

全国煤矿安全培训统编教材

爆破安全

国家煤矿安全监察局人事培训司 组织编写

A类

中国矿业大学出版社

全国煤矿安全培训统编教材编审委员会

总顾问	路德信			
主任	黄玉治			
副主任	周心权	闫永顺		
委员	王树鹤	付建华	梁嘉琨	石少华
	李文俊	安里千	段刚	陈国新
	蔡卫	徐景德	王金石	王素锋
	瓮立平			

出版说明

搞好煤矿安全生产是保护国家财产和人民群众生命安全的一件大事，它关系到国民经济的发展和社会的稳定。随着我国社会主义市场经济体制的发展，煤炭工业面临着良好的发展机遇，煤炭企业正在向高产、低耗、安全和集约化生产方向发展。但是，煤炭企业安全生产形势仍较为严峻：一方面，煤矿开采水平正在不断加深，生产条件更加复杂化；另一方面，一些煤炭企业仍然存在着盲目追求最大经济效益、不重视安全生产的行为。因此，依法加强对煤矿企业安全生产的监察，通过培训全面提高煤矿企业从业人员的安全素质，是非常必要的。

为了适应我国煤炭工业管理体制改革的需要，国务院于1999年成立了国家煤矿安全监察局，建立了新的煤矿安全监察管理体制。国务院批准的《煤矿安全监察管理体制改革的实施方案》中，赋予国家煤矿安全监察局“组织、指导煤炭企业安全生产技术培训工作，负责煤炭企业主要经营管理者安全资格认证工作”的职能。2000年经国务院批准，又成立了国家安全生产监督管理局，国家煤矿安全监察局与其合署办公。国务院批准的《国家安全生产监督管理局（国家煤矿安全监察局）职能配置、内设机构和人员编制规定》中，赋予国家安全生产监督管理局（国家煤矿安全监察局）“组织、指导本系统安全生产监察人员、煤矿安全监察人员的培训、考核和全国企业安全生产技术培训工作；依法组织、指导并监督特种作业人员的考核工作和企业经营管理者安全资格考核工作”的职能。

为了履行好国务院赋予我们的有关安全培训方面的职能，规范煤矿安全生产技术培训工作，保证培训质量，在总结安全培训工作经验，借鉴国外发达国家矿山安全培训课程体系的基础上，国家煤

矿安全监察局人事培训司组织有关高校、安全技术培训中心和煤炭企业等单位的教授、专家和安全工程技术人员编写了这套模块式“全国煤矿安全培训统编教材”。这套教材不仅反映了传统的煤矿安全生产技术知识，也引进了成熟的煤矿安全生产新知识、新技术，并且针对培训对象的工作类别、专业和文化程度的不同，就其撰写文体、内容深度和广度的差异分为A、B两类。A类教材内容较深，强调内容的科学性、新颖性和实用性，主要适用于国家煤矿安全监察人员、从事煤矿安全培训的教师、煤炭企业主要经营管理者及安全专职管理人员、区（队）长等；B类教材内容较浅，强调内容的实用性，主要适用于班（组）长、各种作业人员（含特种作业人员）、企业安全检查员等。模块式教材避免了不同工种系列的同一课程教材内容的重复，便于选择较合适的作者重点撰写，内容覆盖面广，融科学性、实用性、系统性于一体，是对各类煤矿安全人员进行安全资格培训（复训）和考核的统编教材，也是各类煤矿安全人员上岗后不断巩固、提高安全生产知识的工具书，同时，也可供有关管理人员、工程技术人员及大专院校的师生参考。

本套教材在编审过程中，得到了中国矿业大学（北京校区）、华北科技学院、焦作工学院、黑龙江科技学院，有关省级煤矿安全监察局、煤矿安全技术培训中心、煤炭企业等单位的大力支持。在此，谨向上述单位表示谢意。

本书由刘过兵（第一章～第四章）、顾秀根（第五章、第六章）和梁利（第七章）编写。全书由单仁亮审定。

国家煤矿安全监察局人事培训司

2002年2月

目 录

第一章 爆破理论基础	(1)
第一节 爆炸现象及其分类	(1)
第二节 炸药起爆与传爆	(3)
第三节 炸药爆炸参数与性能	(8)
第四节 爆破破岩机理	(11)
第五节 瓦斯矿井安全爆破原理	(20)
思考题	(23)
第二章 炸药	(25)
第一节 炸药的种类	(25)
第二节 煤矿许用炸药	(37)
第三节 工业炸药	(41)
思考题	(49)
第三章 起爆技术	(50)
第一节 起爆器材	(50)
第二节 电力起爆法	(69)
第三节 非电起爆法	(94)
思考题	(102)
第四章 爆破安全与管理	(104)
第一节 爆破材料的安全管理	(104)
第二节 安全爆破技术	(111)
第三节 井下爆破事故的预防	(120)
第四节 井下安全爆破作业	(130)
思考题	(137)

第五章 井巷掘进爆破施工及安全	(138)
第一节 井巷掘进爆破技术	(138)
第二节 掘进工作面炮眼布置	(151)
第三节 炸药选择及爆破参数的确定	(163)
第四节 爆破作业图表	(175)
第五节 巷道掘进爆破事故预防	(179)
思考题	(186)
第六章 回采工作面爆破施工及安全勘察	(188)
第一节 炮采工作面回采工艺	(188)
第二节 炮采工作面爆破技术	(194)
第三节 炮采工作面爆破事故勘察	(199)
思考题	(202)
第七章 露天爆破技术与安全	(204)
第一节 露天爆破开采特点	(204)
第二节 露天爆破参数	(210)
第三节 露天爆破安全与勘察	(227)
思考题	(242)
参考文献	(243)

第一章 爆破理论基础

第一节 爆炸现象及其分类

一、爆炸概述

在宇宙和自然界存在着千变万化的各种自然现象。人类生存在地球上，为了开发和利用自然资源，改造环境，提高生活质量，也在不断地进行着各种努力。因此也出现了各种各样的非自然现象，而其中一种现象就是物质在急剧的物理或化学变化过程中，使周围介质受到破坏，同时发生光和热并产生响声，这种现象我们称之为爆炸现象。

我们的祖先发明了火药，被广泛地应用到各个领域，为推动世界文明的发展做出了巨大贡献。

二、爆炸的分类

谈到爆炸人们会立即想到炸药，炸药是能够引起爆炸现象的物质之一，但并不是所有爆炸都是由炸药引起的。目前，根据爆炸产生的原因和特点，一般将爆炸分为三类。

1. 物理爆炸

在爆炸前后，仅发生物态的急剧变化，物质的化学成分并未改变，这类爆炸称之为物理爆炸。如蒸气锅炉由于使用和操作的不当，蒸气压力急剧增高引发的锅炉爆炸即属于物理爆炸。蒸气未发生化学反应，只是锅炉承受不住过高的蒸气压力所致。还有汽车超载或路面温度升高，致使汽车轮胎爆炸（爆胎），也属于物理爆炸。物理爆炸在日常生活中也较常见，甚至给生活和生命

安全带来不便和威胁。因此，应当高度重视和注意物理爆炸，以减少损失和伤害。

2. 化学爆炸

即爆炸后与爆炸前相比，不仅物质的物态发生了急剧的变化，而且物质的化学成分也发生了改变，这类爆炸称之为化学爆炸。最常见的化学爆炸有炸药爆炸、瓦斯爆炸和煤尘爆炸等。其爆炸后生成的物质与爆炸前的物质成分完全不同，物态也发生了改变。化学爆炸在日常生产中多用，所以，人们通常指的爆炸多指化学爆炸现象。

3. 核爆炸

即物质的原子核发生裂变或聚变反应时，瞬时产生巨大的能量而形成的爆炸。如原子弹爆炸、氢弹爆炸等。核爆炸产生的能量巨大，如何和平利用核能是当今世界的重大课题，世界也在向这方面努力，努力使核能造福于人类和世界。

三、炸药爆炸的三要素

炸药的爆炸实质上是其发生急剧化学反应的过程及结果。当炸药爆炸时，放出大量的热，并生成大量的气体，而且化学反应速度快，这三者是化学爆炸即炸药爆炸的必要条件，即称炸药爆炸的三要素。

1. 放出大量热

炸药爆炸过程放出大量热能是对周围介质做功的能源。放热量小或吸热反应的物质，都不能维持反应自动传播，发生爆炸。这是炸药爆炸的首要条件。

2. 化学反应速度快

反应过程仅仅放出大量热还不足以形成爆炸。例如，1 kg 煤燃烧可以放出比 1 kg 炸药爆炸时放出的热量大，但并不能形成爆炸。只有反应速度极快，反应过程中气体来不及膨胀，放出的热量才能集中，形成高温（2 000 ℃ ~ 3 000 ℃）和高压（达数万 MPa）的反应对周围介质做功。

3. 生成大量气体

爆炸后生成的气体是做功的介质，反应生成大量的气体，而且气体在高温高压状态下迅速膨胀对外做功。

以上三要素是相互联系的，放出的热使温度上升，促使反应加快。而反过来高速反应又促使产生大量的气体和放出热量，气体的压力和温度急剧上升。所以高温、高压、高速是炸药爆炸的重要特点。

第二节 炸药起爆与传爆

一、炸药的反应形式

由于炸药的化学反应速度、激发条件、炸药性质和其他因素的不同，其反应的形式也各异。目前一般分为四种形式，即热分解、燃烧、爆炸和爆轰。

1. 热分解

热分解是炸药缓慢进行的化学变化过程。炸药在常温下也可进行分解，但反应过程中不产生火、光和声响，因此不易被觉察，对外界也没有破坏作用。分解的速度主要取决于周围环境温度，温度越高分解就越快。当温度达到炸药的爆发点时，热分解就转化，致使炸药燃烧和爆炸。不同的炸药，热分解的速度也不同。炸药热分解反应的快与慢，反映出该种炸药的热安定性。因此，在炸药生产过程和运输以及贮存时要特别注意控制周围的热度、湿度和压力等条件，防止发生自燃、自爆等事故，确保安全。

2. 燃烧

燃烧是炸药在热源或火焰作用下引起的化学反应过程。此反应只在反应区进行，反应区内外的炸药温度、反应速度则明显不同。燃烧速度的大小受外界条件的影响，特别是受压力的影响较大。因此，贮存炸药时要特别考虑到热分解，注意改善通风条件，防止炸药在密闭条件下燃烧。一旦炸药着火，切不可用砂土

掩盖。因为炸药本身含有氧化剂，俗称自带氧，不需要空气中的氧就能燃烧。并且含有可燃物，密闭反而导致压力升高，促使燃烧加快，甚至会引起爆炸。

3. 爆炸

炸药爆炸和燃烧相类似，其化学反应区也只在局部区域内进行。它和燃烧的主要区别是：燃烧靠热传导来传递能量和激起化学反应，而爆炸是靠瞬间产生的冲击波的作用来传递和激发化学反应；燃烧受环境影响较大，爆炸则基本上不受环境的影响；爆炸反应比燃烧更为激烈；燃烧产物的运动方向与反应区传播方向相反，而爆炸产物的运动方向则与反应区传播方向相同，因此爆炸可以产生很大的压力。

4. 爆轰

爆炸和爆轰没有本质的区别。爆炸时反应速度是变化的，而爆轰时反应速度是恒定的，二者的反应速度一般在 $2\,000\text{ m/s} \sim 8\,000\text{ m/s}$ 。爆轰是炸药爆炸的良好状态和形式。

炸药的以上几种反应形式之间有着密切关系，在一定条件下可以相互转化。燃烧着的炸药在密闭状态下可以转化为爆炸；在起爆良好条件下弱性炸药可以转化为爆轰；炸药变质受潮又可能由爆炸转变为燃烧，这不仅可以放出更多的有毒气体，而且对于含有瓦斯、煤尘的矿井更易引发事故。因此我们必须创造良好的条件，使炸药爆炸反应处于稳定爆轰状态，以取得良好的爆破效果，达到安全生产的目的。

二、炸药爆炸的稳定传播及其影响因素

爆轰是炸药在瞬间发生化学反应的一种特定形式，其实质是爆轰波在炸药中的传播。

1. 冲击波

冲击波是炸药爆炸后在介质中产生的传播速度高于介质声速的一种压缩波，其波阵面有陡峭的前沿，介质压力在波阵面发生突跃上升。经长距离传播后，压力逐渐趋于平缓。

冲击波具有以下基本性质：

(1) 冲击波以脉冲形式传播，不具有周期性，其波阵面上介质状态参数呈突跃式升到最高值；

(2) 冲击波引起介质质点移动的方向与波的传播方向一致，其速度小于波速；

(3) 冲击波波速大于未扰动介质中的音速；

(4) 冲击波的波速与波的强度有关。

2. 爆轰波

爆轰波是在炸药中传播的、带有化学反应区的冲击波，爆轰波是爆轰作用的激发源。

炸药被引爆后，首先在局部发生爆炸化学反应，产生大量高温、高压和高速的气体产物流，形成冲击波。冲击波以高温、高压、高速、高密度等状态传播能量，强烈冲击波压缩邻近炸药薄层，使其密度、温度和压力突跃升高，使炸药分子活化而产生迅速的化学反应，生成大量爆炸气体产物和热量。化学反应释放的一部分能量用来补充冲击波传播时的能量消耗，使冲击波能维持以一定速度和波阵面压力向前传播。波阵面之后紧跟着有一个炸药反应区以同等速度向前传播，这种伴随发生化学反应，在炸药中传播的特殊形式的冲击波即爆轰波。爆轰波传播过程称为爆轰过程。

爆轰波的传播速度称为爆速。爆速是爆轰波的一个重要参数，也是衡量炸药的重要指标，它的变化直接反映了化学反应区释放出能量的大小和爆轰波的传播状态。

3. 影响爆轰稳定传播的因素

在炸药的实际爆轰过程中，由于不同因素的影响，常使爆轰不能理想进行，甚至可能会使爆速降低直至爆炸中止，从而达不到预期的爆破任务，降低了爆破效率。影响爆轰稳定传播的因素主要有以下几方面：

(1) 起爆能的大小。炸药起爆后，并不是一开始就达到了稳

定传爆状态，通常都要有一段加速过程。起爆能越小，炸药的敏感性越低，这段过程就越长。如果再有其他不利因素影响，就可能不起爆或中途停止爆轰。

(2) 装药密度。密度增加，则爆轰压力也增高。因此，加大密度能使爆轰更加稳定。对单质炸药来说确实如此，但混合炸药则常有一个最佳密度，超过之后爆速则要降低。原因是因为混合炸药中多含有大量比较钝感的成分，密度加大后需要的起爆能也急剧增大，原用的起爆器材的能量就可能不足，因而产生不爆或熄爆。

与最大爆速相对应的装药密度称为极限密度。同一种炸药的极限密度并不是一个定值，它随炸药颗粒大小及级配、混合均匀程度、含水率大小、药包直径及外壳约束条件等因素的变化而变化。

(3) 药卷直径。炸药爆轰所产生的能量并未全部用于传爆，有一部分分散到药卷周围产生空气冲击波或应力波。药卷直径越小，分散出去的这部分能量所占比例就越大。因此，当药卷直径小到一定程度，就完全不能传爆，这时的直径称为临界直径。将药卷直径自临界直径逐渐增大，爆速也逐渐提高，最后达到了稳定值。此后，药卷直径再增大，爆速也不会再提高，这时的直径称为极限直径。一些猛炸药的临界直径可能仅为数毫米。硝酸类炸药随其成分不同临界直径也有差别，一般认为小于 25 mm 爆速就降低很快，可能传爆不良。但现用 32 mm 或 35 mm 药卷，远远未达到它的极限直径，所以增大药卷直径能使爆速提高，爆炸性能更良好些。

(4) 其他因素。其他诸如药包外壳的强度，塞填的质量以及炸药的粒度、是否变质等，也都对炸药能否稳定爆轰有明显影响。

4. 间隙效应

一些矿区在进行深孔爆破时，在药卷较多时常不能全部传

爆，总要留下一些残药。经试验发现在药卷与孔壁之间存在一定间隙，特别是间隙较大时，常发生传爆不好现象，这一现象称为间隙效应。它直接影响爆破效果。解决办法为减小间隙，加大药卷直径，减小炮眼直径或采用塑性炸药。还可以改变间隙性质，采用高威力炸药，改变雷管位置等方法解决。

三、炸药的感度

炸药起爆的难易程度叫作敏感度，习惯称之为感度。各种炸药的感度相差非常大，例如半冻结的硝化甘油胶质炸药只要轻轻弯折一下就会爆炸；而对硝酸铵炸药施加冲击、摩擦、点火则几乎都不能使它发生爆炸。炸药的感度大小，取决于它的化学组成和物理状态。如果炸药的感度过高，就会给生产、贮存、运输和使用带来危险。如果使用炸药的感度过低，则会给爆破造成困难。因此，炸药的感度高低对生产、贮存、运输和使用具有重要意义，对安全更加重要。炸药的感度有热感度、机械感度和爆轰感度等。

1. 热感度

热感度是炸药在热能作用下发生爆炸、燃烧或分解的难易程度。通常分为火焰感度、热安定度和爆发点检验三项。

火焰感度的检测是将 0.05 g 炸药试样用导火索点燃，记录能起爆时导火索端部与试样的距离，作为火焰感度的数据。

热安定度的检测是将炸药试样在 75℃ 条件下加热 48 h，称量其失重的百分数，并与质量可靠的炸药的失重百分数作对比。

2. 机械感度

机械感度是炸药对冲击、摩擦、挤压、针刺等机械作用的敏感程度，其中最主要的是冲击感度。

3. 爆轰感度

爆轰感度是指炸药对别的炸药爆炸时所产生的爆轰冲击的敏感程度。单质炸药通常用起爆它所需的最小起爆药量来表示。硝酸铵类炸药则多用殉爆距离表示其爆轰感度。

殉爆是装有雷管的主炸药包爆炸时,能使相隔一定距离的另一同种药包也爆炸的现象。它不仅是检验硝铵类炸药质量的重要指标,也是设计炸药厂、炸药库安全距离的主要依据。

殉爆距离是能引起被动药包百分之百殉爆的两个装药间的最大距离。而百分之百不能引起被动装药殉爆的两个装药之间的最小距离叫做殉爆安全距离。其测定方法如图 1—1 所示。

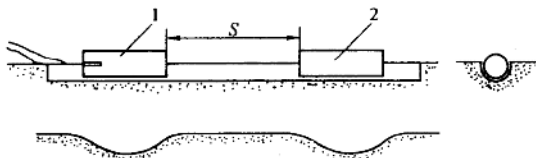


图 1—1 殉爆距离的测定

1—主发药包; 2—殉爆药包; S—殉爆距离

第三节 炸药爆炸参数与性能

一、炸药爆炸的热力学参数

炸药爆炸参数主要是指爆热、爆温、爆容和爆压。

1. 爆热

炸药爆炸反应所生成的热量称为爆热。它是爆炸气体膨胀做功的能源,是一个重要的爆炸参数。

在工程中,爆热是指 1 kg 炸药爆炸所产生的热量,计算单位一般用 kJ/kg。

爆热越大,表示炸药对外做功的能力也越大。单位体积的炸药爆热比单位容积的燃料与氧混合物燃烧热高出百倍以上,也就是说,炸药比燃料的能量密度高得多,能量密度越大,对周围介质的破坏作用也越大。

2. 爆温

炸药爆炸瞬时将爆炸产物加热达到的最高温度为爆温。单位常用摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$) 表示。矿用炸药的爆温一般为 $2\,000\,^{\circ}\text{C} \sim 2\,500\,^{\circ}\text{C}$ ，而单质炸药的爆温可达 $3\,000\,^{\circ}\text{C} \sim 5\,000\,^{\circ}\text{C}$ 。

爆温是炸药爆炸的另一个重要参数，一般情况下，炸药的爆温越高，气体产物的压力越大，对外做功的能力也就越大。

在工程爆破中，常根据条件和环境需要改善或调整炸药的爆温，以满足工程和安全需要。

为了提高爆温，可以将铝、镁等金属粉末加入炸药中，即可达到目的。

在煤矿井下，常因瓦斯和煤尘的存在而需要降低炸药的爆温，确保安全生产。常采用加入附加物的方法，如加入硫酸盐、无机硝酸盐等物，改变氧和可燃元素之间的比例，减少产物生成热。而有的附加物如氯化钠并不参加爆炸反应，也可降低爆温，因此煤矿许用炸药中常有氯化钠掺入。

3. 爆容

爆容又称比容，即单位质量的炸药爆炸时所产生的气体产物，在标准状态下，即 $0.1\,\text{MPa}$ 、 $0\,^{\circ}\text{C}$ 条件下所占的体积称为爆容或比容。单位是 L/kg 。可用爆生气体的摩尔数乘以 $22.4\,\text{L}$ 计算。爆容越大，炸药的做功能力越大。

4. 爆压

爆炸产物在瞬间充满装药空间达到的压力称为爆炸压力，简称爆压。单位为 MPa 。爆炸过程中爆炸产物内的压力是不断变化的，爆压是指爆轰波前沿具有的压力。

二、炸药的爆炸作用

炸药的威力是指炸药做有效功的能力，常以其动、静作用来描述。

1. 猛度

猛度常指炸药的动作用。炸药的猛度是指爆轰对周围介质的

冲击粉碎能力。我国测量炸药的猛度常用铅柱压缩法，其试验设备及装置如图 1—2 所示。起爆后测量铅柱缩短尺寸作为猛度的数据，单位为 mm。

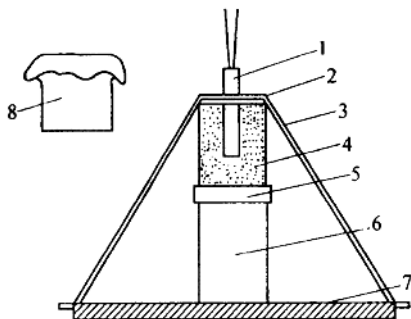


图 1—2 炸药猛度的测定

1—8 号雷管（插入药包深度为 15 mm 左右）；2—纸盖板（纸厚 1.3 mm~2 mm， $\phi 38$ mm~39 mm，中央留孔 $\phi 7.5$ mm）；3—系绳（固定用）；4—药包（纸筒 $\phi 40$ mm，纸厚 0.2 mm，内装 50 g 待测炸药，装药密度与药卷同）；5—铜片（ $\phi 41$ mm，厚 10 mm，光洁度 $\nabla 6$ ）；6—铅柱（ $\phi 40$ mm，高 60 mm，光洁度 $\nabla 4$ ，要求端面平行）；7—钢座（厚 20 mm，短边长 > 200 mm，正面 $\nabla 4$ ）；8—爆炸后被压缩的铅柱

2. 爆力

爆力常指炸药的静作用。爆力是指炸药爆轰后对周围介质做功的能力。我国常用铅铸扩孔法来测量爆力，试验装备如图 1—3 所示。可用量筒向内注水测得梨形容积，从中减去原孔眼体积和雷管扩孔体积，即炸药的爆力数据，单位为 mL。

我国常把爆速小于 3 000 m/s，猛度小于 10 mm 的炸药列为低威力炸药；爆速大于 4 000 m/s，猛度大于 16 mm 的炸药列为高威力炸药；介于二者之间的列为中等威力炸药。

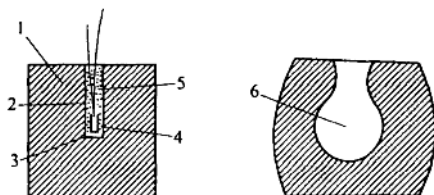


图 1—3 炸药爆力的测定

- 1—铅铸 (φ200 mm、高 200 mm 精铅铸制); 2—孔眼 (φ25 mm、深 15 mm); 3—炸药 (重 10 g, 装入 φ24 mm 的锡箔筒内); 4—雷管 (8 号); 5—石英砂 (144 孔/cm² 筛下砂); 6—起爆后铅铸被扩大的形状

第四节 爆破破岩机理

一、岩石工程分级

岩石工程分级方法很多, 目前国内外多用的仍然是普氏分级法。前苏联学者 M.M. 普罗托奇雅可诺夫于 1926 年提出“坚固性”这一概念作为岩石工程分级的依据。坚固性不同于强度, 它表示岩石在各种作业及地压等外力作用下破坏的相对难易程度。普氏认为: 岩石的坚固性在各方面的表现是趋于一致的, 难破碎的岩石用各种方法都难于破碎, 容易破碎的岩石用各种方法都易于破碎。因此, 他建议用一个综合性指标“坚固性系数 f ”来表示岩石被破坏的相对难易程度。通常称 f 为普氏岩石坚固性系数, 简称普氏系数。

f 值的求法, 是用岩石的单向抗压强度 R (kg/cm²) 除以 100 (kg/cm²) 即

$$f = R/100 \quad (1-1)$$

f 为无量纲量, 根据 f 值的大小, 将岩石分为十级十五种,