



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101680733 B

(45) 授权公告日 2013. 08. 14

(21) 申请号 200880012703. 9

(22) 申请日 2008. 02. 18

(30) 优先权数据

0703244. 4 2007. 02. 20 GB

(85) PCT申请进入国家阶段日

2009. 10. 19

(86) PCT申请的申请数据

PCT/GB2008/000546 2008. 02. 18

(87) PCT申请的公布数据

W02008/102110 EN 2008. 08. 28

(73) 专利权人 秦内蒂克有限公司

地址 英国伦敦

(72) 发明人 B·布尔内 N·G·克拉克

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 林毅斌 韦欣华

(51) Int. Cl.

F42B 1/032(2006. 01)

(56) 对比文件

US 6494139 B1, 2002. 12. 17, 全文.

CN 1886574 A, 2006. 12. 27, 说明书第3页第5-19行, 第6页第21-31行、附图1.

审查员 刘豫川

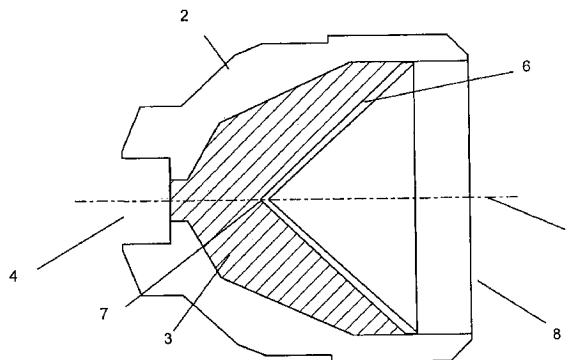
权利要求书2页 说明书10页 附图1页

(54) 发明名称

油井射孔器中以及与油井射孔器相关的改进

(57) 摘要

本发明提供了一种能在引爆后提供放热反应的油气井聚能炸药射孔器, 所述聚能炸药射孔器包含壳体(2)、烈性炸药(3)和反应性衬里(6), 其中所述烈性炸药(3)位于所述反应性衬里(6)和所述壳体(2)之间。所述反应性衬里(6)由能在切削射流的形成过程中支持放热反应的组合物制备。所述组合物可选自任何已知的适用于油气井射孔器中的制剂, 通常所述组合物包含至少两种金属以形成可归类为 Hume-Rothery 电子化合物的金属间化合物和至少一种其他金属, 所述其他金属不能与所述反应性组合物发生放热反应且其存在量高于所述衬里(6)的10%重量/重量。



1. 一种反应性油气井聚能炸药射孔器衬里,所述衬里包含反应性组合物,所述反应性组合物包含至少两种能发生放热反应的金属,其中所述衬里还包含至少一种其他金属,所述其他金属不能与所述至少两种金属发生放热反应且所述其他金属的存在量高于所述衬里的 40%重量 / 重量。

2. 根据权利要求 1 的衬里,其中所述至少一种其他金属选自铜、钨、其混合物或合金。

3. 根据权利要求 1 的衬里,其中所述至少两种金属中的一种来自周期表的 IIIB 族。

4. 根据权利要求 3 的衬里,其中所述至少两种金属中的一种为铝。

5. 根据权利要求 1 的衬里,其中所述至少两种金属中的一种选自周期表的 VIIIA、VIIA 和 IIB 族。

6. 根据权利要求 5 的衬里,其中所述金属选自铁、钴、镍和钯。

7. 根据权利要求 1 的衬里,其中所述至少两种金属为镍和铝。

8. 根据权利要求 1 的衬里,其中所述反应性组合物为两种金属的化学计量组合物。

9. 根据权利要求 1 的衬里,其中所述至少两种金属和所述至少一种其他金属均匀分散而形成混合物。

10. 根据权利要求 1 的衬里,其中所述衬里为压制的颗粒组合物。

11. 根据权利要求 10 的衬里,其中加入粘合剂以帮助固结。

12. 根据权利要求 10 的衬里,其中至少一种所述金属涂有粘合剂以帮助固结。

13. 根据权利要求 11-12 中的任一项的衬里,其中所述粘合剂为无机化合物或聚合物。

14. 根据权利要求 13 的衬里,其中所述粘合剂选自硬脂酸盐、蜡、全氟化聚合物、环氧树脂、硬脂酸锂或硬脂酸锌。

15. 根据权利要求 13 的衬里,其中所述聚合物为高能聚合物。

16. 根据权利要求 11 的衬里,其中所述粘合剂的存在量在 0.1-5%质量范围内。

17. 根据权利要求 1 的衬里,其中所述反应性组合物为颗粒,所述颗粒的直径为 25 μm 或更小。

18. 根据权利要求 17 的衬里,其中所述颗粒的直径为 1 μm 或更小。

19. 根据权利要求 1 的衬里,其中所述反应性组合物的存在量在 5%重量 / 重量到 50%重量 / 重量范围内。

20. 一种油气井聚能炸药射孔器,所述聚能炸药射孔器包含根据前述权利要求 1-19 中的任一项的衬里。

21. 一种射孔枪,所述射孔枪包含一个或多个根据权利要求 20 的射孔器。

22. 一种完成油气井的方法,所述方法使用一个或多个根据权利要求 1-19 中任一项的衬里。

23. 一种完成油气井的方法,所述方法使用一个或多个根据权利要求 20 的聚能炸药射孔器。

24. 一种完成油气井的方法,所述方法使用一个或多个根据权利要求 21 的射孔枪。

25. 根据权利要求 23 或 24 的方法,其中至少两个所述射孔器排列为使切削射流会聚、相交或碰撞。

26. 一种改善流体从油气井流出的方法,所述方法包括使用根据权利要求 1-19 中的任一项的衬里。

27. 根据权利要求 26 的方法,其中所述油气井在基本中性条件下完成。

28. 一种用于实施权利要求 26-27 中的任一项的方法的油气井射孔系统。

29. 根据权利要求 1-19 中的任一项的衬里在增加油气井中的压裂从而改善流体从所述井流出中的用途。

30. 根据权利要求 20 的射孔器在增加油气井中的压裂从而改善流体从所述井流出中的用途。

31. 根据权利要求 1-19 中的任一项的衬里在改善射孔通道的解堵中的用途。

32. 一种改善流体从油气井流出的方法,所述方法包括使用包含反应性组合物的反应性衬里,所述反应性组合物能在所述衬里活化时发生放热反应,其中所述反应性组合物包含至少两种能发生放热反应的金属,且所述反应性组合物还包含至少一种高密度的且不能与所述至少两种金属发生放热反应的其他金属,所述至少一种其他金属与所述反应性组合物形成混合物,其中所述至少一种其他金属的存在量高于所述衬里的 40% 重量 / 重量,所述反应性衬里在操作中能通过相关聚能炸药活化时的放热反应提供热能,其中所述热能被给予所述井的饱和基体。

33. 根据权利要求 32 的方法,所述方法包括使用反应性衬里,所述反应性衬里反应产生温度超过 2000K 的射流以便在使用中所述射流与油气井的所述饱和基体相互作用,从而在逐渐出现的射孔器通道中引起压力的增加。

34. 根据权利要求 32 的方法,其中所述反应性组合物包含至少两种能在操作中在相关聚能炸药活化时发生放热反应的金属。

35. 一种改善流体从油气井流出的方法,所述方法包括使用包含反应性组合物的聚能炸药射孔器衬里,所述反应性组合物包含能发生放热反应的两种金属,第一金属选自 IIIB 族,第二金属选自 VIIIA、VIIA 和 IIB 族中的任一族,其中所述反应性组合物还包含至少一种其他金属,所述至少一种其他金属选自铜或钨或其混合物且其存在量高于所述衬里的 40% 重量 / 重量。

油井射孔器中以及与油井射孔器相关的改进

[0001] 本发明涉及一种用于对地下完井实施射孔和压裂的射孔器的反应性聚能炸药衬里、包含所述衬里的射孔器和射孔枪及使用这类装置的方法。

[0002] 到目前为止，在下套管井中进行完井的操作中最重要的操作是在产油地带（也称为地层）与井筒之间提供流道。通常，这样的流道通过使用射孔器提供，做法是先在套管上产生孔眼并然后通过水泥层进入地层中，该过程通常被称为射孔。虽然机械射孔装置是已知的，但由于高能材料的易于使用性及其使用速度，故几乎所有这种射孔都是使用高能材料完成的。高能材料还可提供其他好处，即其可使井增产，这是因为传入地层的冲击波能够增强射孔的有效性并使从地层流出的流体流动增强。通常，这种射孔器采用聚能炸药的形式。在后文中，除非另有限定，否则任何提及的射孔器均应理解为指聚能炸药射孔器。

[0003] 聚能炸药是一种高能装置，其由内置通常为金属的衬里的壳体构成。该衬里提供了空腔的一个内表面，其余表面由壳体提供。所述空腔内充满炸药，当这些炸药被引爆时，其可使衬里材料破裂并以材料的高速射流形式从壳体喷射出。该射流撞击井套管从而产生孔眼，之后射流继续穿入地层自身，直至射流的动能被地层中的物质所克服。衬里可为半球形，但在大多数射孔器中其通常为锥形。衬里和高能材料通常封在金属壳体中；一般来说，所述壳体为钢，但也可选择其他合金。在使用中，如前面已经提到的，衬里将喷射形成具有高穿透力的非常高速的射流。

[0004] 通常，在邻近地层的套管的特定区域中需要大量的射孔。为此，由钢缆、卷管或所属领域技术人员熟知的任何其他技术将一种所谓的枪布置在套管内。该枪实际上为多个可相同或不同输出的射孔器的载体。射孔器的精确型号、数量和枪的尺寸通常由完井工程师根据完井特征的分析 and / 或评估决定。通常，完井工程师的目的是在套管中获得适宜的孔眼尺寸及在周围地层中获得可能的最深最大直径的孔。应理解，地层的性质可随完井的不同及特定完井的程度而异。在许多情况下，射孔基体的压裂是高度需要的。

[0005] 通常，对射孔器炸药、其数量及其在枪内的布置以及枪的类型的实际选择由完井工程师决定。在大多数情况下，该决定将基于实践中形成的半经验方法和对所完井地层的了解做出。但为协助完井工程师作出选择，已经研发了一系列表征各射孔器的性能的试验和程序。这些试验和程序是油气行业通过美国石油学会（API）开发的。就此而论，目前可从 www.api.org 下载的 API 标准 RP 19B（以前的 RP 43 5th 版）正作为射孔器性能的指示被射孔器协会广泛采用。射孔器生产商通常利用该 API 标准来销售其产品。完井工程师因此能在不同生产商的产品间选择出具有其认为适于特定地层的性能的射孔器。在做此选择时，工程师可对其预期从所选射孔器获得的该类型性能充满信心。

[0006] 因此，根据本发明的第一方面，提供了一种反应性油气井聚能炸药射孔器衬里，所述衬里包含反应性组合物，所述反应性组合物包含至少两种能发生放热反应的金属，其中所述衬里还包含至少一种其他金属，所述其他金属不能与所述至少两种金属发生放热反应且所述其他金属的存在量高于衬里的 10% 重量 / 重量。

[0007] 根据本发明的另一方面，提供了一种反应性油气井聚能炸药射孔器衬里，所述衬里包含能发生放热反应的反应性组合物，其中所述衬里还包含至少一种选自铜或钨或其混

合物的其他金属,其中所述其他金属的存在量高于衬里的 10%重量/重量。优选所述反应性组合物包含至少两种能发生放热反应的金属。

[0008] 优选使包含所述至少两种能发生放热反应的金属的组合物在相关聚能炸药被活化时反应。

[0009] 额外能量的问题可通过使用发生二次反应的衬里得到部分克服。但反应性衬里中通常使用的材料的穿透深度可能因其物理性质而显著减小。

[0010] 需要提供一种聚能炸药衬里,所述衬里在聚能炸药装置的初始引爆事件后产生聚能炸药射流,该射流以热的形式提供额外的能量。由反应性组合物产生的热能被传递给完井的岩层,这导致所述岩层的压裂和损害增加。增加的损害由热能对油气完井内的材料的作用引起。增加的压裂增大总穿透深度和可得到的以让油气流出岩层的体积。无疑,孔深度和宽度的增大将带来更大的孔体积和油气流的相伴改进,即流体可从孔体积的更大表面积流出。

[0011] 优选所述其他金属的存在量高于衬里的 20%重量/重量、更优选高于衬里的 40%重量/重量。在另一优选的选择中,所述其他金属的存在量在衬里的 40%-95%重量/重量范围、更优选 40%-80%重量/重量范围、还更优选衬里的 40%-70%重量/重量范围内。重量/重量中的重量百分数相对于衬里的全部组成。

[0012] 有利的是,已经发现其他金属(优选不与反应性组合物反应的那些,特别是高密度金属)的引入将提供体积出乎意料地大的裂缝(通道)。该体积的增大由与最高射孔工业标准深孔射孔器(DP)射孔器相比通道直径的增大提供。已经出乎意料地发现,仅需要将低百分量的反应性组合物材料与典型的聚能炸药衬里材料组合即可提供孔体积非常大的增加但仍保持射孔通道的所需深度。出人意料的是,孔体积的这种显著增大可在衬里中用低于 50%重量/重量、或甚至低于 30%重量/重量、或低于 20%重量/重量的反应性组合物获得。优选反应性组合物的存在量在 1%重量/重量到 60%重量/重量、更优选 5%重量/重量到 50%重量/重量、更优选 5%重量/重量到 30%重量/重量范围内。

[0013] 优选所述反应性组合物和所述至少一种其他金属基本上一起形成所述衬里的余量。

[0014] 所述至少一种其他金属可被认为是基本不与所述反应性组合物反应或对所述反应性组合物基本惰性。术语“不能发生放热反应”指与所述至少两种金属间的生成能相比所述其他金属与所述至少两种金属中的任何一者的生成能较低。

[0015] 所述其他金属与所述至少两种金属间的反应可能比所述至少两种金属间的反应较不顺利,因此不可能是这样的反应的主要产物。此外,技术人员应清楚,虽然所述其他金属与所述至少两种金属间的反应较不顺利,但在详细探究时可观察到痕量的这类反应产物。

[0016] 在以高百分量引入所述至少一种其他金属时已出人意料地发现另一好处。与采用致密金属衬里的现有最高工业标准 DP 射孔器相比,穿透深度至少相当且在大多数情况下是有改进的。由于增加的通道深度和直径,故留在岩层中的通道或裂缝的总体积将有很大增大。

[0017] 所述至少一种其他金属优选选自高密度金属。特别适宜的金属为铜、钨、其混合物或合金。所述其他金属优选被混合并均匀分散在所述反应性组合物中以形成混合物。或

者,衬里可生产为具有至少两个层,从而使惰性金属的层被反应性衬里组合物的层所覆盖,其可然后通过任何熟知的压制技术压制形成固结的衬里。

[0018] 为达到此放热输出量,所述衬里组合物优选包含至少两种金属组分,当被供给足够的能量(即超过放热反应的活化能的能量)时,所述金属组分将反应产生大量的能量,该能量通常以热的形式。引发电子化合物即金属间反应的能量由聚能炸药装置中烈性炸药的引爆供给。

[0019] 在另一实施方案中,所述衬里组合物可还包含至少一种非金属,这里所述非金属可选自金属氧化物(如钨氧化物、铜氧化物、钼氧化物或镍氧化物)或来自 III 族或 IV 族的任何非金属(如硅、硼或碳)。涉及燃料与氧化剂的反应混合物的燃烧的烟火制剂是广为人知的。但大量的这类组合物如火药将不能提供适宜的衬里材料,因为其可能不具有所需的密度或力学强度。下面以非穷举方式列出了当合并并受到刺激如热或电火花时将产生放热反应且可选择以用于反应性衬里中的元素:

[0020] Al 和 Li 或 S 或 Ta 或 Zr 中之一

[0021] B 和 Li 或 Nb 或 Ti 中之一

[0022] Ce 和 Zn 或 Mg 或 Pb 中之一

[0023] Cu 和 S

[0024] Fe 和 S

[0025] Mg 和 S 或 Se 或 Te 中之一

[0026] Mn 和 S 或 Se 中任一

[0027] Ni 和 Al 或 S 或 Se 或 Si 中之一

[0028] Nb 和 S

[0029] Mo 和 S

[0030] Pd 和 Al

[0031] Ta 和 B 或 C 或 Si 中之一

[0032] Ti 和 Al 或 C 或 Si 中之一

[0033] Zn 和 S 或 Se 或 Te 中之一

[0034] Zr 和 B 或 C 中任一

[0035] 当被混合并加热或提供以足够的刺激如冲击波以克服反应的活化能时,将如上所示产生大量热能并还提供具有足够力学强度的衬里材料的仅含金属元素的反应性组合物和既含金属又含非金属的组合物有许多。

[0036] 优选反应性组合物可以已知在混合时将产生放热情况的组合包含至少两种金属,所述至少两种金属可选自 Al、Ce、Fe、Co、Li、Mg、Mo、Ni、Nb、Pb、Pd、Ta、Ti、Zn 或 Zr。高能制剂领域的技术人员将易于想到其他的金属或非金属或组合。

[0037] 非化学计量的所述至少两种金属的使用将提供所述至少两种金属间的放热反应。但这样的组合物可能不能提供最佳量的能量,在一个优选的实施方案中,衬里的放热反应可优选通过使用所述至少两种金属的典型化学计量(摩尔)混合物获得。所述至少两种金属选择为能在聚能炸药衬里活化时产生常称为金属间电子化合物(intermetallicelectron compound)的电子化合物并放出热和光。反应可仅涉及两种金属,但已知涉及超过两种金属的金属间反应。

[0038] 简便地,发生放热反应的所述至少两种金属中的一种来自周期表的 IIIB 族。特别优选的实例为铝。

[0039] 选择以作为所述至少两种金属中的另一金属的另一金属可选自周期表的 VIIIA、VIIA、VIA、IIB 和 IB 族中的任一族中的金属。优选所述金属可选自 VIIIA、VIIA 和 IIB 族,更优选 VIIIA 族,例如铁、钴、镍和钯。

[0040] 优选提供了一种反应性油气井聚能炸药射孔器衬里,所述衬里包含反应性组合物,所述反应性组合物包含能发生放热反应的两种金属,第一金属选自 IIIB 族,第二金属选自 VIIIA、VIIA 和 IIB 族中的任一族,其中所述反应性组合物还包含至少一种其他金属,所述至少一种其他金属选自铜或钨且其存在量在衬里的 40-80% 重量 / 重量范围内。提供了一种使用所述反应性油气井聚能炸药射孔器衬里的方法。

[0041] 提供了一种改善流体从油气井流出的方法,所述方法包括使用包含反应性组合物的反应性衬里,所述反应性组合物能在聚能炸药衬里活化时发生放热反应,其中所述反应性组合物还包含至少一种高密度的其他金属,所述至少一种其他金属与所述反应性组合物形成混合物,其中所述至少一种其他金属的存在量在衬里的 40-80% 重量 / 重量范围内,所述反应性衬里在操作中能通过相关聚能炸药活化时的放热反应提供热能,其中所述热能被给予井的饱和基体。

[0042] 用分子建模已表明,镍、钴和铁 (VIIIA 族) 与铝间的生成热似乎最大。向此族的任一侧移动至铜 (IB 族) 和锰 (VIIA 族) 将使生成热值从约 3000cal/cc 减至约 1400cal/cc。然后对于钛和锆 (IVA 族),生成热将降至更低的值,铬 (VIA 族) 几乎为零。因此可认为 Cu 和 W 不能与所述反应性组合物中的所述至少两种金属发生放热反应。

[0043] 可形成许多不同的金属间电子化合物。简便地,这些化合物可归类为 Hume-Rothery 化合物。Hume-Rothery 分类法通过其价电子浓度确定金属间化合物。优选所述至少两种金属可选择为在操作中产生的金属间化合物具有的电子原子比率例如 3/2、7/4、9/4 和 21/13,优选 3/2。

[0044] 用 Co-Al、Fe-Al、Pd-Al 和 Ni-Al 的化学计量组合物可获得有利的放热能输出。优选的至少两种金属为以化学计量量混合的镍和铝或钯和铝。当得其进行反应时,所述至少两种金属的上述实例将提供优异的热输出且在镍、铁和铝的情况下是相对廉价的材料。

[0045] 当所述两种金属以给出 3/2 的电子原子比率计算值的相应比例提供时,反应性衬里将给出特别有效的结果,所述电子原子比率为 3 个价电子比 2 个原子 (如上面提到的 Ni-Al 或 Pd-Al) 的比率。

[0046] 作为实例,本发明的一个重要特点在于 Ni-Al 仅在混合物经受大于约 14Gpa 的冲击波时反应。该反应使粉状物形成金属间 Ni-Al,同时输出大量的能量。

[0047] 有许多放热并用于烟火应用中的金属间合金化反应。因此,铝和钯间的合金化反应的放热量为 327cal/g,产生化合物 Ni-Al 的铝 / 镍体系的放热量为 329cal/g (2290cal/cm³)。作为比较,引爆时 TNT 释放的总能量为约 2300cal/cm³,故该反应与 TNT 的引爆具有相似的能量密度,但当然没有气体释放。在 293K 下的生成热为约 17000cal/mol,这明显归因于两种相异金属间形成的新键。

[0048] 在传统的聚能炸药中,能量通过高动能的射流的直接冲击生成。而反应性射流包含附加的热能源,该附加的热能源可用于给予目标基体中,与非反应性射流相比,在岩层中

引起更多损害。岩层通常是多孔的并在所述孔中包含烃（气体和液体）和水。在根据本发明的聚能炸药中，压裂由射流的直接冲击和来自放热的反应性组合物的热效应引起。此热效应通过物理途径如完井中存在的流体的快速加热和相伴膨胀从而增大流体的压力、使岩层破裂而赋予进一步的损害。此外，反应性组合物与完井中的材料间可有一定程度的化学相互作用。

[0049] Pd-Al 体系可简单地通过将钯和铝以丝或板的形式锻造在一起来使用，但 Al 和 Ni 仅以粉状混合物反应。

[0050] 然而，钯是非常昂贵的铂族金属，因此镍-铝具有显著的经济优势。镍和铝粉混合物的冲击诱导化学反应的经验和理论研究已表明反应的阈压力为约 14Gpa。此压力在聚能炸药应用中所用现代炸药的冲击波中是易于得到的，故 Ni-Al 可用作聚能炸药衬里来给出反应性的高温射流。射流温度估计为 2200K。两种组分金属的颗粒尺寸对所得聚能炸药射流的性质的影响对于获得最佳性能来说是一重要特点。微米和纳米尺寸的铝和镍粉均有市售，其混合物将发生快速的自支持放热反应。Ni-Al 热射流对一系列目标材料应是高度反应性的，特别是水合硅酸盐应受到剧烈攻击。此外，当穿透空气中的目标后分散时，射流应随后在空气中发生放热燃烧以增强爆炸。

[0051] 对于一些材料如 Pd-Al，所需的来自聚能炸药衬里的反应可通过冷轧单独的材料板形成组合物而获得，所述组合物可然后通过任何方法（包括在车床上机械加工）修整。Pd-Al 衬里也可通过将组合物压制成压坯来制备。在 Al-Ni 情况下，反应仅在当衬里由经压坯的粉末混合物形成时发生。明显必须考虑在衬里的形成过程中赋予反应性材料的任何机械或热能以避免不希望有的放热反应。优选衬里为反应性组合物与所述至少一种其他金属的颗粒混合物、更优选所述至少两种金属与所述至少一种其他金属的混合物，其中所述衬里通过用已知方法压制所述颗粒混合物以形成压缩即固结（consolidated）的衬里而形成。

[0052] 在压制反应性组合物以形成压坯衬里的情况下可能需要粘合剂，所述粘合剂可为粉状软金属或非金属材料。优选所述粘合剂包含聚合物材料如 PTFE 或无机化合物如硬脂酸盐、蜡或环氧树脂。或者所述粘合剂可选自高能粘合剂如 Polyglyn（缩水甘油硝酸酯聚合物）、GAP（聚叠氮缩水甘油醚（Glycidyl azide polymer））或 Polynimmo（3-硝基甲基-3-甲基氧杂环丁烷聚合物）。所述粘合剂也可选自硬脂酸金属盐如硬脂酸锂或硬脂酸锌。

[0053] 方便地，形成衬里组合物的一部分的所述至少两种金属中的至少一种或所述其他金属可涂有前面提到的粘合剂材料中的一种。通常，无论是用来预涂金属还是直接混合到含金属的组合物中，所述粘合剂的存在量可在 1% -5% 质量范围内。

[0054] 当使用特定的组合物时，颗粒的直径（也称“粉末粒度”）或平均颗粒尺寸（APS）在可获得的能量输出以及材料的固结中扮演着重要的角色而因此将影响衬里的压制密度。需要所述至少两种金属与所述其他金属的粒度相似以确保均匀的混合。需要衬里的密度尽可能地高以产生更有效的成孔射流。需要反应性组合物的颗粒直径小于 50 μm 、更优选小于 25 μm ，还更优选颗粒直径为 1 μm 或更小，甚至可使用纳米尺度的颗粒。本文中提到的颗粒尺寸小于 0.1 μm 的材料称为“纳米晶材料”。

[0055] 有利的是，已发现在高钨百分率下，所述至少两种金属自身将提供必要的润滑性

质以减少额外的粘合剂的需要。因此提供了如上文中所定义的所述至少两种金属作为反应性粘合剂在固结颗粒物衬里（如固结钨或铜颗粒物衬里）中的用途。

[0056] 有利的是，如果反应性衬里的组合物中的所述至少两种金属（其发生金属间反应）如镍和铝或铁和铝或钼和铝的颗粒直径小于 10 微米、甚至更优选小于 1 微米，则衬里的反应性和因此放热反应的速率将因表面积的大幅增大而显著提高。因此，由易于得到的材料如早前公开的那些形成的反应性组合物可提供不仅拥有如炸药所提供的切削射流的动能而且拥有来自组合物的放热化学反应的额外热能的衬里。

[0057] 在颗粒直径小于 0.1 微米时，作为聚能炸药衬里材料，反应性组合物中的所述至少两种金属的吸引力将因反应性组合物特别高的相对表面积而进一步提高的放热输出而愈加增大。减小颗粒直径的又一好处在于，随着所述至少一种其他金属的颗粒尺寸减小，固结时可获得的实际密度将增加。随着颗粒尺寸减小，可获得的实际固结密度开始接近所述至少一种其他金属的理论最大密度。

[0058] 反应性衬里厚度可从任何已知或常用壁衬里几何厚度中选择。衬里壁厚通常相对于衬里基部 (base) 的直径来表示并优选在 1-10% 衬里直径范围内、更优选在 1-5% 衬里直径范围内选择。在一种布置中，衬里可具有锥形厚度的壁以便衬里顶点处的厚度比衬里基部处的厚度小，或者可选择这样的锥形使得衬里的顶点远厚于向着其基部的衬里壁。再一替代方案是这种情况，衬里的厚度在其表面积或横截面上不均匀：例如横截面为圆锥形的衬里，其中斜面 / 斜坡包含混杂的与衬里轴相接 (scribed about) 的半角而产生可变厚度的衬里。

[0059] 衬里的形状可从任何已知或常用聚能炸药衬里形状中选择，例如基本为圆锥形、郁金香形、喇叭形或半球形。

[0060] 在另一方面，本发明包含一种适于井下使用的聚能炸药，所述聚能炸药包含壳体、一些烈性炸药和位于所述壳体内的如前文中所述的衬里，所述烈性炸药位于所述衬里和所述壳体之间。

[0061] 在使用中，所述反应性衬里赋予来自放热反应的额外热能，该额外热能可有助于进一步损害和压裂完井。再一好处在于所述反应性衬里的材料可构建为使刚形成的孔中不留下衬里材料的块，一些非反应性衬里就可能存在这种情况。非反应性衬里留下的块可能对油或气从完井中的流出造成进一步的阻塞。

[0062] 优选壳体由钢制成，但壳体可部分或完全由反应性衬里组合物中的一种或优选所述至少两种反应性金属通过前述压制技术中的一种形成以便引爆时套管可被反应消耗而减少碎片形成的可能性。如果这些碎片不是基本保留在射孔枪的边界内，则其可能对油或气从完井中的流出造成进一步的阻塞。

[0063] 所述烈性炸药可选自一系列烈性炸药产品如 RDX、TNT、RDX/TNT、HMX、HMX/RDX、TATB、HNS。易于理解，划分为烈性炸药的任意适宜的高能材料均可用于本发明中。但由于井筒中经历的温度升高，故一些炸药类型对油井射孔器来说是优选的。

[0064] 所述衬里在最宽点即开口端处的直径可与壳体的直径基本相同以致可被认为是全口径衬里 (full calibre liner)，或所述衬里可选择为是小口径 (sub-calibre) 的以致衬里的直径在全直径的约 80% -95% 范围内。在具有全口径衬里的典型圆锥形聚能炸药中，衬里基部与壳体间的爆炸载荷非常小，从而在使用时圆锥的基部仅承受最小的载荷。因

此,在小口径衬里中,衬里的基部与壳体间可装较大量的烈性炸药以确保更大比例的基部衬里转变成切削射流。

[0065] 穿透进完井中的深度是完井工程中的关键因素,因此常需要垂直于套管对射孔器点火以获得最大穿透,且如现有技术中所强调的,通常也需要相互垂直以每次射击获得最大深度。可能需要将至少两个射孔器定位和排列为使切削射流将在相同点处或附近会聚、相交或碰撞。在一个替代的实施方案中,至少两个射孔器定位和排列为使切削射流将在相同点处或附近会聚、相交或碰撞,其中至少一个射孔器为如前文所定义的反应性射孔器。对于特定的应用,射孔器的相位调整 (phasing) 是完井工程师需要考虑的重要因素。

[0066] 如前文所述的射孔器可被直接插入到任何地下完井中,但常需要将所述射孔器结合进射孔枪中以便可将多个射孔器布置在完井中。

[0067] 根据本发明的再一方面,提供了一种完成油气井的方法,所述方法使用一个或多个如前文所定义的聚能炸药射孔器或一个或多个如前文所定义的射孔枪。

[0068] 也提供了一种改善流体从油气井的流入的方法,所述方法包括使用在操作中能通过相关聚能炸药活化时的放热反应提供热能反应性衬里,其中所述热能被给予井的饱和基体。

[0069] 技术人员应理解流入为流体如油或气从完井的流动。

[0070] 方便地,流体流入的改善可通过使用反应性衬里提供,所述反应性衬里反应产生温度超过 2000K 的射流以便在使用中所述射流与油气井的饱和基体相互作用,从而在逐渐出现的射孔器通道中引起压力的增加。在一个优选的实施方案中,油气井在基本中性平衡条件下完成。这是特别有利的,因为许多完井用欠平衡条件进行以从射孔中除去碎屑。完井中欠平衡的生成需要额外的装置和费用。方便地,油气井的流入改善可通过使用一个或多个如前文所定义的射孔器或一个或多个如前文所定义的射孔枪获得。

[0071] 因此还提供了一种实施改善从井流入的方法的油气井射孔系统,所述系统包含一个或多个如前文所定义的射孔枪或一个或多个如前文所定义的聚能炸药射孔器。

[0072] 根据本发明的又一方面,提供了如前文所定义的反应性衬里或射孔器在增加油气完井中的压裂从而改善从所述井的流入中的用途。

[0073] 本发明的再一方面提供了如前文所定义的反应性衬里或射孔器或射孔枪在减少射孔通道中的碎屑中的用途。这种类型碎屑的减少在本领域中常称为解堵 (clean up)。

[0074] 根据本发明的又一方面,提供了一种改善从井流入的方法,所述方法包括用至少一个根据本发明的衬里、射孔器或射孔枪来为井射孔的步骤。流入性能依靠所产生的改进的射孔 (即较大的直径、射孔通道端部较大的表面积和解堵的孔、孔中基本无碎屑) 改善。

[0075] 根据本发明的再一方面,提供了一种反应性聚能炸药衬里,其中所述衬里包含反应性组合物,所述反应性组合物能在聚能炸药衬里活化时发生放热反应,其中所述反应性组合物还包含至少一种不能与所述反应性组合物发生放热反应的其他金属且所述至少一种其他金属与所述反应性组合物形成混合物,其中所述至少一种其他金属的存在量高于衬里的 10% 重量 / 重量,优选高于 40% 重量 / 重量,更优选在衬里的 40% -95% 重量 / 重量范围内,还更优选 40-70% 范围内。

[0076] 先前在本领域中,为了在岩层中产生大直径通道 / 裂缝,已采用大孔射孔器。大孔射孔器设计用来提供大孔,其伴随的结果是穿透进岩层的深度显著减小。通常,工程师已使

用大孔射孔器与标准射孔器的组合以获得所需的深度和体积。作为替代方案,已使用结合了大孔射孔器和标准射孔器的串联装置衬里。这通常导致射孔枪中每单位长度较少的射孔器并可能导致较少的流入。

[0077] 有利的是,前文所定义的反应性衬里和射孔器仅用一个聚能炸药装置即带来穿透深度和体积的增大。另一优势在于根据本发明的反应性衬里实现了深度和直径的双重作用(即井筒容积)而没有爆炸载荷的减少或每单位长度射孔器数量的减少。

[0078] 为帮助理解本发明,现仅借助示例并结合附图来描述本发明的多个实施方案,在附图中:

[0079] 图1为沿着根据本发明的一个实施方案的含有根据本发明的衬里的聚能炸药装置的纵轴的剖视图。

[0080] 如图1中所示,一般常规结构的聚能炸药的剖视图通常关于中心线1轴对称,其包含大致筒状的壳体2,该壳体由金属(通常但并不只是钢)、聚合物、GRP或根据本发明的反应性材料制成。根据本发明的衬里6的壁厚通常为衬里直径的1-5%,但在极端情况下可高达10%,为使性能最大化,衬里厚度还可以是可变的。衬里6与筒状壳体2的开口端8紧密配合。烈性炸药材料3位于壳体与衬里所包围的空间内。通常由位于凹槽4内的引爆器或导爆索引爆所述装置的封闭端处与衬里的顶点7相邻的烈性炸药材料3。

[0081] 一种用于衬里的合适的起始材料包括Ni-Al-W组合物,所述组合物含69.43%重量的钨、9.6265%重量的铝和20.9435%重量的镍。这产生化学计量的Ni-Al混合物。没有额外的粉状粘合剂材料加入。

[0082] 该类别中的其他候选化合物可包括例如Co-Al、Fe-Al、Pd-Al、Cu-Zn、Cu₃-Al和Cu₅-Sn。

[0083] 金属的具体商品选择也可能受成本影响,在这点上,应指出,与一些其他候选金属相比,来自周期表的VIII A族的Ni和Fe及来自周期表的IIIB族的Al均是廉价且易于得到的。试验中已发现,Ni-Al的使用给出了特别好的结果。此外,Ni-Al衬里的生产工艺也相对简单。

[0084] 一种生产衬里的方法是在模具中压制一定量的充分混合和共混的粉末使之成为最终衬里的压坯。根据本专利在其他情况下,可以与上述非常相同的方式使用充分混合的粉末,但压坯产品接近最终形状,其允许一定的烧结或渗入工艺形式发生。

[0085] 对所明确描述的本发明加以改变对本领域技术人员来说将是显而易见的,这些改变被认为是在本发明的范围之内。例如,产生细粒衬里的其他方法将是适宜的。

实施例

[0086] 用化学计量量的Ni和Al并加入不同量的钨制备一系列聚能炸药衬里。这些衬里设计为与标准3-3/8聚能炸药壳体相配。对于所有射孔器设计,炸药含量相同,均为25克。用聚能炸药朝Berea岩石的筒形段开火,Berea岩石是油气井中岩层的代表。

[0087] 为模拟井下经受的状况,在射孔器前面放置质量控制(QC)靶,该QC靶包含1/8"软钢板,这样的软钢板代表射孔枪中常见的凹坑。紧跟在QC靶之后的是1/2'的水和1/4"的软钢板。在1/4"软钢板的另一侧是Berea岩石的筒形段。试验过程中QC靶被标准化至所用射孔枪的大小。

[0088] 在模拟的井下条件下用 API RP 19B 进行合格性试验。使用五英寸 Berea 砂岩芯，外加应力为 4000psi。该试验有利地用来量化射孔的孔形态、总岩芯穿透深度和流动特性。油气井射孔器的生产商在销售其产品时通常会利用该及其他 API 数据。

[0089] 用所述 3-3/8”反应性射孔器进行的枪膨胀试验表明，平均膨胀为 3.590”，其表示枪直径增大 6.37%，表明开火后枪在工业极限内成功幸存。将 Berea 岩石样品纵向切开以便可看到衬里的作用所产生的通道的轮廓和尺寸。结果示于下表 1 中。

[0090]

粉末组合物（重量）	射击次数	% 钨	岩芯入口孔直径	CT 净通道 (clear tunnel)	% CT	TCP 总岩芯穿透深度
21% Ni, 9% Al	19, 20	70% W	1.01	12.50	98%	12.75
41% Ni, 19% Al	16, 17	40% W	1.20	9.21	96%	9.55
62% Ni, 28% Al	15	10% W	1.22	8.75	98%	8.90
68.5% Ni, 31.5% Al	13	0% W	1.27	5.35	100%	5.35
68.5% Ni, 31.5% Al	7, 8	0% W	1.82	6.91	92%	7.50
68.5% Ni, 31.5% Al	5, 6	0% W	1.30	7.89	100%	7.89
Cu, Pb, W 基线 (baseline)	1, 2, 4	0% W	0.55	9.59	78%	12.38

[0091] 表 1 示出了钨的百分含量和通道轮廓

[0092] 表 1 示出了加和不加钨时镍和铝的不同组合物对射孔形态的影响。所有量度单位均为英寸。总岩芯穿透深度为通道的总长度，其可能有一些碎屑。CT 值为净通道即洁净无碎屑的射孔深度。通常有相当大量的压碎带，其有时通过欠平衡射孔解堵。净通道百分数 (% CT) 为净通道的量相对于总岩芯穿透深度 (TCP) 的百分数。入口孔直径为进入 Berea 岩石的入口孔的直径（英寸）。

[0093] 当表 1 中的组合物项含两个或三个开火结果时，性能结果以所得结果的平均值给出。

[0094] 进行初始实验来评估不同的金属间金属-金属组合。基于起始材料的生成热和相对成本进行选择，Ni-Al、Co-Al、Mo-Ni₃ 已在之前被确定为是良好的候选材料。

[0095] 基线衬里为当前工业最高标准的 3-3/8”DP 射孔器，其包含钨、铜、铅、石墨和油的混合物。从表 1 中可见，该商品衬里提供有用的总岩芯穿透长度。但一个明显的缺点在于仅 78% 的最大通道深度是无碎屑的，这意味着所产生的通道中接近四分之一将没有最大流量。

[0096] 先前已开发出使用 Ni-Al 和 Mo-Al 和 Co-Al 的反应性衬里来克服通道中过量碎屑的问题。上表示出了对仅使用化学计量量的 Ni-Al 的反应性衬里射击 5、6、7、8 和 13 次的结果。这些特定射击间的差异最初用来优化衬里轮廓同时研究最佳压制参数 (optimum

pressingparameter)。上面的结果表明了基本无碎屑的通道的百分数 (92-100 % 范围内) 清楚且显著的提高。平均而言, 可得到的用于来自井的流体流动的有效或净通道有约 20-30 % 的提高。又一优势在于入口通道直径的显著增大 (超过 150 %)。对于 100 % 的 Ni-Al 衬里, 唯一的缺点在于孔深度比商品 DP 衬里的小。

[0097] 为提高穿透深度, 向反应性 Ni-Al 中加入了钨金属。虽然发生了深度的增大, 但出人意料且有利的是, 通道中可得到的无碎屑体积的百分数保持非常高的水平, 事实上超过 95 %。非常意外地发现, 甚至在含 70 % 的钨而仅含 30 % 的 Ni-Al 时, 所产生的通道中也接近 100 % 是可用的。此外且出人意料地, 70 % 的钨和 30 % 的 Ni-Al 提供的总通道深度 (平均) 多于商品 DP 衬里。70 % 的钨和 30 % 的 Ni-Al 产生的入口孔的直径有利地产生了约为商品 DP 衬里的两倍的入口孔直径和约为商品 DP 衬里的四倍的面积。

[0098] 为量度该改善, 测定射击 20 和射击 1 的总的孔体积并对结果加以比较。结果在下表 2 中给出。

[0099]

射击编号	净通道 (英寸)	表面积 (英寸 ²)	体积 (英寸 ³)
1 (基线)	9.0	11.2	1.1
20 (反应性)	13.0	29.6	5.0
% 增加	44 %	164 %	351 %

[0100] 表 2: 基线和反应性射孔器的岩芯孔测定值

[0101] 从表 2 中的结果可以清楚地看到, 与商品 DP 衬里 (射击 1) 相比, 70 % W-30 % Ni-Al 衬里 (射击 20) 的无碎屑总孔体积特别有利地增大了超过 350 %。通道深度、通道的入口孔直径和总体积可显著增大, 同时出人意料地保持碎屑的显著减少。这是比现有商品 DP 衬里显著且出人意料的优势。总孔体积和深度的增大将因此增大油气完井中的流体流入。一个特别的优势在于所有的反应性射孔射流均在 Berea 砂岩中获得实际上 100 % 的解堵, 且在目视检查中没有孔表面显示出任何可能阻碍油气流的磨光 (glazing) 迹象。

[0102] 根据本发明的衬里的反应性组合物与 Berea 砂岩或其他岩层间可能发生许多其他可能的相互作用。反应性射流的高温 (2137K) 意味着热可转移到靶材料, 靶材料内温度的这种升高将因热软化效应而降低岩层强度。射流中的反应性组合物的放热反应引起的较高的岩层内温度将有助于许多可能的损害过程如孔扩张、材料强度损耗和材料失效。这些可能由于岩层内突然且大幅的温度升高和相伴的压力增加而发生。增加的损害可改善来自完井的烃的流率。

[0103] 岩层内出现的反应性组合物的放热反应引起的物理热效应或的的确确的化学反应很可能在最初的动能穿透过程后发生。如射孔中观察到的, 本发明的反应性组合物将有助于改善解堵。

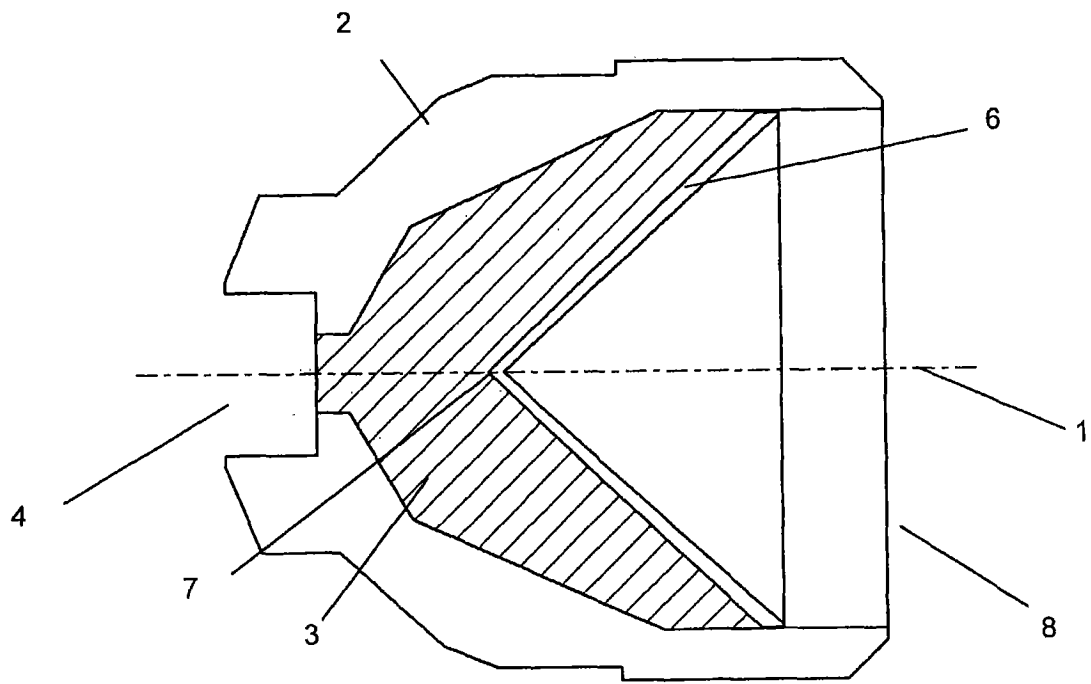


图 1