、构筑物的重心位置，只与建、构筑物的形状、高度及各部分物质分布情况有关。

设楼层每个单元体重为 Δp_i ，其作用点的坐标为 $c_i (x_i, y_i, z_i)$ ，($i=1, 2, 3, \dots, n$)，诸层合力作用点 C ，即重心坐标为 X_c, Y_c, Z_c 。其一般公式为：

$$\left. \begin{aligned} X_c &= \frac{\sum_{i=1}^n \Delta p_i x_i}{p_i} \\ Y_c &= \frac{\sum_{i=1}^n \Delta p_i y_i}{p_i} \\ Z_c &= \frac{\sum_{i=1}^n \Delta p_i z_i}{p_i} \end{aligned} \right\} \quad (2-1)$$

式中 p_i ——建筑物每个单元体的重量。单元体划分得越多，所求得重心位置越准确。

确定整体建、构筑物重心位置时，设建筑物整体重量 $P = \sum_{i=1}^n \Delta p_i$ 合力作用点，即整体建筑物重心坐标为 $X_{\alpha}, Y_{\alpha}, Z_{\alpha}$ 。根据平行力系中心坐标可知重心坐标的计算表达式为：

$$\left. \begin{aligned} X_{\alpha} &= \frac{\sum_{i=1}^n \Delta p_i X_c}{P} \\ Y_{\alpha} &= \frac{\sum_{i=1}^n \Delta p_i Y_c}{P} \\ Z_{\alpha} &= \frac{\sum_{i=1}^n \Delta p_i Z_c}{P} \end{aligned} \right\} \quad (2-2)$$

式中 p_i 取正值。

对于建筑物截面和尺寸比较规则时，可设 Y 轴通过结构纵投影面 $abde$ 的中心。 Y 轴为对称轴，故建筑物重心必在此轴上，如图 2-8 所示。

以图形的 O 点为坐标原点，建立 OXY 坐标系，由式 (2-2) 可得到如下计算式：

$$\left. \begin{aligned} X_c &= \frac{\sum_{i=1}^n x_i \Delta p_i}{\sum_{i=1}^n \Delta p_i} \\ Y_c &= \frac{\sum_{i=1}^n y_i \Delta p_i}{\sum_{i=1}^n \Delta p_i} \end{aligned} \right\} \quad (2-3)$$

举例：由图（2-8）可知，Y轴为矩形截面的对称轴，故矩形截面的重心C在OXY中的坐标为：

$$X_i = 0; Y_i = m_i$$

式中 m_i 为楼层重心到各层 OX_i 平面的垂直距离， m 。

应用（2-3）式组合楼层重心C的坐标为：

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \Delta p_i}{\sum_{i=1}^n \Delta p_i} = \frac{x_1 \Delta p_1 + x_2 \Delta p_2 \cdots + x_5 \Delta p_5}{\Delta p_1 + \Delta p_2 \cdots + \Delta p_5} = 0$$

$$Y_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \Delta p_i}{\sum_{i=1}^n \Delta p_i} = \frac{m_1 \Delta p_1 + m_2 \Delta p_2 \cdots + m_5 \Delta p_5}{\Delta p_1 + \Delta p_2 \cdots + \Delta p_5}$$

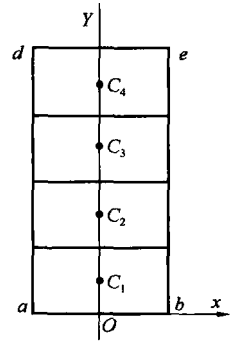


图 2-8 建筑物纵投影面

（二）几点说明：

（1）建（构）筑物单元体平面形状和几何尺寸规则，重力分布比较均匀时，其重心垂线视为通过单元体平面的形心；

（2）详细审阅建（构）筑物结构平面布置和结构特征，楼层有无设备或仪器基础（机座）及其分布和重量，详细进行单元体（楼层）荷载计算；

（3）各楼层的重量（含楼板自重、墙体及相邻上下层自重的一半）都集中于各层楼板处；

（4）高层建筑内外设施和高耸构筑物，特别是烟囱、水塔中的烟道隔墙、水管和内外爬梯的位置要精确核定，确保其倒塌方向不偏移。

第二节 超静定刚架结构受力分析及结构失稳 落地堆积规律

建（构）筑物爆破拆除，是使用爆破法破坏结构中的部分支承构件，实现结构失稳，因此，需要对失稳条件下结构构件的材料强度进行校核，以确定结构中构件是否能够发生破坏解体。

一、构件失稳条件下的强度计算

（一）不同构件的受力状态

（1）建筑物柱子、承重墙（剪力墙）等受压构件可分为轴心受压构件（其压力作用于构件截面的纵轴上）、偏心受压构件（其压力作用线不沿截面轴心，或同时有弯矩作用）。柱和墙有时也受剪力作用，当剪力较大时，计算中应考虑剪力作用。

（2）梁、板或在失稳状态下的部分柱均为受弯构件，其构件截面受弯矩作用和一定的剪力作用，特别是梁，除弯矩外，还需考虑剪力作用的影响。

（3）受拉构件，一般为轴心受拉，如多层框架结构柱子，在水平受力状态下，柱子可