



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114347591 A

(43) 申请公布日 2022.04.15

(21) 申请号 202210106056.X

(22) 申请日 2022.01.28

(71) 申请人 河北工业大学

地址 300130 天津市红桥区丁字沽光荣道8号河北工业大学东院330#

(72) 发明人 刘雄飞 和西民

(74) 专利代理机构 天津翰林知识产权代理事务所(普通合伙) 12210

代理人 付长杰

(51) Int. Cl.

B32B 15/20 (2006.01)

B32B 7/12 (2006.01)

B32B 33/00 (2006.01)

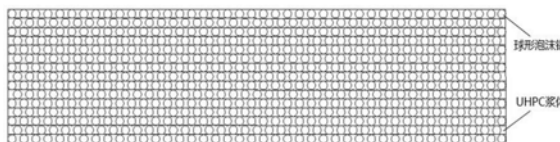
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种UHPC/泡沫铝抗爆复合结构及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种UHPC/泡沫铝抗爆复合结构及其制备方法,属于结构防护技术领域。抗爆复合结构使用尺寸为10mm-12mm的球形或不规则泡沫铝作为粗骨料,以水泥、硅灰、矿渣、砂、钢纤维等原材料,制备超高性能水泥基复合泡沫铝材料。此抗爆复合结构主要作用是抵抗冲击波联合载荷作用造成的破坏深度,且由于轻质高强、优异压缩吸能特性泡沫铝的存在,可以使冲击波侵入过程中的弹体发生断裂、偏转或变形失效,且在爆炸破坏过程中有利于冲击波的反射,大幅度降低爆炸冲击波所造成的破坏深度。解决了目前功能梯度抗爆复合面板韧性差、自重大、吸能效果差等一系列问题。



1. 一种UHPC/泡沫铝抗爆复合结构,包括UHPC和泡沫铝,其特征在于,所述复合结构的总厚度 $\leq 150\text{mm}$ ,每一层厚度 $\leq 15\text{mm}$ ,每层中泡沫铝沿复合结构长度方向间隔布置,所有泡沫铝的外接直径相同,采用分层浇筑的方式铺一层泡沫铝再浇筑UHPC,UHPC作为一种超高性能水泥基复合材料浆体填充在泡沫铝之间的空隙中,所用泡沫铝作为粗骨料加入UHPC中。

2. 根据权利要求1所述的UHPC/泡沫铝抗爆复合结构,其特征在于,相邻层之间涂覆有硅烷偶联剂溶液。

3. 根据权利要求1所述的UHPC/泡沫铝抗爆复合结构,其特征在于,所述硅烷偶联剂溶液是在去离子水中加入乙醇,搅拌均匀后再加入乙酸,调节pH值在3-5之间,然后加入硅烷偶联剂,硅烷偶联剂质量浓度控制在0.5%-1.5%之间。

4. 根据权利要求1所述的UHPC/泡沫铝抗爆复合结构,其特征在于,复合结构共有十五层,按照沿冲击波入射方向分成三部分,第一部分为1~5层,1~5层中每层的泡沫铝沿复合结构长度方向的间隔为2~5mm;第二部分为6~10层,这6~10层沿冲击波入射方向分别按照泡沫铝沿复合结构长度方向的间隔13-15mm、11-13mm、9-11mm、7-9mm、5-7mm呈梯度排布;第三部分为11~15层,沿复合结构长度方向按照密集排布的形式分层布设。

5. 根据权利要求2所述的UHPC/泡沫铝抗爆复合结构,其特征在于,复合结构每层厚度为10-15mm;1~10层中相邻两层的泡沫铝交错布置,泡沫铝密度沿冲击波入射方向呈降低趋势,所需泡沫铝形状为球形、五边形、六边形、五角星或具有明显不规则棱角的形状,在第三部分中进行密集排布时相邻两个泡沫铝之间的界面没有完全重合,只有部分点接触或者局部面接触,使得能在相邻泡沫铝之间的不重合区域消耗冲击波,不规则形状的外接圆直径为10-12mm。

6. 根据权利要求1所述的UHPC/泡沫铝抗爆复合结构,其特征在于,所述UHPC抗压强度不低于130MPa,抗弯强度不低于40MPa,抗拉强度不低于10MPa;所述泡沫铝密度范围为 $0.20\text{-}0.70\text{g/cm}^3$ ,抗压强度为3-17MPa,抗弯强度3-15MPa,抗拉强度2-7MPa。所述泡沫铝除沿冲击波入射方向的首层外每两层为一个单元,且每个单元密度由底至顶范围为 $0.25\text{-}0.31\text{g/cm}^3$ 、 $0.32\text{-}0.36\text{g/cm}^3$ 、 $0.37\text{-}0.42\text{g/cm}^3$ 、 $0.43\text{-}0.48\text{g/cm}^3$ 、 $0.49\text{-}0.53\text{g/cm}^3$ 、 $0.54\text{-}0.58\text{g/cm}^3$ 、 $0.59\text{-}0.64\text{g/cm}^3$ 、 $0.65\text{-}0.70\text{g/cm}^3$ 。

7. 根据权利要求1所述的UHPC/泡沫铝抗爆复合结构,其特征在于,所述UHPC中水与(P. II 52.5普通硅酸盐水泥+粉煤灰+硅灰)之间的比值为0.15-0.20。

8. 根据权利要求1所述的UHPC/泡沫铝抗爆复合结构,其特征在于,该复合结构能抵御子弹直径(炮弹口径)在5.3~57mm之间,所施加的荷载应变率 $10^3\text{-}10^5\text{s}^{-1}$ 的冲击。

9. 根据权利要求1所述的UHPC/泡沫铝抗爆复合结构,其特征在于,所述抗爆复合结构能用于防御爆距小于0.4m、TNT爆距大于1kg的情况,甚至能抵抗接触式爆炸,接触式爆炸TNT当量在0.4~1.6kg之间;在抗侵彻领域,适合小于1m的近距离多次冲击。

10. 一种UHPC/泡沫铝抗爆复合结构的制备方法,其特征在于,该方法在制作时,先铺一层薄薄的UHPC基底,基底厚度为2-3mm,不算总层数,然后在UHPC基底上均匀涂抹硅烷偶联剂溶液,之后将泡沫铝按照规则排布好当前层,然后浇筑UHPC,将泡沫铝完全包裹,控制在层厚在15mm以内,形成一个平整表面,再涂抹硅烷偶联剂溶液,再在当前位置分布泡沫铝,再浇筑UHPC,重复上述过程,至达到设计的层数要求,形成抗爆复合结构。

## 一种UHPC/泡沫铝抗爆复合结构及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及超高性能混凝土抗爆复合结构,具体涉及一种UHPC/泡沫铝抗爆复合结构及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 随着人口的逐渐增加,人们对逐渐匮乏的资源争夺愈演愈烈,大规模战争爆发的风险也就随之增加。为了保障人们的生命安全和财产安全,降低突发事件的危害,如何提高防护工程及民用建筑的抗侵彻和抗爆炸能力,如何优化防护结构,已成为目前亟待解决的问题。

[0003] 近年来,人们在生产、生活中认识到泡沫混凝土、泡沫铝材料、EPS(聚苯乙烯泡沫塑料)混凝土等软材料能够有效的吸收爆炸冲击波,可以用来提高结构的抗爆性能,但单一的使用软材料很难满足隧道衬砌结构的强度设计要求,而采用复合抗爆结构却能有效解决此类问题。

[0004] 公开号为CN112878585A的中国发明专利公开了一种高抗爆高强泡沫铝-钢管混凝土复合柱及其制备方法,该结构为一种柱状结构,由内至外依次设置的混凝土、钢管、泡沫铝、环氧树脂胶粘剂和不锈钢外保护层,不能用作民用建筑墙体使用。

[0005] 本申请结合目前研究所存在的问题,自重大,密集排布陶瓷球等无法实现最优抗侵彻性能,吸能效果差等一系列问题,提出了一种与同等混凝土抗爆面板相比自重轻,抗爆性能好,吸能效果好的面板结构,即本发明公开的一种UHPC/泡沫铝抗爆复合结构。

### 发明内容

[0006] 为了解决现有技术上抗爆复合面板结构韧性不足、自重较大、吸能效果差等一系列问题,本发明提供一种UHPC/泡沫铝抗爆复合结构。

[0007] 本发明解决上述问题采用以下技术方案:

[0008] 一种UHPC/泡沫铝抗爆复合结构,包括UHPC和泡沫铝,其特征在于,所述复合结构的总厚度 $\leq 150\text{mm}$ ,每一层厚度 $\leq 15\text{mm}$ ,每层中泡沫铝沿复合结构长度方向间隔布置,所有泡沫铝的外接直径相同,采用分层浇筑的方式铺一层泡沫铝再浇筑UHPC,UHPC作为一种超高性能水泥基复合材料浆体填充在泡沫铝之间的空隙中,所用泡沫铝作为粗骨料加入UHPC中。

[0009] 相邻层之间涂覆有硅烷偶联剂溶液。

[0010] 复合结构共有十五层,按照沿冲击波入射方向分成三部分,第一部分为1~5层,1~5层中每层的泡沫铝沿复合结构长度方向的间隔为2~5mm;第二部分为6~10层,这6~10层沿冲击波入射方向分别按照泡沫铝沿复合结构长度方向的间隔13-15mm、11-13mm、9-11mm、7-9mm、5-7mm呈梯度排布;第三部分为11~15层,沿复合结构长度方向按照密集排布的形式分层布设。

[0011] 优选,复合结构每层厚度为10-15mm。按照上述的排布方式预先放置泡沫铝进行分

层布设,然后采用层层浇筑方式进行浇筑,相邻球形泡沫铝之间空隙用UHPC浆体填充,进而组成一种UHPC/泡沫铝抗爆复合结构。1~10层中相邻两层的泡沫铝交错布置,泡沫铝密度沿冲击波入射方向呈降低趋势,所需泡沫铝形状为球形或五边形、六边形、五角星等不规则形状,在第三部分中进行密集排布时相邻两个泡沫铝之间的界面没有完全重合,只有部分点接触或者局部面接触,使得能在相邻泡沫铝之间的不重合区域消耗冲击波,所述不规则形状为类似石子有棱角的不规则形状,不规则形状的外接圆直径为10-12mm,球形泡沫铝的直径范围为10-12mm。

[0012] 所述UHPC抗压强度不低于130MPa,抗弯强度不低于40MPa,抗拉强度不低于10MPa,所述UHPC作为一种超高性能水泥基复合材料浆体填充在每层的泡沫铝之间的空隙中,然后在浇筑后的每层UHPC表面均匀涂抹硅烷偶联剂溶液,在相邻两层间隔排布较多泡沫铝的前提下提高混凝土界面的粘结性能。所述硅烷偶联剂溶液是在去离子水中一定量的乙醇,搅拌均匀后加入乙酸,调节PH值在3-5之间,然后加入硅烷偶联剂,浓度在0.5%-1.5%之间。

[0013] 所述泡沫铝密度范围为 $0.20-0.70\text{g}/\text{cm}^3$ ,抗压强度为3-17MPa,抗弯强度3-15MPa,抗拉强度2-7MPa。所述泡沫铝每两层为一个单元,遇层数为奇数时最后一层单独作为一个单元,相邻单元之间密度差越大越好,优选地,每个单元密度范围为 $0.25-0.31\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $0.32-0.36\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $0.37-0.42\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $0.43-0.48\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $0.49-0.53\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $0.54-0.58\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $0.59-0.64\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $0.65-0.70\text{g}/\text{cm}^3$ 。本发明所述泡沫铝为闭孔泡沫铝,冲击波在多孔低阻抗材料表面会发生反射现象,从而会耗散一部分冲击波能量,从而减小冲击破坏深度,所述抗爆复合结构能够靠泡沫铝来反射冲击波而非抵抗载荷。

[0014] 本申请充分需要考虑了UHPC与泡沫铝之间、相邻两层的UHPC之间的界面粘结性,在每层浇筑的UHPC基体上均匀涂抹一层硅烷偶联剂溶液,该溶液可以提高两者之间的界面粘结性能,进而提高结构的整体性,为一种具有高抗爆性能的复合结构。

[0015] 由于本发明采用以上技术方案,因此具有以下优点:

[0016] 1. 本发明能根据不同的军事环境给出一种通用的、适合多次冲击的混凝土抗爆复合结构,在每层泡沫铝的间距布置和泡沫铝的密度设置上都采用局部梯度的方式,如粗骨料按照沿冲击波入射方向1~5层沿长度方向每隔2-5mm排布;6~10层中每一层沿长度方向从冲击波入射角度分别按照13-15mm、11-13mm、9-11mm、7-9mm、5-7mm呈梯度排布;11~15层沿长度方向按照密集排布的形式布置,分层布设进行预先放置。这种布置方式获得的复合结构可以适应于不同大小、形状的弹体口径及不同的作战环境要求,使子弹在面板内部穿透行为更为复杂,且消耗更多的冲击波动能,在抗侵彻领域,可以借助UHPC基体及硅烷偶联剂溶液对泡沫铝的约束作用,充分发挥泡沫铝的压缩吸能特性。在抗爆防护领域,同一层泡沫铝借助UHPC及硅烷偶联剂溶液的约束作用可以充分发挥泡沫铝的压缩性能及吸能特性,沿高度方向相邻两层泡沫铝连接界面处在爆炸冲击波作用下会发生错动、破碎等现象,这也会进一步耗散冲击波能量。此外,还考虑了6~10层泡沫铝之间距离成梯度分布,这进一步使得冲击波传播路线更为复杂,若出现冲击波贯穿十层的情况,其残余能量由11~15层密集排布泡沫铝及UHPC完全吸收,从而达到一种层层抗爆的高抗爆防护的效果。

[0017] 2. 本发明以UHPC复合不同密度泡沫铝组成梯度抗爆复合面板结构,UHPC基体对泡沫铝起到环向约束作用,借助泡沫铝超高压缩性能与冲击韧性增加了冲击波与碎片驻留时间,延缓了底层UHPC及球形泡沫铝破碎失效的时间,提高了复合结构整体抗爆性能。

[0018] 3.与普通水泥基材料相比,UHPC具有超高强、高韧性、优异耐久性特性,其抗压强度大于130MPa的高延性(拉伸状态下开裂后的高抗拉强度)混凝土,其较低的脆性(较低的脆性指的是抗折强度,而普通混凝土抗折强度在5MPa左右。)使得设计和制造无需配置钢筋的结构或构件成为可能,且具有更好的抗压性能、抗拉性能、抗折性能及抗冲击抗爆性能。由于其低水胶比,(水胶比指的是水与(P. II 52.5普通硅酸盐水泥+粉煤灰+硅灰)之间的比值,本申请中低水胶比一般为0.15-0.20,而普通混凝土水胶比一般在0.35-0.60之间)微裂纹效应和自修复效应,使其具有良好的耐久性。

[0019] 4.有别于传统的混凝土面板,球形泡沫铝间隔排列方式在爆炸冲击波作用下,泡沫铝表面产生的裂纹不会延伸至相邻的泡沫铝,这进一步阻碍了冲击波的传播。且通过按照一定距离均匀排布泡沫铝,且厚度方向沿上一层泡沫铝间隙位置布置泡沫铝,它们之间存在的天然空隙会使冲击波传播变得更为复杂,且冲击波会在低阻抗材料表面会发生多次反射,这会进一步耗散冲击波能量,避免了像普通混凝土面板整体失效,提高了面板结构的整体性。

[0020] 5.与目前混凝土抗爆复合面板(普通混凝土面板/泡沫点阵结构、纤维网格布、钢管/普通混凝土面板)相比,通过加入低密度、多孔的泡沫铝材料进一步减轻了结构自重,降低了施工成本。且在爆炸程度相同时,相比于普通混凝土面板,UHPC面板的层裂破坏程度更轻,背爆面表面裂纹相比普通混凝土更少,更轻且大尺寸裂缝数量更少。

[0021] 6.添加硅烷偶联剂溶液是为了增强界面粘结性能,因为混凝土在凝结硬化过程中,由于各种因素的影响,可能会形成较多孔隙,且与泡沫铝之间粘结不牢固,通过加入硅烷偶联剂溶液可以均匀渗透到气孔内部,使混凝土与泡沫铝之间的粘结更加牢固,进一步约束了泡沫铝的位移,提高了面板结构的抗爆性能。

[0022] 7.本发明创造性的以球形泡沫铝或不规则形泡沫铝作为一种粗骨料加入UHPC中组成梯度抗爆复合面板结构,极大的提高了面板结构的抗爆性能。作为粗骨料的泡沫铝,由于UHPC的环向约束作用会充分发挥其超高压缩特性与吸能能力,且进一步借助泡沫铝密度梯度的设计逐步耗散冲击波动能;另一方面,泡沫铝粉碎的同时进一步耗散冲击波能量。泡沫铝作为一种多孔低阻抗材料,在高速冲击过程中,泡沫铝通过自身胞孔变形以及粉碎会进一步耗散爆炸冲击波。相邻两层泡沫铝之间由于天然界面的存在,在爆炸冲击波作用下发生位移时会进一步耗散冲击波动能。

[0023] 8.结果发现,在冲击波能量较大时,纤维层和TC4背面会提前出现损伤,降低了整体材料的防护性能,在提升抗侵彻性能的前提下,显著降低了复合结构的质量,满足轻量化要求,在抗侵彻载荷作用下复合结构整体发挥作用,使泡沫铝结构最大利益化,减少成本。所述抗爆复合面板结构可以防御爆距小于0.4m,TNT爆距大于1kg的情况,甚至可以抵抗接触式爆炸,接触式爆炸TNT当量在0.4~1.6kg之间;在抗侵彻领域,适合近距离(小于1m)多次冲击。

## 附图说明

[0024] 图1为一种UHPC/泡沫铝抗爆复合结构示意图。

[0025] 图2子弹在UHPC内部的侵彻深度-时程曲线。

[0026] 图3弹体的剩余速度-时程曲线。

## 具体实施方式

[0027] 下面结合附图及实施例对本发明UHPC/泡沫铝抗爆复合结构做更详细的说明,但并以此作为对本申请保护范围的限定。

[0028] 本申请的核心创新点在于结合冲击波传播理论,即冲击波在传播过程中会在轻质低阻抗材料表面发生反射,且对于不规则排布方式(不规则排布方式指的是按照间隔尺寸、密度梯度分布的排列方式)会使得冲击波传播过程更为复杂这一理念设计了一种UHPC/泡沫铝抗爆复合面板结构。且在层与层之间添加了界面粘结剂,增强了面板的界面粘结性能,进而提高面板结构的整体性。

[0029] 本申请复合结构制作时,预先涂抹一层UHPC浆体,作为基底,基底厚度约为2~3mm,不算总层数,然后在UHPC基底上均匀涂抹硅烷偶联剂溶液,之后将泡沫铝按照规则排布好当前层,然后浇筑UHPC,将泡沫铝完全包裹,控制在层厚在15mm以内,形成一个平整表面,再涂抹硅烷偶联剂溶液,再在当前位置分布泡沫铝,再浇筑UHPC,重复上述过程,至达到设计的层数要求,形成抗爆复合结构。此外,本申请还考虑了密度梯度的排布方式,按照由冲击波入射方向密度以此降低(沿冲击波入射方向密度呈降低趋势、泡沫铝间的尺寸呈梯度分布)的思想进行设计,达到逐步耗散爆炸冲击波的目的。

[0030] 本申请结合UHPC优异高压缩特性及高抗侵彻性能及泡沫铝优异吸能特性,通过改变泡沫铝的排布方式,使冲击波的传播方式更为复杂,进而可以耗散更多的爆炸冲击波能量。

[0031] 本申请的复合结构可以做成预制板,根据实际要求做成任意形状,如长方形、正方形,方便后期施工。此抗爆复合结构主要作用是抵抗冲击波联合载荷作用造成的破坏深度,且由于轻质高强、优异压缩吸能特性泡沫铝的存在,可以使冲击波侵彻过程中的弹体发生断裂、偏转或变形失效,且在爆炸破坏过程中有利于冲击波的反射,大幅度降低爆炸冲击波所造成的破坏深度。解决了目前功能梯度抗爆复合面板韧性差、自重大、吸能效果差等一系列问题。

[0032] 为研究UHPC复合泡沫铝抗爆结构的整体性能,开展了以下试验:

[0033] 本实施例中复合结构共有十五层,按照沿冲击波入射方向分成三部分,第一部分为1~5层,1~5层中每层的泡沫铝沿复合结构长度方向的间隔为3mm;第二部分为6~10层,这6~10层沿冲击波入射方向分别按照泡沫铝沿复合结构长度方向的间隔14mm、12mm、10mm、8mm、6mm呈梯度排布;第三部分为11~15层,沿复合结构长度方向按照密集排布的形式分层布设。

[0034] 第一部分构成前面板,第三部分构成后面板,泡沫铝为球形泡沫铝,所述泡沫铝密度范围为 $0.27-0.69\text{g}/\text{cm}^3$ ,抗压强度为3-17MPa,抗弯强度3-15MPa,抗拉强度2-7MPa。所述泡沫铝每两层为一个单元,遇层数为奇数时最后一层单独作为一个单元,每个单元密度范围为 $0.27\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $0.32\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $0.4\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $0.45\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $0.5\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $0.56\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $0.61\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $0.69\text{g}/\text{cm}^3$ 。

[0035] UHPC以水泥、硅灰、矿渣、砂、钢纤维等原材料,具有低水胶比。

[0036] 试验一为探究本申请抗爆复合结构(记为UHPC复合面板)与普通混凝土面板在爆距0.4m、TNT当量1kg时,前后面板塑性值变化及破坏情况列于表1。

[0037] 表1塑性值变形情况

[0038]	面板形式	前面板 (mm)	后面板 (mm)	破坏模式
	UHPC	17.1	10.1	轻微裂缝
	普通混凝土	贯穿	贯穿	混凝土断裂

[0039] 注:UHPC面板与普通混凝土面板在相同爆距、相同TNT当量情况下,破坏程度远低于普通混凝土,且UHPC面板顶部和底部表面均未出现混凝土剥落或破碎现象,仅观察到0.1mm宽的轻微垂直裂缝,从目视检查和裂缝宽度测量得出的结论是,最大跨中向内和向外挠度测量为分别为17.1和10.1毫米。相反对于普通混凝土面板,观测到混凝土破裂导致面板失效。前表面碾碎混凝土,在跨中垂直形成宽度为100mm、深度为30mm的空腔。测量了142毫米的永久挠度。后表面和前表面的混凝土覆盖层剥落,出现了明显的宽裂缝。

[0040] 试验二为研究UHPC的抗侵彻性能,利用子弹侵彻试验系统对UHPC面板进行研究,并与普通混凝土C40进行了比较。所用的子弹直径(炮弹口径)在5.3~57mm之间,所施加的荷载应变率可达到 $10^3-10^5\text{s}^{-1}$ 。在侵彻试验结束后,记录弹体飞行速度,侵彻深度等参数。图2为子弹在UHPC内部的侵彻深度-时程曲线,图3为弹体的剩余速度-时程曲线,一般情况下,衡量UHPC抗侵彻能力的指标有两个:弹体侵彻深度与弹体在UHPC基体中速度的损失率。试验发现,186MPa的UHPC面板拥有普通混凝土3倍的抗侵彻能力。在相同的侵彻条件下,UHPC面板要比普通混凝土的侵彻深度浅1/5左右。而从弹体的剩余速度-时程曲线结果也表明,子弹穿透UHPC内部的速度损失率要大于穿透普通混凝土的速度损失率,说明本申请的UHPC面板是一种耐冲击、抗侵彻性能好的材料。

[0041] 本发明复合结构与同等条件下芳纶泡沫铝结构相比抗爆效果明显增强。芳纶泡沫铝结构在爆距0.8m,TNT当量1kg下,迎爆面出现较大爆坑,且背爆面出现鼓包现象。而本申请所述抗爆复合面板结构在同等条件下,只在迎爆面出现一条肉眼可见的微小裂缝,背爆面完好无损,没有出现裂缝。

[0042] 本申请所述抗爆复合面板能够防御爆距小于0.4m,TNT当量大于1kg的情况,甚至可以抵抗接触式爆炸,不仅适合近距离场爆炸还能适合远距离场爆炸。

[0043] 本发明未述及之处适用于现有技术。

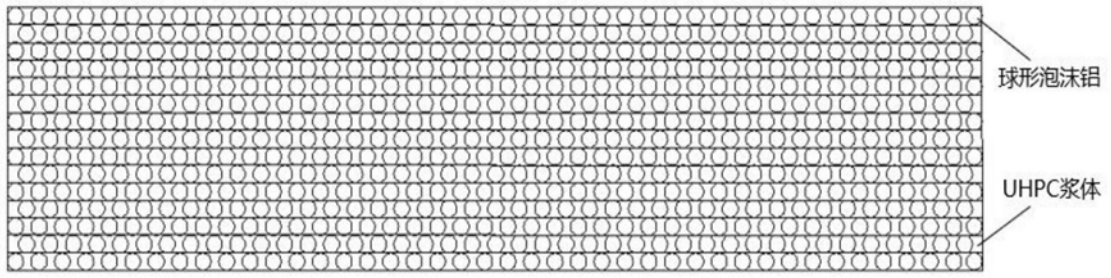


图1

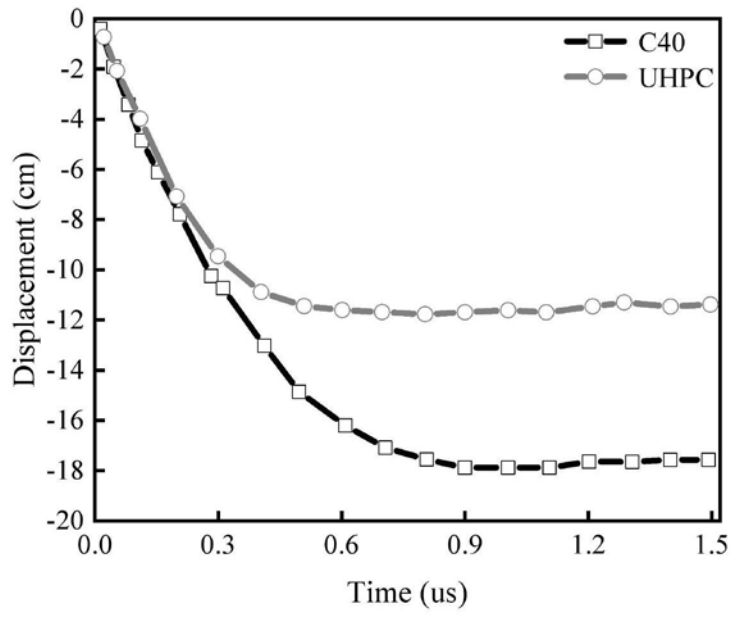


图2



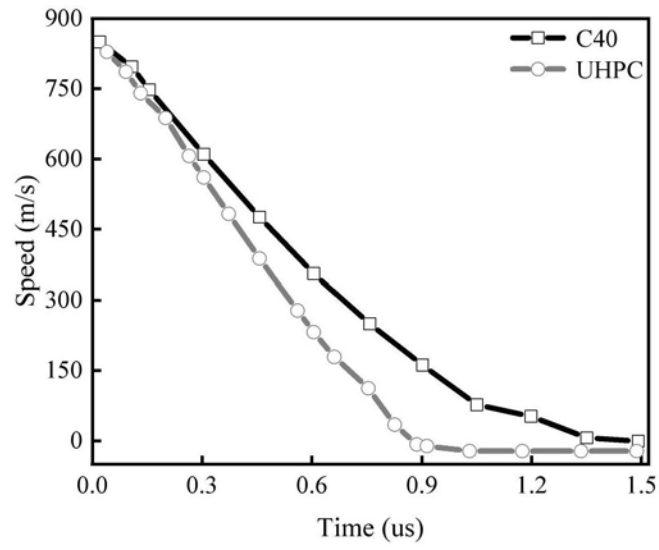


图3