

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2023 年 2 月 23 日 (23.02.2023)



(10) 国际公布号
WO 2023/019869 A1

- (51) 国际专利分类号:
E04C 3/34 (2006.01) *B28B 11/24* (2006.01)
E04C 5/06 (2006.01) *E04B 1/30* (2006.01)
E04C 3/36 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2022/000116
- (22) 国际申请日: 2022 年 8 月 17 日 (17.08.2022)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202110945484.7 2021年8月17日 (17.08.2021) CN
202110945535.6 2021年8月17日 (17.08.2021) CN
- (72) 发明人: 及
- (71) 申请人: 王哲 (WANG, Zhe) [CN/CN]; 中国北京市海淀区上园村 3 号北京交通大学土建学院, Beijing 100044 (CN)。

- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,

(54) Title: COMBINED STRUCTURE, VOLUME COMPENSATION DEVICE HAVING HOUSING, AND MANUFACTURING METHOD

(54) 发明名称: 组合结构、带壳体积补偿装置和制作方法

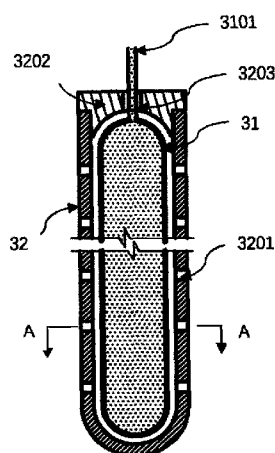


图 15

(57) Abstract: A volume compensation device (3) having a housing, comprising a supporting housing (32) and a pressure supply device (31). The supporting housing (32) surrounds a cavity, and connecting channels (3201) are formed between the cavity and an outer space area of the supporting housing (32); the pressure supply device (31) is located in the cavity. A combined structure comprises three parts of A, B, and C. The A part surrounds a cavity, the B part is a fluid-solid conversion material, the C part is one or more volume compensation devices (3) having the housings, and the B part and the C part are located in the cavity. When the B material is in a flowable state, the volume compensation device (3) having the housing is configured to provide and maintain pressure in the B part; when the B part material is in a solid state, if external force acting on the combined structure increases the compressive stress inside the B part, compressive stress which the outer surface of the supporting housing (32) in the volume compensation device (3) having the housing can withstand from a surrounding medium is far higher than the compressive stress provided by the pressure supply device (31).

(57) 摘要: 一种带壳体积补偿装置 (3), 包括支撑壳 (32) 和供压装置 (31); 所述支撑壳 (32) 包围有空腔, 在所述空腔与支撑壳 (32) 外部空间区域之间有连接通道 (3201); 所述供压装置 (31) 处在所述空腔之中。一种组合结构包括 A、B、C 三部分, A 部分包围有空腔, B 部分是流固转换材料, C 部分是一个或多个带壳体积补偿装置 (3), B 部分和 C 部分处在所述空腔之内。当 B 材料处在可流动状态时, 带壳体积补偿装置 (3) 用于提供和维持 B 部分中的压力; 当 B 部分材料处在固体状态时, 如果组合结构受到的外力使 B 部分中压应力增加, 则带壳体积补偿装置 (3) 中的支撑壳 (32) 外表面能够耐受周围介质的压应力远高于供压装置 (31) 提供的压应力。

RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

组合结构、带壳体积补偿装置和制作方法

技术领域

本发明涉及建筑、桥梁、水利等领域，具体涉及组合结构及其制作方法。

背景技术

钢管混凝土组合结构中的混凝土会收缩，这会使得混凝土与钢管内壁之间出现分离，影响二者之间的协同工作，进而影响组合结构的力学性能。

在现有文献中，解决这个问题有两大类方法，第一类是改变混凝土材料的收缩特性，尽可能降低收缩量，或者让材料膨胀。这类方法不适于高强或超高强混凝土。这种类方法与本发明无关，不做赘述。

第二类方法是在混凝土充填到钢管内之后，对之施加压力。施加压力的方法有以下三种。

第一种加压方法是，在组合结构的钢管端部附近安装一个细管子，此管子与钢管混凝土的钢管之外的加压装置相连，加压装置对细管子内部的混凝土施加压力，当混凝土有足够的强度之后锯掉含有混凝土的细管子。

在混凝土处在流动状态时，如果钢管内部混凝土发生收缩，加压装置会把细管子中的混凝土挤入钢管内部，填补混凝土收缩掉的体积。但是，当混凝土发生凝固之后，钢管内的混凝土还会收缩，由于混凝土几乎不再能流动，细管子中的混凝土无法进入钢管内部去填补混凝土的收缩体积；这将造成钢管作用到混凝土侧面上的压力降低，甚至还会造成混凝土与钢管内表面分离。

第二种加压方法是在钢管混凝土两端对其中的混凝土施加压力。大体上有甲乙两种。

方法甲

组合结构的钢管有两节，一节粗一节细，粗的套在细的外面。当钢管内充填完混凝土之后，把两节钢管套在一起，用压力机沿着轴向它们施加压力，两节管子沿着轴向发生相对滑动，进而对钢管内的混凝土也施加了压力。当压力达到要求之后，把两节钢管联接在一起，它们不能发生相对移动。这种方法也存在不足之处。混凝土在凝固之前和凝固之后都发生体积收缩。当两节钢管固定在一起之后，混凝土还一直在收缩，混凝土收缩时钢管的切向拉应变随之减小，钢管施加到混凝土侧面的压力也会随之减小，甚至混凝土会与钢管内表面分离。

方法乙

在钢管的两端都设置“活塞”，“活塞”可以在钢管内部沿着轴向移动。当对钢管内部的混凝土进行挤压时，用加载装置挤压两个“活塞”，“活塞”相向移动挤压钢管中的混凝土。维持施加到活塞上的压力，直到混凝土达到一定强度。这种方法存在的问题是，如果钢管的长径比(长度与直径之比)较大，其技术效果不太好。例如，取长径比为7(实际工程中多数情况下比这个数值要大)，当混凝土充填到钢管中之后，就对两端“活塞”施加一个恒力，直到混凝土达到足够的强度。由于混凝土在凝固之后，甚至在具有一定的强度之后，还会发生收缩，而这时由于混凝土具有的强度，以及它与钢管内壁之间的粘结力和摩擦力都可以抵消或削减活塞的压力，使得钢管长度方向中部的混凝土的轴向压应力要小于两端的轴向压应力，长径比越大，钢管中部混凝土的轴向压应力越小。长度方向中部的混凝土的径向压应力也会随着混凝土的收缩而减小，如果钢管直径较大，甚至还会出现混凝土与钢管的脱离。

此外，方法乙在施工中需要大型设备，占用场地面积也多，这是它另外的缺点。

第三种加压方法是在密封钢管混凝土内部放置压力维持装置，例如放置橡胶棒、气囊等，并对混凝土施加预压力。这种装置的优点是，当混凝土处在可流动状态时，如果发生收缩，压力维持装置能够发生膨胀，填补钢管空腔中因收缩多出来的空间，从而保持混凝土压应力的降低幅度处在要求的范围内。当混凝土凝固之后，在压力维持装置的外表面与混凝土之间仍然可以选择有压应力存在。但是，这种结构的缺点是，橡胶棒、气囊等会成为混凝土中的薄弱环节，可能影响钢管混凝土柱子的整体承载能力。例如，假设压力维持装置是圆柱形气囊，其轴线平行于柱子的轴线。当对钢管混凝土柱子施加不断增长的轴向压力时，钢管内部的混凝土在远离压力维持装置的区域，混凝土的最大正应力方向与柱子的轴向方向平行，最小主

应力与中间主应力相等，都垂直于柱子轴线。而与压力维持装置表面接触的混凝土，最大主应力方向仍然是柱子轴线方向，最小主应力方向是压力维持装置表面的法线方向，中间主应力方向是切线方向。根据强度准则，最小主应力变小会降低材料破坏对应的最大主应力。由于气囊提供的接触压力低于钢管内壁对混凝土的压应力，气囊附近的混凝土能够耐受的平行于柱子轴线方向的压应力低于其他区域的。

发明内容

一、要解决的技术问题

水泥在凝结硬化的过程中，会发生化学收缩，即，水化后的绝对体积小于水化前的水和其它参与水化的各种成分的体积之和。在钢管混凝土组合结构中，钢管内部的混凝土的体积收缩，经常会导致混凝土与钢管内壁不能充分接触，甚至造成分离，这使得钢管和混凝土不能很好地协同工作。高强混凝土、超高强混凝土以及活性粉末混凝土，由于其中的水泥和活性掺料较多，硬化过程中体积收缩量更大，钢管与之不能协同工作表现的更为严重。

水泥石的强度与水泥石中的空隙有关，空隙越少强度越高。在水泥凝结硬化过程中，让水泥充分收缩或被压缩有助于降低水泥石中的空隙，提高水泥石的强度。水泥砂浆、混凝土的强度都与其中的水泥石的强度有关，水泥石的强度越高，相应材料的强度也越高。

活性粉末混凝土中基体材料是水泥、硅灰、石英粉等与水的混合物，其水化后的产物虽然与

传统的水泥石的成分不同，但其强度同样与其中的空隙含量相关，空隙越低，强度越高。

水泥石、水泥砂浆、混凝土、活性粉末混凝土的轴向强度都与其侧向压应力有关，侧向压应力越大，强度越高。

以钢管混凝土柱子为例说明要解决的问题。设钢管混凝土中的钢管两端都是封闭的，在钢管空腔中放置有压力维持装置，充填有混凝土。当混凝土还处在可流动阶段，混凝土就开始经历人为施加的预压应力。

(1) 本发明要解决的第一组技术问题是：提高钢管混凝土中的混凝土的单轴强度和三轴强度，进而提高钢管混凝土柱子的整体承载能力。

(2) 本发明要解决的第二组技术问题是，找到一种压力维持方法和压力维持装置，来实现以下两个目的：

a. 当混凝土处在可流动状态时，维持钢管中的混凝土的压应力基本稳定，或者在要求的范围内变化；

b. 在混凝土达到或接近最终强度之后，当钢管混凝土经受轴向加载时，压力维持装置能够提供足够的径向抗力来避免周边混凝土向压力维持装置占据的区域鼓胀，避免因鼓胀造成周边混凝土轴向承载能力降低。

二、发明内容

(一) 带壳体积补偿装置

一种带壳体积补偿装置，包括供压装置和支撑壳；

所述支撑壳包围有空腔，在所述空腔与所述支撑壳外部周围空间区域之间有连接通道；

所述供压装置处在所述空腔之中；

所述供压装置能够向其接触的介质提供压力。

进一步地，所述支撑壳是管子，并且

至少具有以下特征之一：

(1) 所述管子的管壁上设置有孔洞，管子的两端进行封堵；所述管壁上的孔洞用作连接支撑壳空腔与支撑壳周围外部空间区域的连接通道；

(2) 所述管子的管壁上设置有孔洞，管子的两端中至少有一端不进行封堵；

(3) 所述管子的管壁上没有孔洞，管子的两端中至少有一端不进行封堵；管子没有封堵的端部管孔用作连接支撑壳空腔与支撑壳周围外部空间区域的通道。

进一步地，

所述管子的横截面形状是外凸的；优选地，所述横截面外轮廓线包围图形是圆形或椭圆形。

进一步地，所述支撑壳为带有孔洞的壳体。

进一步地，所述带有孔洞的壳体具有以下特征之一：

(1) 所述壳体的选择范围包括球形壳体和椭球形壳体；

(2) 所述壳体中至少有一部分壳体是球形壳体的一部分，或者是椭球形壳体的一部分，或者是圆柱形壳体。

进一步地，所述支撑壳上的孔洞形状的选择范围包括，圆形、椭圆形、矩形、圆角矩形、一段长度的缝隙。

进一步地，所述供压装置的选择范围包括，加压装置、储能装置和加压储能装置；

(1) 所述加压装置能够改变或/和维持其外表面和与之接触的介质之间的压力；

(2) 所述储能装置具有如下特性，

当储能装置外表面受到的压力升高时，储能装置表观体积变小，储能装置吸收能量；或/和，当外表面受到的压力降低时，储能装置表观体积增加，储能装置释放能量；

(3) 所述加压储能装置具有以下的特性甲和/或特性乙，

所述特性甲为，

加压储能装置能够改变或/和维持其外表面和与之接触的介质之间的压力；

所述特性乙为，

在其他影响因素不变的条件下，当加压储能装置外表面受到的压力升高时，装置的表现体积变小，加压储能装置吸收能量；或/和，当外表面受到的压力降低时，装置的表现体积增加，加压储能装置释放能量。

进一步地，

(1) 所述加压装置的选择范围包括，加压气囊、加压气液囊、加压液囊、自膨胀装置；

(2) 所述储能装置的选择范围包括，气囊、气液囊、储能液囊，实心弹性体储能装置、弹性外壳储能装置；

(3) 所述加压储能装置的选择范围包括，加压气囊、加压气液囊、加压储能液囊，自膨胀装置；

优选地，所述自膨胀装置为甲型自膨胀装置；优选地，所述甲型自膨胀装置是甲1型自膨胀装置；优选地，所述甲1型自膨胀装置是甲1a型或/和甲1b型自膨胀装置。

优选地，所述自膨胀装置为乙型自膨胀装置。

进一步地，

所述用作加压装置、储能装置和加压储能装置的气囊的选择范围包括，普通气囊、上限气囊、下限气囊和双限气囊；

所述用作加压装置、储能装置和加压储能装置的气液囊的选择范围包括，普通气液囊、上限气液囊、下限气液囊和双限气液囊；

所述用作加压装置、储能装置和加压储能装置的液囊的选择范围包括，普通液囊、上限液囊、下限液囊和双限液囊；优选地，所述液囊设置有管路与液压源连接；优选地，所述液囊设置有管路与液压源以及蓄能器连接。

进一步地，所述供压装置的选择范围包括，甲型自膨胀装置和乙型自膨胀装置；优选地，所述甲型自膨胀装置是甲1型自膨胀装置。

进一步地，所述供压装置是长条形，包括柔性管路和处在管路两端封堵装置，两端的封堵装置与柔性管路连接在一起；

优选地，所述柔性管路的材料至少在周长方向能够发生弯曲，抗弯刚度接近于 0；优选地，所述柔性管路的材料在管路的周长方向发生的伸长应变小于给定值 δ ；优选地，所述柔性管路的材料在管路的周长方向发生的伸长应变大于给定值 δ ；优选地，所述 δ 小于等于 5%。

进一步地，所述供压装置是囊类供压装置，包括囊类储能装置、囊类加压装置和囊类加压储能装置；

优选地，所述囊类储能装置、囊类加压装置和囊类加压储能装置中的囊是长条形，包括柔性管路和处在管路两端封堵装置，两端的封堵装置与柔性管路连接在一起。

进一步地，

在所述支撑壳内壁与供压装置外表面之间的空隙中充填有流固转换材料，或/和，

在所述支撑壳外部周围空间区域中存在有所述流固转换材料。

进一步地，所述装置具有以下特性：

(1) 当所述流固转换材料处在可流动状态，所述流固转换材料适合从所述连接通道中流过；

或/和，

(2) 当所述流固转换材料处在固体状态，所述流固转换材料与所述支撑壳组成复合壳体，所述复合壳体包括支撑壳和其周围一定范围内的凝固之后的流固转换材料，所述复合壳体能够承受其外围介质的压力。

(二) 带壳体积补偿装置的制作方法

一种带壳体积补偿装置的制作方法，其特征是，所制作的带壳体积补偿装置如第(一)部分之一所述。

(三) 使用带壳体积补偿装置对周围介质提供压力的方法

一种使用带壳体积补偿装置对周围介质提供压力的方法，其特征是，

(1) 所述带壳体积补偿装置如第(一)部分之一所述；

(2) 在使用所述带壳体积补偿装置提供压力的过程中，除了使用所述支撑壳和所述供压装置之外，还需要流固转换材料参与；

所述流固转换材料是能够从流体状态进入到固体状态的材料；

(3) 所述带壳体积补偿装置的所述支撑壳、所述供压装置与所述流固转换材料之间空间关系具有以下特征，

在支撑壳内壁与供压装置外表面之间的至少一部分空隙中存在流固转换材料，或/和，

至少在支撑壳的一部分外部周围空间区域中存在流固转换材料；

(4) 当流固转换材料处在可流动状态时，

a. 如果支撑壳外部的流固转换材料受到的外部介质施加的压力增加，则所述流固转换材料经过所述连接通道向所述支撑壳包围的空腔中流入，挤压空腔中的供压装置，使供压装置的表现体积变小；如果支撑壳外部的或/和连接通道中的流固转换材料受到的外部介质施加的压力减小，则所述空腔中的供压装置的表现体积增大，推动所述流固转换材料向所述支撑壳外部流动；

或/和，

b. 当供压装置的表现体积增大时，供压装置挤压支撑壳空腔中的流固转换材料经过所述连接通道流出支撑壳；当供压装置的表现体积变小时，如果支撑壳外部周围的流固转换材料受到外围介质的压力作用，则流固转换材料经过所述连接通道流入支撑壳的空腔中；

(5) 当流固转换材料处在固体状态时，

所述流固转换材料与所述支撑壳组成复合壳体，复合壳体作为整体抵抗外部介质的压力；所述支撑壳能够承受凝固的流固转换材料作用在其表面上的压力。

(四) 组合结构构件

一种组合结构构件，包括A部分、B部分和C部分；其中

A部分包围有空腔，A部分为固体；

B部分是流固转换材料，所述流固转换材料是能够从可流动状态变为固体状态的材料；

C部分是一个或多个带壳体积补偿装置，所述带壳体积补偿装置如第(一)部分之一所述，每个带壳体积补偿装置包括支撑壳和供压装置；

所述带壳体积补偿装置和所述B部分材料处在A部分包围空腔中。

进一步地，所述A部分包围有一个空腔，或者所述A部分包围有两个或两个以上空腔；

当所述A部分包围有两个或两个以上空腔时，所述空腔具有以下特性：

(1) 至少有两个空腔是彼此连通的；所述连通是指二个空腔之间存在连接通道，处于可流动状态的介质能够从一个空腔流入另一个空腔；或/和，

(2) 至少有两个空腔是彼此隔离的；所述隔离是指，两个空腔之间不存在连接通道。

进一步地，至少在A部分包围的一个空腔中，所述B部分材料的选择范围包括以下四大类：

(1) 水泥基材料，

所述水泥基材料包括水泥砂浆、活性粉末混凝土、普通强度混凝土、高强混凝土、超高强混凝土；

(2) 水泥基材料与高分子材料的混合物，

所述水泥基材料中的水泥参与水化反应；

优选地，所述高分子材料为高分子乳液；

优选地，所述高分子材料是自身能够固化的高分子材料；优选地，所述自身能够固化的高分子材料是环氧树脂；

(3) 自身能够固化的高分子材料，

优选地，所述自身能够固化的高分子材料包括环氧树脂；

(4) 高分子材料与固体粉末或/和固体颗粒的混合物；

优选地，所述B部分材料是高分子材料与固体粉末的混合物；

优选地，所述B部分材料是高分子材料与固体颗粒的混合物；

优选地，所述B部分材料是高分子材料、固体粉末和固体颗粒的混合物；

优选地，所述固体粉末是金属粉末或无机非金属材料粉末；所述固体颗粒是金属颗粒或无机非金属材料颗粒；

优选地，所述无机非金属材料粉末和颗粒分别是石粉和石子。

进一步地，至少在所述A部分包围的一个空腔中，有M种所述B部分材料，分别为 $B_1, B_2 \dots B_l, B_{l+1} \dots B_M$ 材料，它们分别占据着不同的空间区域，每一种B部分材料都是流固转换材料。

进一步地，至少在A部分包围的一个空腔中，所述B部分材料至少具有以下特征甲和乙之一：

(1) 所述特征甲是，

至少存在有一个i和一个j，其中 $1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq M, i \neq j$ ，与所述i和j对应存在有至少一个时间段；在该时间段内，与 B_i 材料相比， B_j 材料具有相对高流动性；

(2) 所述特征乙是，

至少存在有一个i和一个j，其中 $1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq M, i \neq j$ ，与之对应的所述 B_i 和 B_j 材料具有以下特性：

(i) 所述 B_j 材料的可流动状态结束时刻，晚于或等于 B_i 材料的可流动状态结束时刻，早于 B_i 材料的体积收缩转折点出现时刻；或者，

(ii) 所述 B_j 材料的可流动状态结束时刻晚于或等于 B_i 材料体积收缩转折点出现的时刻。

进一步地，至少在A部分包围的一个空腔中，至少存在有一个l， $1 \leq l \leq M$ ，对应的 B_l 材料具有以下

特征甲、乙、丙三者之中的一个或两个或三个特征，

(i) 所述特征甲是，

当 B_1 材料处在可流动状态阶段时，在其中的一个时间段、或多个时间段、或全阶段内，在全部 B 部分材料中至少所述 B_1 材料受到压应力的作用；

(ii) 所述特征乙是，

当所述 B_1 材料从可流动状态进入到固体状态的凝固过程中，在其中的一个时间段、或多个时间段、或全阶段内，在全部 B 部分材料中至少所述 B_1 材料受到压应力或预压应力的作用；

(iii) 所述特征丙是，

当所述 B_1 材料凝固之后，在全部 B 部分材料中至少所述 B_1 材料受到压应力或预压应力或残留预压应力的作用；

优选地，当 $M = 1$ 时，所述 $l = 1$ ，所述 B_1 为 B_1 ，所述全部 B 部分材料是 B_1 材料。

进一步地，至少在 A 部分包围的一个空腔中，当其中的全部 B 部分材料凝固之后，所述构件至少具有以下特征之一：

(1) 在所述空腔中的一部分或多部分或全部 B 部分材料中，存在有压应力或预压应力或残余预压应力；

(2) 在所述空腔中的一部分或多部分或全部的 A 部分内壁与 B 部分材料的接触面上，存在有压应力或预压应力或残余预压应力；

(3) 在所述空腔中，所述支撑壳外表面与所述 B 部分材料的接触面上，存在有压应力。

进一步地，至少在所述 A 部分包围的一个空腔中，还存在简化加压装置；所述简化加压装置的选择范围包括，加压活塞，加压管路和其中的介质，缓凝加压液囊。

进一步地，

(1) 在所组合结构构件的一段、或多段或全部长度范围内，所述构件具有轴线；并且，

(2) 所述轴线至少具有以下特征之一，

(i) 在所述构件的全部轴线中，有一段、或多段或全部轴线是直线；

(ii) 在所述构件的全部轴线中，有一段、或多段或全部轴线是曲线；

(iii) 在所述构件的全部轴线中，至少有一段轴线是直线，并且至少有一段轴线是曲线。

进一步地，在所组合结构构件的一段、或多段或全部长度范围内，

所述构件的横截面的外轮廓线围成的图形，或/和所述 A 部分包围的所述空腔的横截面的外轮廓线围成的图形，具有以下特性，

所述图形是由直线或/和曲线围成的图形；

优选地，所述图形是外凸的；优选地，所述图形是外凸多边形；优选地，所述图形是外凸曲线图形；优选地，所述图形是圆形或椭圆形；优选地，所述图形是圆角多边形。

进一步地，所述组合结构构件具有以下特征之一

(1) 至少在所述组合结构构件的某一段长度范围内，在长度方向不同位置上，横截面的形状和尺寸分别是相同的；

(2) 至少在所述组合结构构件的某一段长度范围内，在长度方向不同位置上的横截面，形状是相似的，尺寸是不同的；

(3) 至少在所述组合结构构件的某一段长度范围内，在长度方向上能够找到至少两个不同位置，这两个位置上的横截面的形状不相似，尺寸不相同。

进一步地，所述组合结构构件是轴线为直线的只有一个空腔的柱形体受压构件；或者，所述组合结构构件是轴线为拱形曲线的只有一个空腔的受压构件。

进一步地，所述带壳体积补偿装置至少具有以下特征之一：

(1) 所述供压装置的表观体积弹性模量和表观体积变形模量都分别远低于 B 部分材料在任何阶段的体积弹性模量和体积变形模量, 所述任何阶段是指全过程中的任何阶段, 所述全过程是指所述材料从可流动状态变成达到最终强度的固态的过程;

(2) 当所述流固转换材料凝固且达到设计强度之后, 所述由流固转换材料与支撑壳组成的复合壳体的表观体积弹性模量和表观体积变形模量, 都分别远高于所述供压装置的表观体积弹性模量和表观体积变形模量;

(3) 当所述流固转换材料凝固且达到设计强度之后, 所述由流固转换材料与支撑壳组成的复合壳体能够承受周围介质施加的最大压力, 远高于供压装置单独工作时供压装置提供给周围介质的压力;

(4) 所述支撑壳的无孔洞处外表面能够承受周围介质施加的最大压力, 远高于供压装置单独工作时供压装置提供给周围介质的压力;

(5) 当所述支撑壳为管壁带孔洞的圆形钢管, 所述供压装置为长管型囊类储能装置时, 如果对外表面增加同样的径向压力, 则管壁无孔洞段的钢管的径向位移增量除以外直径, 远低于囊类供压装置的径向位移增量除以外直径。

(五) 组合结构构件的制作方法

一种组合结构的制作方法, 包括以下步骤:

(1) 获得包围有空腔的 A 部分,

(2) 把一个或多个带壳体积补偿装置放置在或固定在所述 A 部分包围的空腔中,

(3) 向所述空腔中充填 B 部分材料,

(4) 对空腔中的 B 部分材料施加压力;

在制作过程中步骤 (2) 和 (3) 不受排列顺序的影响;

所述 B 部分材料是流固转换材料,

所述带壳体积补偿装置如第 (一) 部分之一所述, 每个带壳体积补偿装置包括供压装置和支撑壳, 所述供压装置处在支撑壳的空腔之内。

进一步地,

所述组合结构构件的 A 部分包围有一个或多个空腔;

当所述空腔数量大于等于 2 个时, 所述空腔具有以下特性:

(1) 至少有两个空腔是彼此连通的; 所述连通是指二个空腔之间存在连接通道, 处于可流动状态的介质能够从一个空腔流入另一个空腔; 或/和,

(2) 至少有两个空腔是彼此隔离的; 所述隔离是指, 两个空腔之间不存在连接通道。

进一步地, 在适当的时候, 向在所述供压装置外表面与所述支撑壳内表面之间的空隙中充填流固转换材料;

优选地, 在带壳体积补偿装置被放入到 A 部分包围空腔之前, 把处在可流动状态的流固转换材料至少充填到所述供压装置外表面与所述支撑壳内表面之间的空隙中; 或/和,

当向 A 部分包围的空腔中充填 B 部分材料时, 或者在对 A 部分包围的空腔中的 B 部分材料施加压力时, 所述支撑壳外表附近外围区域中的 B 部分材料穿过支撑壳上的通道, 进入到所述供压装置外表面与所述支撑壳内表面之间的空隙中。

进一步地, 至少在 A 部分包围的一个空腔中, 所述 B 部分材料的选择范围包括以下四大类:

(1) 水泥基材料,

优选地, 所述水泥基材料包括水泥砂浆、活性粉末混凝土、普通强度混凝土、高强混凝土、超高强混凝土;

(2) 水泥基材料与高分子材料的混合物, 水泥参与水化;

优选地, 所述高分子材料是高分子乳液;

优选地, 所述高分子材料是自身能够固化的高分子材料, 包括环氧树脂;

(3) 自身能够固化的高分子材料,

优选地, 所述自身能够固化的高分子材料包括环氧树脂;

(4) 高分子材料与固体粉末或/和固体颗粒的混合物;

优选地, 所述 B 部分材料是高分子材料与固体粉末的混合物; 优选地, 所述 B 部分材料是高分子材料与固体颗粒的混合物; 优选地, 所述 B 部分材料是高分子材料、固体粉末和固体颗粒的混合物;

优选地, 所述固体粉末是金属粉末或无机非金属材料粉末; 所述固体颗粒是金属颗粒或无机非金属材料颗粒; 优选地, 所述无机非金属材料粉末和颗粒分别是石粉和石子。

进一步地, 至少在 A 部分包围的一个空腔中, 有 M 种所述 B 部分材料, 分别为 $B_1, B_2 \dots B_i, B_{i+1} \dots B_M$ 材料, 它们分别占据着不同的空间区域。

进一步地, 至少在 A 部分包围的一个空腔中, 所述 B 部分材料至少具有以下特征甲和乙之一:

(1) 所述特征甲是,

至少存在有一个 i 和一个 j, 其中 $1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq M, i \neq j$, 与所述 i 和 j 对应存在有至少一个时间段; 在该时间段内, 与 B_i 材料相比, B_j 材料具有相对高流动性;

(2) 所述特征乙是,

至少存在有一个 i 和一个 j, 其中 $1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq M, i \neq j$, 与之对应的所述 B_i 和 B_j 材料具有以下特性:

(i) 所述 B_j 材料的可流动状态结束时刻, 晚于或等于 B_i 材料的可流动状态结束时刻, 早于 B_i 材料的体积收缩转折点出现时刻; 或者,

(ii) 所述 B_j 材料的可流动状态结束时刻晚于或等于 B_i 材料体积收缩转折点出现的时刻。

进一步地, 至少在 A 部分包围的一个空腔中, 至少存在有一个 i, $1 \leq i \leq M$, 对应的 B_i 材料具有以下特征甲、乙、丙三者之中的一个或两个或三个特征,

(i) 所述特征甲是,

当 B_i 材料处在可流动状态阶段时, 在其中的一个时间段、或多个时间段、或全阶段内, 在全部 B 部分材料中至少所述 B_i 材料受到压应力的作用;

(ii) 特征乙是,

当所述 B_i 材料从可流动状态进入到固体状态的凝固过程中, 在其中的一个时间段、或多个时间段、或全阶段内, 在全部 B 部分材料中至少所述 B_i 材料受到压应力或预压应力的作用;

(iii) 特征丙是,

当所述 B_i 材料凝固之后, 在全部 B 部分材料中至少所述 B_i 材料受到压应力或预压应力或残留预压应力的作用。

进一步地, 至少在 A 部分包围的一个空腔中, 至少存在有一个带壳体积补偿装置, 当与所述支撑壳外表面接触的 B 部分材料处在可流动状态时, 所述转换结构构件具有以下特征甲或/和特征乙,

(1) 所述特征甲为,

(i) 如果所述支撑壳外表面与 A 部分的内壁之间的 B 部分材料发生体积减小, 或者在该区域中的一部分 B 部分材料流出该区域, 或者其他装置或材料在该区域中占据的空间被让出, 或者 A 部分包围空腔的容积增加; 则, 在所述支撑壳空腔内的供压装置发生体积膨胀, 推动所述支撑壳空腔内的 B 部分材料经过连接通道流入支撑壳外部周期空间区域中;

(ii) 如果所述支撑壳外表面与 A 部分的内壁之间的 B 部分材料发生体积增加, 或者在该区域中的 B 部分材料占据的空间被挤占; 则, 在所述支撑壳空腔内的供压装置的表现体积被压缩, 所述 A 部分包围空腔中的 B 部分材料经过连接通道流入支撑壳外部周期空间区域中;

(2) 所述特征乙为,

(i) 如果支撑壳空腔中的供压装置发生压力变化, 则支撑壳空腔中的 B 部分材料, 经过所述连接通道, 把压力变化传递到支撑壳外表面与 A 部分的内壁之间的 B 部分材料中;

如果支撑壳外表面与 A 部分的内壁之间的 B 部分材料发生压力变化,则这种变化能够传递到支撑壳空腔中的供压装置外表面;

或/和,

(ii) 如果支撑壳空腔中的供压装置发生体积膨胀,则支撑壳空腔中的 B 部分材料,经过所述连接通道,流入到支撑壳外表面与 A 部分的内壁之间的区域中;

如果支撑壳空腔中的供压装置发生体积收缩,并且支撑壳外表面与 A 部分的内壁之间 B 材料存在有压应力,则所述支撑壳外表面与 A 部分的内壁之间 B 材料经过连接通道进入到支撑壳的空腔中。

进一步地,所述带壳体积补偿装置至少具有以下特征之一:

(1) 所述供压装置的表观体积弹性模量和表观体积变形模量都分别远低于 B 部分材料在任何阶段的体积弹性模量和体积变形模量,所述任何阶段是指全过程中的任何阶段,所述全过程是指所述材料从可流动状态变成达到最终强度的固态的过程;

(2) 当所述流固转换材料凝固且达到设计强度之后,所述由流固转换材料与支撑壳组成的复合壳体的表观体积弹性模量和表观体积变形模量,都分别远高于所述供压装置的表观体积弹性模量和表观体积变形模量;

(3) 当所述流固转换材料凝固且达到设计强度之后,所述由流固转换材料与支撑壳组成的复合壳体能够承受周围介质施加的最大压力,远高于供压装置单独工作时供压装置提供给周围介质的压力;

(4) 所述支撑壳的无孔洞处外表面能够承受周围介质施加的最大压力,远高于供压装置单独工作时供压装置提供给周围介质的压力;

(5) 当所述支撑壳为管壁带孔洞的圆形钢管,所述供压装置为长管型囊类储能装置时,如果对外表面增加同样的径向压力,则管壁无孔洞段的钢管的径向位移增量除以外直径,远低于囊类供压装置的径向位移增量除以外直径。

进一步地,至少在 A 部分包围的一个空腔中,在所述组合结构构件中还设置有简化加压装置,该装置能够改变或维持 A 部分包围空腔中的 B 材料的压应力;

所述简化加压装置的选择范围包括,加压活塞,加压管路和其中的介质,缓凝加压液囊,其特征是简化加压装置没有配套的支撑壳。

进一步地,至少在 A 部分包围的一个空腔中,联合使用所述简化加压装置和所述带壳体积补偿装置中的供压装置来改变或维持 B 部分材料的压力;

所述联合使用的特征是,至少在某一时间段内同时使用所述供压装置和所述简化加压装置,或/和至少在某一时间段内交替使用所述供压装置和所述简化加压装置。

进一步地,所述组合结构构件是轴线为直线的受压构件,或者是轴线为拱形曲线的受压构件。

进一步地,至少在 A 部分包围的一个空腔中,至少存在有一个 i 和一个 j,其中 $1 \leq i \leq M$, $1 \leq j \leq M$, $i \neq j$,对应的 B_i 材料与 B_j 材料相邻;二者之间的关系具有以下特性之一,

(1) 所述 B_i 材料面向所述 B_j 材料一侧的任何边界面,都只与隔离装置接触,不与所述 B_j 材料接触;

(2) 在所述 B_i 材料面向所述 B_j 材料一侧的边界面上,一部分 B_i 材料边界面与隔离装置接触,不与 B_j 材料接触;还一部分 B_i 材料边界面与 B_j 材料直接接触;

(3) 所述 B_i 材料面向所述 B_j 材料一侧的任何边界面都与 B_j 材料直接接触;

优选地,在用作柱子的组合结构构件中,隔离装置是薄铁皮圆筒, B_i 材料处在圆筒内侧, B_j 材料处在圆筒外侧;优选地,圆筒的上下两端做封堵处理,上端留有进料口, B_i 材料的任何边界面都不与 B_j 材料直接接触;优选地,圆筒的上端不做封堵处理, B_i 材料上端与 B_j 材料上端部直接接触。

进一步地,至少在 A 部分包围的一个空腔中,只有一种 B 部分材料,这时 $M = 1$;

所述组合结构构件中至少有一段这样的构件,此段构件的横截面具有如下特征:

(1) 当所述构件的轴线为直线时,

(i) 如果在所述 A 部分包围空腔中只有一个所述带壳体积补偿装置, 则所述装置处在空腔横截面的几何形心上; 或者,

(ii) 如果在所述 A 部分包围空腔中有两个或两个以上所述带壳体积补偿装置, 则所述装置所处的位置关于空腔横截面的几何形心是中心对称的, 或者关于某个直线是轴对称的;

(2) 当所述构件的轴线为处在一个平面上的曲线时,

(i) 如果在所述 A 部分包围空腔中只有一个所述带壳体积补偿装置,

则所述装置处在空腔横截面的几何形心上; 或者, 所述装置的位置偏离所述空腔横截面的几何形心, 但处在轴线所在平面上;

或者,

(ii) 如果在所述 A 部分包围空腔中有两个或两个以上所述带壳体积补偿装置,

则所述装置关于所述轴线所在平面是轴对称的。

进一步地, 至少在 A 部分包围的一个空腔中, 所述 B 部分材料具有以下特征 I、II 和 III,

所述特征 I 是,

在所述 A 部分包围的空腔中, 有 B_1 和 B_2 两种 B 部分材料, 这时 $M = 2$; B_1 和 B_2 材料分别占据不同的空间区域;

所述特征 II 是,

至少有一个带壳体积补偿装置, 其外表面的全部或绝大部分与 B_2 材料接触;

所述特征 III 是,

所述 B_1 和 B_2 材料至少具有以下甲乙丙三个特征之一:

(1) 所述特征甲为,

所述 B_2 材料的可流动状态结束时刻, 晚于或等于 B_1 材料的可流动状态结束时刻, 早于 B_1 材料的体积收缩转折点出现时刻; 或者,

所述 B_2 材料的可流动状态结束时刻晚于或等于 B_1 材料体积收缩转折点出现的时刻;

(2) 所述特征乙为,

至少存在有一个时间段, 在该时间段内, 与 B_1 材料相比, B_2 材料具有相对高流动性;

(3) 所述特征丙为,

所述 B_1 和 B_2 材料至少具有以下特性之一

(i) 当 B_1 材料处在可流动状态阶段时, 在其中的一个时间段、或多个时间段、或全阶段内, 所述 B_1 或/和 B_2 材料受到压应力的作用;

(ii) 当所述 B_1 材料从可流动状态进入到固体状态的凝固过程中, 在其中的一个时间段、或多个时间段、或全阶段内, 所述 B_1 或/和 B_2 材料受到压应力或预压应力的作用;

(iii) 当所述 B_1 材料凝固之后, 所述 B_1 材料受到压应力或预压应力或残留预压应力的作用; 或/和, 所述 B_2 材料受到压应力或预压应力或残留预压应力的作用;

(iv) 当所述 B_1 和 B_2 材料都凝固之后, 所述 B_1 材料受到压应力或预压应力或残留预压应力的作用; 或/和, 所述 B_2 材料受到压应力或预压应力或残留预压应力的作用。

进一步地, 在所述 A 部分包围的空腔中, 有 B_1 、 B_2 和 B_3 三种 B 部分材料, 这时 $M = 3$; B_1 、 B_2 和 B_3 材料分别占据不同的空间区域;

所述方法至少具有以下甲乙丙三个特征之一,

(一) 所述特征甲为,

至少有一个带壳体积补偿装置与 B_3 材料接触; 当所述 B_3 材料处在可流动状态时, 如果 B_1 或/和 B_2 材料发生体积收缩, 则带壳体积补偿装置中的供压装置推动与之接触的 B_3 材料从支撑壳的孔洞流出, 填补 B_1 或/和 B_2 材料的收缩体积。

(二) 所述特征乙为,

所述 B_1 、 B_2 和 B_3 材料具有以下三个特征之一;

(1) 特征 1

- a. 所述B₂部分材料的可流动状态结束时刻晚于B₁材料体积收缩转折点出现的时刻；或/和，
- b. 所述B₃部分材料的可流动状态结束时刻，晚于B₂材料的可流动状态结束时刻，早于B₂材料的体积收缩转折点出现时刻之前；

(2) 特征 2

- a. 所述B₂部分材料的可流动状态结束时刻晚于B₁材料体积收缩转折点出现的时刻；或/和，
- b. 所述B₃部分材料的可流动状态结束时刻晚于B₂材料体积收缩转折点出现的时刻；

(3) 特征 3

- a. 所述B₂部分材料的可流动状态结束时刻，晚于或等于B₁材料的可流动状态结束时刻，早于B₁材料的体积收缩转折点出现时刻；或/和，
- b. 所述B₃材料的可流动状态结束时刻，晚于或等于B₂材料的可流动状态结束时刻，早于B₂材料的体积收缩转折点出现时刻；

(三) 所述特征丙为，

所述B₁、B₂和B₃材料至少具有以下特性之一，

- (i) 当B₁材料处在可流动状态阶段时，在其中的一个时间段、或多个时间段、或全阶段内，所述在B₁、B₂和B₃材料中至少有一种材料受到压应力的作用；
- (ii) 当所述B₁材料从可流动状态进入到固体状态的凝固过程中，在其中的一个时间段、或多个时间段、或全阶段内，在B₁、B₂和B₃材料中至少有一种材料受到压应力或预压应力的作用；
- (iii) 当所述B₁材料凝固之后，在B₁、B₂和B₃材料中至少有一种材料受到压应力或预压应力或残留预压应力的作用；
- (iv) 当所述B₁、B₂和B₃材料全部凝固之后，在B₁、B₂和B₃材料中至少有一种材料受到压应力或预压应力或残留预压应力的作用。

(六) 囊类供压装置

一种上限囊，所述上限囊具有如下特性：

如果在囊壁内外表面都只与流体接触，内部压力高于外部压力；则，

当内外压差小于某一临界值时，上限囊的表观体积随着内外压差的增加而明显增加；

当内外压差大于某一临界值时，上限囊的表观体积和外部形状相对稳定，不再随着压差的增加而明显变化。

进一步地，所述上限囊至少具有以下特征之一：

- (1) 所述上限囊是通过改变形状来改变体积；

优选地，所述囊壁材料是能够发生弯曲，但拉伸变形很小的材料；优选地，所述囊壁材料的制作方法是在高强纤维织物上涂抹橡胶等不透气的材料；

- (2) 所述上限囊是在普通囊的外面包裹一个约束套，约束套由高强纤维编制而成，当普通囊膨胀到与约束套紧密接触时，约束套会限制囊壁的膨胀；所述高强纤维拉伸伸长率小于给定值 δ ，或者，所述高强纤维在应用中给定的拉伸荷载范围内，伸长率小于给定值 δ ；

优选地，所述纤维伸长率 δ 小于5%；优选地，所述 δ 小于10%；所述 δ 小于15%；所述 δ 小于20%；

所述普通囊能够通过发生形状改变或/和尺改变来实现表观体积变化；

优选地，所述普通囊在发生爆裂之前，表观体积随着内外压差的增加明显增加，不存在内外压差临界值；优选地，普通囊为橡胶囊。

一种下限囊，具有如下特性：

当内外压差为负值时，囊的形状或/和表观体积是设计要求的形状和体积。所述内外压差是囊内流体压力与囊外流体压力的差值。

进一步地，在下限囊内部放入某种形状的支撑物，支撑物的形状决定了囊壁在外部高压作用下

的最终形状；

优选地，所述支撑物的形状的包括，三叶型、四叶型、哑铃形、圆形等；

优选地，所述支撑物用三叶型、四叶型、哑铃形、圆形钢管制作，钢管壁上分布有众多的小孔，气体能够从小孔通过；优选地，小孔直径介于 0.1-1mm；当囊壁被压得与钢管外表面接触时，气囊中的气体，或气液囊中的气体和液体被挤入到钢管内部；

优选地，所述钢管两端设置有封堵装置，表面光滑，预防刺破囊壁。

优选地，所述下限囊的囊壁材料的切向伸长量很小，内部放置有哑铃形、三叶形、四叶形的支撑物，囊的截面周长要略大于或等于支撑物截面的周长。

这时，所述下限囊实际上是双限囊。

优选地，所述囊壁材料的切向伸长能力很大（如橡胶），支撑物除了可选用哑铃形、三叶形、四叶形（图 8）的之外，还可以选用圆形、三角形、正方形等形状。

一种双限囊，具有以下两个特性：

（1）如果在囊壁内外表面都只与流体接触，内部压力高于外部压力；则，

当内外压差小于某一临界值时，上限囊的表观体积随着内外压差的增加而明显增加；

当内外压差大于某一临界值时，上限囊的表观体积和外部形状相对稳定，不再随着压差的增加而明显变化；

（2）当内外压差为负值时，气囊的形状或/和表观体积是设计要求的形状和体积。

说明书附图

图 1 带壳体积补偿装置的横截面剖面图；

图 2 带壳体积补偿装置的纵剖面图；

图 3 对接型带壳体积补偿装置，长条形供压装置；

图 4 对接型带壳体积补偿装置，圆球形供压装置；

图 5 是脆性外壳的截面形状；

图 6 化学反应自膨胀装置示意图；

图 7 化学反应自膨胀装置示意图；

图 8 下限囊中的支撑物横截面形状；

图 9 下限囊被压到下限；

图 10 下限囊的囊壁充分展开；

图 11 带壳体积补偿装置的工作原理图；

图 12 含有一种 B 材料和一个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，纵向平面图；

图 13 含有一种 B 材料和一个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，横截面剖面图；

图 14 含有一种 B 材料和一个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，横截面局部放大图；

图 15 含有一种 B 材料和一个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件中的带壳体积补偿装置，纵剖面图，

图 16 含有一种 B 材料和一个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，纵向平面图；

图 17 含有一种 B 材料和六个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，纵向平面图；

图 18 含有一种 B 材料和六个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，横截面剖面图；

图 19 含有两种 B 材料和一个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，纵向平面图；

图 20 含有两种 B 材料和一个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，横截面剖面图；

图 21 含有两种 B 材料和一个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，横截面局部放大图；

图 22 含有两种 B 材料和两个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，纵向平面图；

图 23 含有两种 B 材料和两个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，横截面剖面图；

图 24 含有两种 B 材料和两个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，横截面局部放大图；

图 25 含有两种 B 材料和四个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，纵向平面图；

图 26 含有两种 B 材料和四个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，横截面剖面图；

图 27 含有两种 B 材料和四个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，横截面局部放大图；
图 28 含有两种 B 材料和一个带壳体积补偿装置的钢管混凝土拱形受压构件，纵向平面图；
图 29 含有两种 B 材料和一个带壳体积补偿装置的钢管混凝土拱形受压构件，横截面剖面图；
图 30 含有两种 B 材料和一个带壳体积补偿装置的钢管混凝土拱形受压构件，横截面局部放大图；
图 31 含有三种 B 材料和一个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，横截面剖面图；
图 32 含有三种 B 材料和一个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，横截面局部放大图；
图 33 含有三种 B 材料和两个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，横截面剖面图；
图 34 含有三种 B 材料和两个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，横截面局部放大图；
图 35 含有三种 B 材料和四个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，纵截面剖面图；
图 36 含有三种 B 材料和四个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，横截面剖面图；
图 37 含有三种 B 材料和四个带壳体积补偿装置的钢管混凝土受压构件，横截面半剖视图；
图 38 含有三个空腔的钢管用作 A 部分，横截面剖面图。
图 39 含有三个柱肢的格构柱；
图 40 含有三个柱肢的格构柱。

具体实施方式

(一) 带壳体积补偿装置

一种带壳体积补偿装置，包括供压装置和支撑壳；

所述支撑壳包围有空腔，在所述空腔与所述支撑壳外部周围空间区域之间有连接通道；

所述供压装置处在所述空腔之中；

所述供压装置能够向与其接触的介质提供压力。

以图 1~图 4 为例进行说明。这些图只用于说明，并不构成对发明内容的限制。图 1 视为图 2~图 4 的剖面图，图 1 分别与图 2、图 3 以及图 4 组合表示三种情况。

在图 1、图 2 中，支撑壳是钢管 32，管壁上带有孔洞 3201，管子的一端是外凸的壳体，管子的另一端用带有螺纹的丝堵 3202 封堵着，丝堵 3202 可以从管子 32 上卸下和装上。在支撑壳 32 的空腔中安装有供压装置 31。安装时，从有丝堵的那一端把供压装置 31 装入管子中，然后把丝堵 3202 拧上。

在图 3 中，支撑壳包括上部分 321、下部分 322 和连接套 323。上部分 321 和下部分 322 之间可以分开，二者用连接套 323 连接到一起。把支撑壳分成上下两个部分是为了能够把供压装置 31 装入支撑壳的空腔中。支撑壳的上部分带有孔洞 3211，下部分带有孔洞 3221。

在图 1 和图 4 中，支撑壳与图 3 中的相同，供压装置是若干个球形气囊或/和球形气液囊或/和实心弹性体球体。

在图 1、图 2 中管壁上的孔洞 3201 就是所述连接通道；在图 3 和图 4 中孔洞 3211 和孔洞 3221 也都是连接通道。

支撑壳的优选形式

支撑壳的优选形式包括管子、外凸壳体。

用作支撑壳的管子的优选形式

所述管子的管壁上无孔洞，所述管子至少有一端是没有封堵的；

所述管子的管壁上有孔洞，所述管子的至两端都被封堵；

所述管子的管壁上有孔洞，所述管子的两端中至少有一端没有被封堵；

优选地，所述管子的横截面的外轮廓线是外凸的，适合承受周围的均匀的法向压力；优选地，所述管子的横截面外轮廓线是圆形或椭圆形。

当支撑壳是管子时，无论管壁上是否加工有孔洞，只要管子至少有一端没有封堵，在管子没有封堵端由管壁内表面包围的管孔就是把管子空腔与管子外部周围空间区域连接起来的连接通道，这个通道的横截面与管子空腔的横截面相同。

外凸壳体的优选形式

所述用作支撑壳的外凸壳体是球形壳体或椭球型壳体，所述壳体带有孔洞。

支撑壳材料

所述管子和外凸壳体的制作材料是金属、复合材料、高分子材料。

优选地，所述管子、所述外凸壳体的制作材料是结构钢。

供压装置

供压装置的选择范围包括，加压装置、储能装置和加压储能装置。

储能装置

所述储能装置具有如下特性，

当储能装置外表面受到的压力升高时，储能装置表观体积变小，储能装置吸收能量；或/和，当外表面受到的压力降低时，储能装置表观体积增加，储能装置释放能量。

所述储能装置的选择范围包括，气囊、气液囊、储能液囊，实心弹性体储能装置、弹性外壳储能装置。

储能液囊

所述储能液囊的特征是，液囊通过管路与蓄能器连接，当液囊中的液体压力升高时，液体被挤入蓄能器；当液囊中的液体压力降低时，蓄能器中的液体流出蓄能器。

气囊

所述气囊的特点是，在囊内充填有压缩气体。

气液囊

所述气液囊的特点是，在囊内充填有液化气体，并且囊内介质一部分处在气态，另一部分处在液体。

加压装置

所述加压装置的特点是，能够改变或维持其外表面和与之接触的介质之间的压力。

所述加压装置的选择范围包括，加压气囊、加压液囊、加压气液囊、自膨胀装置。

优选地，所述自膨胀装置为甲型自膨胀装置；优选地，所述甲型自膨胀装置是甲1型自膨胀装置；优选地，所述甲1型自膨胀装置是甲1a型或/和甲1b型自膨胀装置。

优选地，所述自膨胀装置为乙型自膨胀装置。

加压气囊

所述加压气囊通过管路与气压源连接，气压源能够调节管路和气囊中的气体压力。优选地，所述气压源是气泵。当气泵停止工作是，加压气囊变为储能装置。

加压液囊

所述加压液囊通过管路与液压源连接，液压源能够调节管路和液囊中的液体压力。优选地，加压液囊的管路中还连接有蓄能器，如果蓄能器容积很小，则蓄能器只起到稳压的作用，加压液囊仍然可视为加压液囊；如果蓄能器的容积较大，则加压液囊变为加压储能液囊。

加压气液囊

所述加压气液囊通过管路与气压源或/和液压源连接，气压源或/和液压源能够调节管路和气液囊中的

气体或/和液体压力。

加压储能装置

所述加压储能装置具有以下特性甲和特性乙，

所述特性甲为，

加压储能装置能够改变或维持其外表面和与之接触的介质之间的压力；

所述特性乙为，

在其他影响因素不变的条件下，如果周围的可流动介质压力升高，则加压储能装置表观体积变小；或/和，如果周围的可流动介质压力降低，则加压储能装置表观体积增加。

所述加压储能装置的选择范围包括，加压气囊、加压气液囊、加压储能液囊，甲型自膨胀装置和乙型自膨胀装置。

优选地，所述甲型自膨胀装置是甲1型自膨胀装置；优选地，所述甲1型自膨胀装置是甲1a型或/和甲1b型自膨胀装置。加压气囊和加压气液囊中的气体是可压缩的，具有储能的作用，故二者可视为加压储能装置。

加压储能液囊

所述加压液囊的特点是，液囊通过管路除了与液压源连接，还与蓄能器连接。液压源能够调节管路中的液体压力；蓄能器存储和释放能量，稳定液体压力。

流固转换供压装置

流固转换供压装置的特点为：（1）在所述供压装置内部存在有流体介质，该介质是供压装置产生压力的主要来源；（2）所述流体介质随着时间的增加，由流体转换为固体。

优选地，所述流固转换供压装置为储能液囊、加压液囊或加压储能液囊，囊中流体介质是流固转换材料。

囊类供压装置

所述囊类装置包括囊类加压装置、囊类储能装置和囊类加压储能装置。

囊类加压装置包括，加压气囊、加压液囊、加压气液囊；

囊类储能装置包括，气囊、气液囊和储能液囊；

囊类加压储能装置包括，加压气囊、加压气液囊、加压储能液囊。

优选囊类装置

按照囊的变形特性划分，所述囊类供压装置包括，普通囊、上限囊、下限囊和双限囊。

所述普通囊包括普通气囊、普通气液囊、普通液囊，所述上限囊包括上限气囊、上限气液囊、上限液囊，所述下限囊包括下限气囊、下限气液囊、下限液囊，所述双限囊包括双限气囊、双限气液囊、双限液囊。

普通囊

所述普通囊能够通过发生形状改变或/和尺寸改变来实现表观体积变化。

优选地，所述普通囊的囊壁都是用容易发生弯曲变形和容易发生拉伸变形的材料制成；优选地，所述普通囊的囊壁材料是橡胶。

所述普通气囊、普通气液囊、和普通液囊的囊壁都是用容易发生弯曲变形和容易发生拉伸变形的材料制成；优选地，所述普通气囊、普通气液囊、和普通液囊的囊壁材料是橡胶。

普通气囊、普通气液囊用作储能装置

当储装置是普通气囊或普通气液囊时，优选方案之一是，只在普通气囊或普通气液囊处在支撑壳的空腔中的条件下，才给气囊或气液囊充气到设计的压力值。当气压达到设计值时，气囊或气液囊的外壁与所

述支撑壳的内壁紧密接触并存在有接触压应力,气囊或气液囊中的气压几乎等于气囊或气液囊外表面与支撑壳内表面之间的正应力。优选地,在支撑壳内壁的孔洞处放置遮挡物,预防囊壁被挤入孔洞中。优选地,所述遮挡物是片状物品;优选地,遮挡物是塑料片。

上限囊

所述上限囊具有如下特性:如果在囊壁内外表面都只与流体接触,并且内部压力高于外部压力;则,当内外压差小于某一临界值时,上限囊的表观体积随着内外压差的增加而明显增加;

当内外压差大于某一临界值时,上限囊的表观体积和外部形状相对稳定,不再随着压差的增加而明显变化。

优选地,所述上限囊是通过改变形状来改变体积;优选地,所述囊壁材料是能够发生弯曲,但拉伸变形很小的材料;优选地,所述囊壁材料的制作方法是在高强纤维织物上涂抹能够固化的橡胶等不透气的材料。

优选地,所述上限囊是在普通囊的外面包裹一个约束套,约束套由高强纤维编制而成,当普通囊膨胀到与约束套紧密接触时,约束套会限制囊壁的膨胀。如果再增加内部流体压力,将出现囊壁和约束套共同抵抗囊内流体的压力情况,囊的膨胀量会受到限制。

优选地,所述上限囊是上限气囊或上限气液囊;优选地,当上限囊到达体积上限时,其形状和尺寸使之适合被放入到支撑壳的空腔中。

优选地,在所述支撑壳的空腔中放置有一个气压达到要求上限气囊或上限气液囊;

优选地,在所述支撑壳的空腔中放置有多个气压达到要求上限气囊或上限气液囊;

优选地,所述支撑壳是圆形截面管子,在管子内部放置一个圆管形上限气囊或圆管形上限气液囊作为储能装置,参见图 1~图 3。所述上限气囊 31 或上限气液囊 31 的长度低于支撑壳的长度(图 2),气囊 31 或气液囊 31 达到上限体积时,其横截面外径略小于管子的内径。

优选地,在管子内部放置多个圆管形上限气囊或上限气液囊,气囊或气液囊的合计长度小于支撑壳。

优选地,所述支撑壳是直径较大的管子,在所述管子内部放置多个球形上限气囊或球形上限气液囊,见图 4。优选地,所述管子两端至少有一端不进行封堵;优选地,所述管子两端都进行封堵;

优选地,当达到体积上限时,所述球形上限气囊或上限气液囊的直径略小于支撑壳的内径;优选地,当达到体积上限时,所述球形上限气囊或上限气液囊的直径与管子内径之比介于 0.5~0.7,或介于 0.7~0.95。

优选地,所述支撑壳是球形壳体或椭球形壳体,在所壳体的空腔中放置有一个或多个球形上限气囊或上限气液囊。

下限囊

下限囊具有以下特性:当内外压差为负值时,囊的形状或/和表观体积是设计要求的形状和体积。所述内外压差是囊内流体压力与囊外流体压力的差值。

优选地,在下限囊内部放入某种形状的支撑物,支撑物的形状决定了囊壁在外部高压作用下的最终形状。优选地,所述支撑物的形状的包括,三叶型、四叶型、哑铃形、圆形等,见图 8。优选地,所述支撑物用三叶型、四叶型、哑铃形、圆形钢管制作,钢管壁上分布有众多的小孔,气体能够从小孔通过;优选地,小孔直径介于 0.1~1mm。当囊壁被压得与钢管外表面接触时,气囊中的气体,或气液囊中的气体和液体被挤入到钢管内部。钢管两端设置有封堵装置,表面光滑,预防刺破囊壁。

优选地,所述下限囊的囊壁材料的切向伸长量很小,内部放置有哑铃形、三叶形、四叶形的支撑物(见图 8),囊的截面周长要略大于或等于支撑物截面的周长。这时,所述下限囊实际上是双限囊。

优选地,所述囊壁材料的切向伸长能力很大(如橡胶),支撑物除了可选用哑铃形、三叶形、四叶形(图 8)的之外,还可以选用圆形、三角形、正方形等形状。

图 9 和图 10 为三叶形支撑物放入到囊内部的示意图。这时周围囊壁外表面上的静压力把囊壁 312 压得贴紧支撑物 311 表面,壁囊 312 的形状与支撑物 311 相同(图 9);当囊内流体压力大于周围的静压力时,下限囊膨胀;当囊壁充分展开后,截面将近似为圆形,见图 10。

双限气囊

在所述带壳体积补偿装置中，所述供压装置是双限气囊。

双限气囊同时具有上限气囊和下限气囊的特性，即具有以下两个特性：

- (1) 在囊壁内外表面都只与流体接触的条件下，当压差大于某一临界值时，上限气囊的表观体积和外部形状相对稳定，不再随着压差的增加而明显变化。所述压差是囊内流体压力与囊外流体压力的差值；
- (2) 当压差为负值时，气囊的形状或/和表观体积是设计要求的形状和体积。

长条形一体囊

当内部充满流体之后，囊的外形是长条形的，囊的全部或几乎全部材料是同一类的，囊的各部分之间没有明显的截面。优选地，所述长条形一体囊是橡胶囊。

长条形组合囊

包括柔性管路和两端的封堵装置，柔性管路与两端的封堵装置连接在一起。

优选地，所述柔性管路的材料至少在周长方向能够发生弯曲，抗弯刚度接近于 0；所述柔性管路的材料在管路的周长方向发生的伸长应变小于给定值 δ ；优选地，所述柔性管路的材料在管路的周长方向发生的伸长应变大于给定值 δ ；优选地，所述 δ 小于等于 5%。

优选地，所述柔性管路是在周长方向能够发生伸长的橡胶管、柔性 PVC 管。优选地，柔性管路是薄壁金属管，壁厚类接近于易拉罐的侧壁厚度；优选地，在囊内充填流体之前，囊的横截面外形为三叶形、四叶形。

实心弹性体储能装置

在所述带壳体积补偿装置中，所述供压装置是实心弹性体储能装置。

所述实心弹性体储能装置是实心弹性体，所述弹性体的材料是橡胶、聚氨酯的等弹性变形量很高的材料。

弹性外壳储能装置

在所述带壳体积补偿装置中，所述供压装置是弹性外壳储能装置。

弹性外壳储能装置的特征是，用弹性材料制作外壳，外壳包围封闭空腔；当受到周围液体压力作用时，外壳中至少有一部分区域发生弯曲变形。这种外壳主要靠弯曲变形来储存能量。

自膨胀装置

所述自膨胀装置是，表观体积能够发生膨胀的装置，或在一定条件下表观体积能够发生膨胀的装置。

甲型自膨胀装置

甲型自膨胀装置包括外皮和气体生成装置。外皮是用无渗透性或几乎无渗透性材料制作的可改变表观体积的密闭装置，或可改变外观形状和表观体积的密闭装置；所述无渗透性是指有压力的气体或/和液体不能够通过外皮渗出。当达到某种预设条件时，气体生成装置能够产生气体，所述气体从内部挤压外皮，使自膨胀装置的表观体积增加。

优选地，所述甲型自膨胀装置外皮是用高分子材料制作的封闭装置，当其充分鼓胀之后，外形是管状、球状或椭球状；优选地，所述高分子材料是橡胶。

优选地，所述甲型自膨胀装置外皮是两端封堵的非圆形截面金属薄壁管，当内壁压力挤压时，薄壁管的发生形状变化，表观体积增加。

甲 1 型自膨胀装置

甲 1 型自膨胀装置内的气体生成装置中至少含有两种材料，所述两种材料平时彼此隔离；当满足某种

条件时所述两种材料彼此混合，发生化学反应，产生气体，气体推动外皮膨胀。

优选地，当气体产生装置受到的压力达到预设值时，两种材料混合，产生气体。优选地，所述两种材料分别是碳酸氢钠和含有氢离子的液体。优选地，在自膨胀装置上安装有安全阀，以保证气体压力维持在预设值附近。当气体压力超出安全阀的预设压力值时，气体从阀口排除，当气体压力低于预设值时，安全阀关闭。

优选地，所述两种产生气体的材料分别是水和聚氨酯注浆液。

甲 1a 型自膨胀装置——脆性外壳胶囊

甲 1a 型自膨胀装置的外皮包围的密闭空间中存放有化学成分 a，以及一个脆性外壳包裹着化学成分 b 的装置，化学成分 a 和 b 混合时能够产生气体。当想让自膨胀装置发生膨胀时，只要对其进行挤压，就可启动该装置发生自膨胀。其膨胀机理是：当对自膨胀装置的外皮进行挤压时，外皮会挤压其内部的脆性外壳，使之发生破裂，进而使化学成分 a 和 b 混合，产生气体，气体推动外皮膨胀。

优选地，脆性外壳是用脆性材料制作的、两端封闭的、非圆形断面的管子 313。进一步地，玻璃管的断面是椭圆形的，或者是矩形的，或者是矩形与两个半圆形的组合，见图 5。优选地，所述脆性材料是脆性高分子材料或玻璃；优选地，所述脆性高分子材料是脆性塑料。

优选地，自膨胀装置的外皮是两端封闭的橡胶管 310，见图 6，其内部放置着化学成分 a (312) 和两端封闭的、矩形截面的玻璃管 313，玻璃管内充填的液体是化学成分 b (314)。当橡胶管受到周围的静水压力挤压时，橡胶管挤压其内部的玻璃管 313，使之发生破裂，进而使其中的液体化学成分 a (314) 流出与成分 b (312) 发生反应产生气体。进一步地，成分 a 为碳酸钠，成分 b 为盐酸。优选地，成分 a 是聚氨酯注浆液，成分 b 是水，二者混合发泡，产生体积膨胀，生成物固化后还具有一定强度。

优选地，化学成分 a 和 b 的质量要根据生产气体的质量来确定，所述气体的质量根据环境温度、气体的体积和气体压力来确定。

优选地，在自膨胀装置上设置有安全阀，当气体压力超出预设值时，排放部分气体，保证压力不高出规定值。

甲 1b 型自膨胀装置——脆性外壳胶囊

在甲 1b 型自膨胀装置的密闭空间中放置有两个有封闭装置甲和乙，装置甲和乙的外壳都是脆性外壳，装置甲内部放入一种化学成分 a，装置乙内部放入另一种化学成分 b，当成分 a 和 b 混合时能够产生气体。当装置甲和乙在受到外皮 310 挤压时先后都会发生破碎，其中的成分 a 和 b 混合之后产生气体，气体膨胀推动自膨胀装置膨胀，使其表现体积增加。

优选地，自膨胀装置是两端封闭的 PVC 管 310，见图 7。PVC 管 310 的内部放置着两个两端封闭的矩形截面脆性塑料管 311 和 313，脆性塑料管 311 内部充填的是化学成分为 a 的液体 312，脆性塑料管 313 内部充填的是化学成分为 b 液体 3214。当脆性塑料管受到自膨胀装置的外皮挤压时，如果压力达到某一数值，脆性塑料管 3211 和 3213 就会先后或同时发生破裂。当两个脆性塑料管中的液体 314 与 312 都流出来时，混合之后发生反化学反应，产生的气体从内部挤压橡胶管向外膨胀。

优选地，成分 a 为碳酸钠溶液，成分 b 为盐酸。

优选地，成分 a 是聚氨酯注浆液，成分 b 是水，二者混合后发泡，产生体积膨胀，生成物固化后还具有一定强度。

乙型自膨胀装置——记忆合金类装置

所述乙型自膨胀装置用形状记忆合金制作，或者使用的材料中有形状记忆合金。

当温度变化时记忆合金发生形状变化，进而使自膨胀装置发生体积变化。

当温度处在 T1 区间范围时，自膨胀装置的外表面包围的体积为最小或接近最小；当温度处在 T2 区间范围时，该装置的外表体积最大或接近最大；组合结构的内部温度不在 T1 区间温度范围内，但是在 T2 区间温度范围内；

在用来对 A 部分包围空腔中的 B 部分材料施加压力之前，记忆合金自膨胀装置放置在 T1 温度范围

内；当放入到 A 部分包围空腔中之后，由于温度在 T2 温度范围内，装置的外表体积发生膨胀，对 B 部分材料进行挤压。

一种常用的自膨胀装置是，用形状记忆合金制作的、两端封闭的管子。当温度进入到 T2 区间范围内时，管壁横截面形状发生变化，外表面包围体积发生膨胀，对含水泥材料施加压力；管壁横截面形状发生变化时，横截面上至少有一段管壁发生弯曲；由于管壁弯曲时能够存储大量弹性能，这种装置也具有储能功能。

另一种自膨胀装置是，用柔性材料与记忆合金联合制作，当记忆合金发生形状变化时，带动柔性材料一起变化，进而改变自膨胀装置外表面包围的体积。

(二) 带壳体积补偿装置的制作方法

一种带壳体积补偿装置的制作方法，其特征是，用此方法能够制作带壳体积补偿装置。

一种带壳体积补偿装置的制作方法，包括制作支撑壳和制作装置供压装置。

优选地，把供压装置安装到支撑壳的空腔中。

(三) 使用带壳体积补偿装置对周围介质提供压力的方法

一种使用带壳体积补偿装置对周围介质提供压力的方法，其特征是，

(1) 提供压力的过程中使用所述带壳体积补偿装置；

(2) 在使用所述带壳体积补偿装置提供压力的过程中，除了使用所述支撑壳和所述供压装置之外，还需要流固转换材料参与；

(3) 所述带壳体积补偿装置的所述支撑壳、所述供压装置与流固转换材料之间存在以下关系，在支撑壳内壁与供压装置外表面之间存在所述流固转换材料；或/和，在支撑壳外部周围空间区域中，至少有一部分区域存在所述流固转换材料；

(3) 当流固转换材料处在可流动状态时，则所述装置具有以下的特性甲或/和特性乙，

所述特性甲为，

如果支撑壳外部的流固转换材料受到的外部介质施加的压力增加，则所述流固转换材料经过所述通道向所述支撑壳包围的空腔中流入，挤压空腔中的供压装置，使供压装置的表观体积变小；或/和，

如果支撑壳外部的或通道中的流固转换材料受到的外部介质施加的压力减小，则所述空腔中的供压装置的表观体积增大，推动所述流固转换材料向所述支撑壳外部流动；

所述特性乙为，

如果支撑壳内部的供压装置表观体积增大，则处在支撑壳内部的流固转换材料经过所述通道流向支撑壳的外部；

如果支撑壳内部的供压装置表观体积变小，并且处在支撑壳外部的流固转换材料受到周围介质的挤压，则处在支撑壳外部的或通道中流固转换材料，经过所述通道流向支撑壳的内部；(4) 当流固转换材料处在固体状态时，

则所述流固转换材料与所述支撑壳组成复合壳体，复合壳体作为整体抵抗外部介质的压力。

以图 11 为例进行说明。这些图只用于说明，并不构成对发明内容的限制。

在图 11 中，支撑壳 32 上带有孔洞 321，供压装置 31 处在支撑壳 32 包围的空腔中，在供压装置的外表面与支撑壳的内壁之间存在有流固转换材料 331，在通道 321 中存在有流固转换材料 332，在支撑壳 32 外部周围空间区域中存在有流固转换材料 333。所述不同区域中的流固转换材料 331、332 和 333 是同一种材料。优选地，所述流固转换材料环绕支撑壳 32 的全部外表面；优选地，所述支撑壳只有的一部分外表面与所述流固转换材料接触。

(四) 一种组合结构构件

一种组合结构，包括 A 部分、B 部分和 C 部分；其中

A 部分包围有空腔，由固体材料制作；

B 部分由流固转换材料构成，所述流固转换材料是能够从可流动状态变成固体状态的材料；

C 部分是一个或多个带壳体积补偿装置，每个带壳体积补偿装置包括支撑壳和供压装置，所述供压装置处在所述支撑壳的空腔中；

所述带壳体积补偿装置和 B 部分材料处在 A 部分包围空腔中。

在所述供压装置外表面与支撑壳内表面之间的空隙中或/和在支撑壳的外部周围区域中存在有流固转换材料；优选地，所述流固转换材料与 B 部分材料是同一种材料，或者与某一种 B 部分材料是同一种材料。

A 部分的优选形式

所述 A 部分包围有一个空腔。

所述 A 部分包围有两个或两个以上空腔，所述空腔具有以下特性：

(1) 至少有两个空腔是彼此连通的；所述连通是指二个空腔之间存在连接通道，处于可流动状态的介质能够从一个空腔流入另一个空腔；或/和，

(2) 至少有两个空腔是彼此隔离的；所述隔离是指，两个空腔之间不存在连接通道。

优选地，所述 A 部分包括管子及其两端的封堵装置。优选地，至少有一端的所述封堵装置的横截面大于所述管子的横截面；优选地，至少有一端封堵装置所在横截面的外轮廓线包围图形与所述管子横截面外轮廓线包围图形是相同。优选地，所述管子是钢管或 FRP 管。

优选地，所述 A 部分是球形或椭球型壳体。

举例说明。如图 28 所示，三腔钢管中空腔 2.2 分别与空腔 2.1 和空腔 2.3 相邻，其中空腔 2.1 与 2.2 之间是连通的，二者之间的隔板 12.2 上有孔洞 12.2.1；空腔 2.2 与 2.3 之间是隔离的。在图 39 和图 40 中，三肢格构柱中的柱肢 12.1、柱肢 12.2 和柱肢 12.3 的空腔是彼此隔离的，每个空腔中都充填有混凝土。缀管与柱肢没有连通。

B 部分材料的成分

所述 B 部分材料是流固转换材料，所述流固转换材料的选择范围包括但不限于以下几种：

(1) 水泥基材料，

优选地，所述水泥基材料包括水泥砂浆、活性粉末混凝土 (RPC)、普通强度混凝土 (NHSC)、高强混凝土 (HSC)、超高强混凝土 (UHSC)；

(2) 水泥基材料与高分子材料的混合物，水泥参与水化；

优选地，所述高分子材料是高分子乳液；

优选地，所述高分子材料是自身能够固化的高分子材料，包括环氧树脂；

(3) 自身能够固化的高分子材料，

优选地，所述自身能够固化的高分子材料包括环氧树脂；

(4) 高分子材料与固体粉末或/和固体颗粒的混合物；

优选地，所述 B 部分材料是高分子材料与固体粉末的混合物；优选地，所述 B 部分材料是高分子材料与固体颗粒的混合物；优选地，所述 B 部分材料是高分子材料、固体粉末和固体颗粒的混合物；

优选地，所述固体粉末是金属粉末或无机非金属材料粉末；所述固体颗粒是金属颗粒或无机非金属材料颗粒；优选地，所述无机非金属材料粉末和颗粒分别是石粉和石子。

M 种 B 材料

至少在所述 A 部分包围的一个空腔中，有 M 种所述 B 部分材料，分别为 $B_1, B_2 \dots B_i, B_{i+1} \dots B_M$ 材

料，它们分别占据着不同的空间区域，每一种 B 部分材料都是流固转换材料。

力学性质

至少在 A 部分包围的一个空腔中，所述 B 部分材料至少具有以下特征甲和乙之一：

(1) 所述特征甲是，

至少存在有一个 i 和一个 j ，其中 $1 \leq i \leq M$ ， $1 \leq j \leq M$ ， $i \neq j$ ，与所述 i 和 j 对应存在有至少一个时间段；在该时间段内，与 B_i 材料相比， B_j 材料具有相对高流动性；

(2) 所述特征乙是，

至少存在有一个 i 和一个 j ，其中 $1 \leq i \leq M$ ， $1 \leq j \leq M$ ， $i \neq j$ ，与之对应的所述 B_i 和 B_j 材料具有以下特性：

(i) 所述 B_j 材料的可流动状态结束时刻，晚于或等于 B_i 材料的可流动状态结束时刻，早于 B_i 材料的体积收缩转折点出现时刻；或者，

(ii) 所述 B_j 材料的可流动状态结束时刻晚于或等于 B_i 材料体积收缩转折点出现的时刻。

B 材料经历的压应力

至少在 A 部分包围的一个空腔中，至少存在有一个 i ， $1 \leq i \leq M$ ，对应的 B_i 材料具有以下特征甲、乙、丙三者之中的一个或两个或三个特征，

(i) 所述特征甲是，

当 B_i 材料处在可流动状态阶段时，在其中的一个时间段、或多个时间段、或全阶段内，在全部 B 部分材料中至少所述 B_i 材料受到压应力的作用；

(ii) 所述特征乙是，

当所述 B_i 材料从可流动状态进入到固体状态的凝固过程中，在其中的一个时间段、或多个时间段、或全阶段内，在全部 B 部分材料中至少所述 B_i 材料受到压应力或预压应力的作用；

(iii) 所述特征丙是，

当所述 B_i 材料凝固之后，在全部 B 部分材料中至少所述 B_i 材料受到压应力或预压应力或残留预压应力的作用。

B 材料全部凝固之后构件中的应力

至少在 A 部分包围的一个空腔中，当其中的全部 B 部分材料凝固之后，

(1) 在所述空腔中的一部分或多部分或全部 B 部分材料中，存在有压应力或预压应力或残余预压应力；或/和，

(2) 在所述空腔中的一部分或多部分或全部的 A 部分内壁与 B 部分材料的接触面上，存在有压应力或预压应力或残余预压应力；

(3) 在所述空腔中，所述支撑壳外表面与所述 B 部分材料的接触面上，存在有压应力。

简化加压装置

至少在所述 A 部分包围的一个空腔中，还存在简化加压装置，该装置能够改变或/和维持 A 部分包围空腔中的 B 材料的压应力。

所述简化加压装置的选择范围包括，加压活塞，加压管路和其中的介质，缓凝加压液囊。

所述加压活塞是表面光滑的固体材料杆件，它穿过 A 部分上的活塞孔伸入到 A 部分包围的空腔中，加压活塞与活塞孔之间做密封处理；加压活塞能够沿着其长度方向移动，通过挤占 B 部分材料占据的空间来增加其压力，或/和通过让出其挤占的空间来减少压力。

所述加压管路和其中的介质是，连接在外置加压力源与 A 部分包围空腔中的管路，管路中的介质是处在可流动状态的 B 部分材料；当压力源增加压力时，管路中的 B 部分材料进入 A 部分包围的空腔中；

所述缓凝加压液囊的特征是，液囊处在 A 部分包围的空腔中；液囊中充填的是缓凝流固转换材料，其凝固出现的时刻晚于加压结束的时刻。

构件外形

所述构件具有以下特征：

- (1) 在所组合结构构件的一段、或多段或全部长度范围内，所述构件具有轴线；并且，
- (2) 所述轴线至少具有以下特征之一，
 - (i) 在所述构件的全部轴线中，有一段、或多段或全部轴线是直线；
 - (ii) 在所述构件的全部轴线中，有一段、或多段或全部轴线是曲线；
 - (iii) 在所述构件的全部轴线中，至少有一段轴线是直线，并且至少有一段轴线是曲线。

在所组合结构构件的一段、或多段或全部长度范围内，所述构件的横截面的外轮廓线围成的图形是由直线或/和曲线围成的图形；优选地，所述图形是外凸的；优选地，所述图形是外凸多边形；优选地，所述图形是外凸曲线图形；优选地，所述图形是圆形或椭圆形；优选地，所述图形是圆角多边形。

在所组合结构构件的一段、或多段或全部长度范围内，在所述 A 部分包围的空腔中，至少有一个空腔的横截面的外轮廓线围成的图形是由直线或/和曲线围成的图形；优选地，所述图形是外凸的；优选地，所述图形是外凸多边形；优选地，所述图形是外凸曲线图形；优选地，所述图形是圆形或椭圆形；优选地，所述图形是圆角多边形。

所述组合结构构件具有以下特征之一

- (1) 至少在所述组合结构构件的某一段长度范围内，在长度方向不同位置上，横截面的形状和尺寸分别是相同的；
- (2) 至少在所述组合结构构件的某一段长度范围内，在长度方向不同位置上的横截面，形状是相似的，尺寸是不同的；
- (3) 至少在所述组合结构构件的某一段长度范围内，在长度方向上能够找到至少两个不同位置，这两个位置上的横截面的形状不相似，尺寸不相同。

优选地，所述组合结构构件是轴线为直线的只有一个空腔的柱形体受压构件；优选地，所述组合结构构件是轴线为拱形曲线的只有一个空腔的受压构件；所述拱形受压构件横截面的形状和尺寸沿着长度方向不发生变化。

隔离装置

至少在 A 部分包围的一个空腔中，至少存在有一个 i 和一个 j，其中 $1 \leq i \leq M$ ， $1 \leq j \leq M$ ， $i \neq j$ ，对应的 B_i 材料与 B_j 材料相邻；二者之间的关系具有以下特性之一，

- (1) 所述 B_i 材料面向所述 B_j 材料一侧的任何边界面，都只与隔离装置接触，不与所述 B_j 材料接触；
- (2) 在所述 B_i 材料面向所述 B_j 材料一侧的边界面上，一部分 B_i 材料边界面与隔离装置接触，不与 B_j 材料接触；还一部分 B_i 材料边界面与 B_j 材料直接接触；
- (3) 所述 B_i 材料面向所述 B_j 材料一侧的任何边界面都与 B_j 材料直接接触。

优选地，在用作柱子的组合结构构件中，隔离装置是薄铁皮圆筒， B_i 材料处在圆筒内侧， B_j 材料处在圆筒外侧；优选地，圆筒的上下两端做封堵处理，上端留有进料口， B_i 材料的任何边界面都不与 B_j 材料直接接触；优选地，圆筒的上端不做封堵处理， B_i 材料上端与 B_j 材料上端部直接接触。

(五) 一种组合结构构件的制作方法

一种组合结构的制作方法，包括获得 A 部分，把一个或多个带壳体积补偿装置放入所述 A 部分包围的空腔中，向所述空腔中充填 B 部分材料，对空腔中的 B 部分材料施加压力。

所述 B 部分材料是流固转换材料，在向 A 部分包围的空腔中充填时，至少有一部分 B 部分材料处在可流动状态；

所述带壳体积补偿装置包括供压装置和支撑壳。在适当的时候，向在所述供压装置外表面与所述支撑

壳内表面之间的空隙中充填流固转换材料。

优选地，在带壳体补偿装置被放入到A部分包围空腔之前，把处在可流动状态的流固转换材料至少充填到所述供压装置外表面与所述支撑壳内表面之间的空隙中；或/和，

当向A部分包围的空腔中充填B部分材料时，或者在对A部分包围的空腔中的B部分材料施加压力时，所述支撑壳外表附近外圈区域中的B部分材料穿过支撑壳上的通道，进入到所述供压装置外表面与所述支撑壳内表面之间的空隙中。

A部分的优选形式

所述A部分包围有一个空腔。

所述A部分包围有两个或两个以上空腔，所述空腔具有以下特性：

(1)至少有两个空腔是彼此连通的；所述连通是指二个空腔之间存在连接通道，处于可流动状态的介质能够从一个空腔流入另一个空腔；或/和，

(2)至少有两个空腔是彼此隔离的；所述隔离是指，两个空腔之间不存在连接通道。

B部分材料的种类

在组合结构的制作方法中，所述B部分材料的种类包括以下四大类：

(1)水泥基材料，

优选地，所述水泥基材料包括水泥砂浆、活性粉末混凝土(RPC)、普通强度混凝土(NHSC)、高强混凝土(HSC)、超高强混凝土(UHSC)；

(2)水泥基材料与高分子材料的混合物，水泥参与水化；

优选地，所述高分子材料是高分子乳液；

优选地，所述高分子材料是自身能够固化的高分子材料，包括环氧树脂；

(3)自身能够固化的高分子材料，

优选地，所述自身能够固化的高分子材料包括环氧树脂；

(4)高分子材料与固体粉末或/和固体颗粒的混合物；

优选地，所述B部分材料是高分子材料与固体粉末的混合物；优选地，所述B部分材料是高分子材料与固体颗粒的混合物；优选地，所述B部分材料是高分子材料、固体粉末和固体颗粒的混合物；

优选地，所述固体粉末是金属粉末或无机非金属材料粉末；所述固体颗粒是金属颗粒或无机非金属材料颗粒；优选地，所述无机非金属材料粉末和颗粒分别是石粉和石子。

M种B部分材料的力学特性

至少在A部分包围的一个空腔中，有M种所述B部分材料，分别为 $B_1, B_2 \dots B_i, B_{i+1} \dots B_M$ 材料，它们分别占据着不同的空间区域。

至少在A部分包围的一个空腔中，所述B部分材料至少具有以下特征甲和乙之一：

(1)所述特征甲是，

至少存在有一个i和一个j，其中 $1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq M, i \neq j$ ，与所述i和j对应存在有至少一个时间段；在该时间段内，与 B_i 材料相比， B_j 材料具有相对高流动性；

(2)所述特征乙是，

至少存在有一个i和一个j，其中 $1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq M, i \neq j$ ，与之对应的所述 B_i 和 B_j 材料具有以下特性：

(i)所述 B_j 材料的可流动状态结束时刻，晚于或等于 B_i 材料的可流动状态结束时刻，早于 B_i 材料的体积收缩转折点出现时刻；或者，

(ii)所述 B_j 材料的可流动状态结束时刻晚于或等于 B_i 材料体积收缩转折点出现的时刻。

B材料经历的压力历史

至少在A部分包围的一个空腔中，至少存在有一个i， $1 \leq i \leq M$ ，对应的 B_i 材料具有以下特征甲、

乙、丙三者之中的一个或两个或三个特征，

(i) 所述特征甲是，

当 B_i 材料处在可流动状态阶段时，在其中的一个时间段、或多个时间段、或全阶段内，在全部 B 部分材料中至少所述 B_i 材料受到压应力的作用；

(ii) 所述特征乙是，

当所述 B_i 材料从可流动状态进入到固体状态的凝固过程中，在其中的一个时间段、或多个时间段、或全阶段内，在全部 B 部分材料中至少所述 B_i 材料受到压应力或预压应力的作用；

(iii) 所述特征丙是，

当所述 B_i 材料凝固之后，在全部 B 部分材料中至少所述 B_i 材料受到压应力或预压应力或残留预压应力的作用。

B 材料全部凝固之后构件中的应力

至少在 A 部分包围的一个空腔中，当其中的全部 B 部分材料凝固之后，

(1) 在所述空腔中的一部分或多部分或全部 B 部分材料中，存在有压应力或预压应力或残余预压应力；或/和，

(2) 在所述空腔中的一部分或多部分或全部的 A 部分内壁与 B 部分材料的接触面上，存在有压应力或预压应力或残余预压应力；

(3) 在所述空腔中，所述支撑壳外表面与所述 B 部分材料的接触面上，存在有压应力。

当有 M 种 B 材料时的一种优选体积补偿方法

在所述 A 部分包围的空腔中，在所述带壳体积补偿装置的支撑壳内部或/和支撑壳外部周围区域中存在有 B_M 材料；当 $1 \leq i \leq M-1$ 时， B_M 材料的可流动状态结束时刻晚于或等于任何一种 B_i 材料的可流动状态结束时刻。

在所述 A 部分包围的空腔中的所述 B 材料具有如下特性：

如果

(1) 当 i 的取值范围为 $1 \leq i \leq M$ 时，任何一个 B_i 材料都处在可流动状态，并且材料内部存在有压应力；

(2) 当 i 的取值范围为 $1 \leq i \leq M-1$ 时， $M-1$ 种 B_i 材料的合计体积发生收缩；

则，

带壳体积补偿装置中的供压装置发生膨胀，推动所述支撑壳中的 B_M 材料经过所述孔洞流出，填补 A 部分包围空腔中的因 B_i 材料收缩产生的体积变化。

隔离装置和优选材料

优选地，在不同的 B 部分材料之间设置有隔离装置。

优选地，所述隔离装置用不具有渗透性的材料制作，以防不同 B 部分材料的成分发生混合。优选地，所述隔离装置的材料与 B 部分材料之间有较好的粘结性能，以免 B 部分材料与隔离装置在交界面上抗剪能力过低，影响构件的承载能力。优选地，制作隔离装置的材料选为金属薄板。

优选地，所述隔离装置具有符合要求的渗透性，以便不同的 B 部分材料能够渗入隔离装置的材料中，保持与隔离层有较好的粘结。优选地，所述隔离装置的材料为网状材料；优选地，所述网状材料为金属网。优选地，所述金属网安装在固定架上，所述固定架安装在 A 部分包围的空腔中。

优选地，所述隔离装置能够发生变形，以便其包围的区域的体积发生变化。

B 材料的优选方案 1 —— $M=1$

在所述 A 部分包围的空腔中，所述 B 部分材料只有一种材料，即 $M=1$ 。优选地，在所述 A 部分包围空腔中只有一个带壳体积补偿装置，参见图 12~图 14。优选地，在所述 A 部分包围空腔中有多个带壳体积补偿装置；优选地，所述带壳体积补偿装置的位置是关于 A 部分空腔横截面的几何形心中心对称的，参见图 17 和图 18；优选地，所述带壳体积补偿装置的位置是关于某个直线是轴对称的。

优选地,所述B部分材料是水泥砂浆,优选地,所述B部分材料是活性粉末混凝土。

B材料的优选方案2—— $M=2$

在所述A部分包围的空腔中,有 B_1 和 B_2 两种B材料,这时 $M=2$; B_1 和 B_2 材料分别占据不同的空间区域。至少有一个带壳体积补偿装置与 B_2 材料接触或者被 B_2 材料环绕。

当所述 B_2 材料处在可流动状态时,如果 B_1 材料发生体积收缩,则带壳体积补偿装置中的供压装置推动与之接触的 B_2 材料从支撑壳的孔洞流出,填补 B_1 材料收缩产生的体积变化。

所述 B_1 和 B_2 材料具有以下两个特征之一:(1)所述 B_2 材料的可流动状态结束时刻,晚于或等于 B_1 材料的可流动状态结束时刻,早于 B_1 材料的体积收缩转折点出现时刻;(2)所述 B_2 材料的可流动状态结束时刻晚于或等于 B_1 材料体积收缩转折点出现的时刻。

优选地,所述 B_2 材料是缓凝砂浆或活性粉末混凝土或缓凝环氧树脂;优选地,所述 B_1 材料是混凝土;优选地,所述 B_1 材料是 B_2 材料与粗骨料的混合物。

方案2的几种优选结构见图19~图30。

B材料的优选方案3—— $M=3$

在所述A部分包围的空腔中,有 B_1 、 B_2 和 B_3 三种B材料,这时 $M=3$; B_1 、 B_2 和 B_3 材料各自分别占据不同的空间区域。至少有一个带壳体积补偿装置与 B_3 材料接触或者被 B_3 材料环绕。

当所述 B_3 材料处在可流动状态时,如果 B_1 或/和 B_2 材料发生体积收缩,则带壳体积补偿装置中的供压装置推动与之接触的 B_3 材料从支撑壳的孔洞流出,填补 B_1 或/和 B_2 材料的收缩体积。

优选地,所述 B_1 、 B_2 和 B_3 材料具有以下三个特征之一:

(1) 特征1

- a. 所述 B_2 部分材料的可流动状态结束时刻晚于 B_1 材料体积收缩转折点出现的时刻;或/和,
- b. 所述 B_3 部分材料的可流动状态结束时刻,晚于 B_2 材料的可流动状态结束时刻,早于 B_2 材料的体积收缩转折点出现时刻之间;

(2) 特征2

- a. 所述 B_2 部分材料的可流动状态结束时刻晚于 B_1 材料体积收缩转折点出现的时刻;或/和,
- b. 所述 B_3 部分材料的可流动状态结束时刻晚于 B_2 材料体积收缩转折点出现的时刻;

(3) 特征3

- a. 所述 B_2 部分材料的可流动状态结束时刻,晚于或等于 B_1 材料的可流动状态结束时刻,早于 B_1 材料的体积收缩转折点出现时刻;或/和,
- b. 所述 B_3 部分材料的可流动状态结束时刻,晚于或等于 B_2 材料的可流动状态结束时刻,早于 B_2 材料的体积收缩转折点出现时刻。

优选地,所述 B_2 部分材料的可流动状态结束时刻晚于 B_1 材料体积收缩转折点出现的时刻;或/和,所述 B_3 部分材料的可流动状态结束时刻晚于 B_2 材料体积收缩转折点出现的时刻。

优选方案3的几种优选结构见图31~图37。

支撑壳的极限承载能力和刚度

在组合结构的制作方法中,所述支撑壳的极限承载能力应该满足下面要求:当组合结构处在承载能力极限状态时,要求支撑壳耐受周围介质的最大压应力不小于周围介质作用到支撑壳外壁上的压力。

以钢管混凝土轴心受压构件为例进行说明。设组合结构的A部分是圆形截面钢管,支撑壳为管壁带孔的圆形钢管。当组合结构因轴向受压而破坏时,整个结构发生轴向压缩、径向膨胀。其中A部分包围空腔中的B材料发生径向鼓胀,这是导致整个结构向外鼓胀的主要因素。A部分因轴向压缩、切向拉伸而进入屈服。在这种破坏模式下,要避免支撑壳因径向承载能力不足或因径向刚度不足而造成支撑壳周围的已凝固的流固转换材料成为薄弱区域。所以认为支撑壳钢管外表面受到的等效最大径向压应力为组合结构破坏时B材料的径向压应力。近似地认为,所述B材料的最大径向压应力为,A部分屈服时的或组合结构达到承载能力极限时的A部分内表面上受到的径向压应力。

采用等效方法确定支撑壳的径向承载能力。

当支撑壳管壁上的孔洞较小时，把支撑壳钢管等效为管壁无孔洞的钢管。等效的方法是，把管壁带孔的钢管取一段长度，计算其径向承载能力，然后把在长度方向不同位置的径向承载能力进行平均。等效的管壁无孔钢管的长度、外径以及平均径向承载能力，分别与管壁带孔的钢管的相同。

另一种等效方法是，把支撑壳周围某一半径范围内的已凝固的流固转换材料与管壁带孔的支撑壳合在一起，当作一个新结构，称为复合壳体。计算复合壳体的径向承载能力。优选地，在确定复合壳体的范围时，把钢管空腔中的流固转换材料也考虑进去。

复合壳体能够承受的最大压应力和具有的最大径向刚度，都远大于支撑壳空腔中的供压装置外表面能够承受的最大压力和供压装置具有的最大刚度。这里所述刚度是指：作用在装置外表面径向压力增量，除以该压力增量引起径向位移，再除以该装置的外直径。

复合壳体的承载能力和刚度

在 A 部分包围空腔的中的所述带壳体积补偿装置至少具有以下特征之一：

(1) 当所述流固转换材料凝固且达到设计强度之后，所述由流固转换材料与支撑壳组成的复合壳体的表观体积弹性模量和表观体积变形模量，都分别远高于所述供压装置的表观体积弹性模量和表观体积变形模量；

(2) 当所述流固转换材料凝固且达到设计强度之后，所述由流固转换材料与支撑壳组成的复合壳体能够承受周围介质施加的最大压力，远高于供压装置单独工作时供压装置提供给周围介质的压力。

此外，

所述供压装置的表观体积弹性模量和表观体积变形模量都分别远低于 B 部分材料在任何阶段的体积弹性模量和体积变形模量，所述任何阶段是指全过程中的任何阶段，所述全过程是指所述材料从可流动状态变成达到最终强度的固态的过程；

简化加压装置和安装

至少在所述 A 部分包围的一个空腔中，还存在简化加压装置，所述简化加压装置的选择范围包括，加压活塞，加压管路和其中的介质，缓凝加压液囊。

所述简化加压装置在向 A 包围空腔中充填 B 部分材料之前或之后进行安装。当简化加压装置为缓凝加压液囊时，应该是在向 A 包围空腔中充填 B 部分材料之前，把所述液囊安装到所述空腔中。当简化加压装置为加压活塞，或者为加压管路和其中的介质时，在完成 B 部分材料充填并安装完封堵板之后再安装加压活塞或加压管路。

加压方法

所述加压包括，对介质施加变化的压力，或/和保持对介质施加恒定或基本恒定的压力。

优选加压方案 1

在所述 A 部分包围的所述空腔中，至少有一个带壳体积补偿装置，在该装置中供压装置为加压装置或者为加压储能装置。在支撑壳与供压装置的间隙中，以及在所述带壳体积补偿装置保持装置的周围均为 B_1 材料。

当所述 B_1 材料处在可流动状态阶段，在其中的一段、或多段或全部时间段内，使用加压装置或加压储能装置对所述 B_1 材料加压。

当所述 B_1 材料的可流动状态结束之后，强度到达预设值之前，保持加压装置或加压储能装置对所述 B_1 材料施加的压应力恒定，或在预设的要求范围内波动。所述强度预设值是指，当所述 B_1 材料的强度低于预设值时，如果改变供压装置的压力，因供压装置压力的改变而引起的支撑壳上孔洞附近的 B_1 材料应力场的变化，并且这种变化会引起支撑壳孔洞附近的 B_1 材料的破坏或使远期强度降低。

当所述 B_1 材料的强度到达设计值之后，对加压装置或加压储能装置施加到所述 B_1 材料上的压应力不做限制。所述强度设计值是指，当所述强度达到设计值时， B_1 材料与支撑壳形成的复合壳体具有足够的承载

能力去抵抗周围介质的压力；当去除加压装置或加压储能装置施加的压力之后，应力场的改变不会降低支撑壳孔洞附近的 B_i 材料的远期强度，也不会损坏该处的 B_i 材料。

优选加压方案 2

在所述 A 部分包围的所述空腔中，至少有带壳体积补偿装置甲和乙；在所述装置甲中，供压装置为加压装置或加压储能装置；在所述装置乙中，供压装置是储能装置或加压储能装置。在所述装置甲的支撑壳的内壁与供压装置之间的间隙中，以及在装置甲周围的区域中充填的是 B_i 材料；在所述装置乙的支撑壳的内壁与供压装置之间的间隙中，以及在装置乙周围的区域中充填的是 B_j 材料。

加压方法如下。

1. 当 B_i 和 B_j 材料都处在可流动状态的阶段，在其中的一段、或多段或全部时间段内，

(1) 当装置乙中的供压装置选为储能装置时，使用装置甲中的加压装置或加压储能装置对 B_i 材料加压；

(2) 当装置乙中的供压装置选为加压储能装置时，使用装置甲中的加压装置或加压储能装置对 B_i 材料加压，或/和使用装置乙中的加压储能装置对 B_j 材料加压。

优选地，在所述一段、或多段或全部时间段内，在 A 部分包围的空腔中存在有一个区域，在该区域中的 B 部分材料都处在可流动状态，所述带壳体积补偿装置甲和乙也都处在该区域中。

2. 当所述 B_i 材料和 B_j 材料中至少有一种材料所处的阶段为，可流动状态结束之后，强度到达预设值之前；在其中的一段、或多段或全部时间段内，

(1) 当装置乙中的供压装置选为储能装置时，

优选地，保持装置甲中的加压装置或加压储能装置对 B_i 材料施加的压应力恒定，或在预设范围内波动；

(2) 当装置乙中的供压装置选为加压储能装置时，

优选地，保持装置甲中的加压装置或加压储能装置对 B_i 材料施加的压应力恒定，或在预设范围内波动；

优选地，保持装置乙中的加压储能装置对 B_j 材料施加的压应力恒定，或在预设范围内波动。

3. 优选地，当所述 B_i 材料的强度到达设计值之后，对带壳体积补偿装置甲中的供压装置施加到 B_i 材料上的压力不做限制或者卸掉压力；

优选地，当所述 B_j 材料的强度到达设计值之后，对装置乙中的供压装置施加到所述 B_j 材料上的压应力不做限制或卸掉压力。

优选加压方案 3

在所述 A 部分包围的空腔中，还存在有简化加压装置。所述加压装置的选择范围包括，加压活塞，加压管路和其中的介质，凝胶加压液囊。

在所述 A 部分包围的所述空腔中，至少有一个带壳体积补偿装置和至少一个简化加压装置。在所述带壳体积补偿装置中，供压装置为储能装置或加压储能装置。在所述带壳体积补偿装置的支撑壳的内壁与供压装置之间的间隙中，以及在支撑壳周围的区域中充填的是 B_i 材料；在所述简化加压装置周围的区域中充填的是 B_j 材料。

加压方法如下。

1. 当所述 B_i 和 B_j 材料都处在可流动状态的阶段，在其中的一段、或多段或全部时间段内，

(1) 如果带壳体积补偿装置中的供压装置选为储能装置，则使用简化加压装置对 B_j 材料加压；

(2) 如果带壳体积补偿装置中的供压装置选为加压储能装置，则使用所述加压储能装置对 B_i 材料加压，或/和使用简化加压装置对 B_j 材料加压。

优选地，在所述一段、或多段或全部时间段内，在 A 部分包围的空腔中存在有一个区域，在该区域中的 B 部分材料都处在可流动状态，所述带壳体积补偿装置和所述简化加压装置也都处在该区域中。

2. 当所述 B_i 材料和 B_j 材料中至少有一种材料所处的阶段为，可流动状态结束之后，强度到达预设值之前；

(1) 优选地，如果带壳体积补偿装置中的供压装置选为储能装置，则保持简化加压装置对 B_j 材料施加

的压力恒定,或者保持简化加压装置在所述A部分包围空腔中占据的体积基本恒定;

(2) 优选地,如果带壳体积补偿装置中的供压装置选为加压储能装置,则保持所述加压储能装置对 B_i 材料施加的压力恒定,或在预设范围内波动;并且,保持简化加压装置对 B_j 材料施加的压力恒定,或者保持简化加压装置在所述A部分包围空腔中占据的体积基本恒定。

3. 优选地,当所述 B_i 材料的强度到达设计值之后,对带壳体积补偿装置中的供压装置施加到 B_i 材料上的压力不做限制或卸掉压力;

优选地,当所述 B_j 材料的强度到达设计值之后,对简化加压装置施加到所述 B_j 材料上的压应力不做限制或卸掉压力。

实施例

实施例1

钢管混凝土组合结构是一个轴心受压构件,如图12~图14所示。A部分包括上封堵板110、法兰盘111、钢管12和下封堵板13。法兰盘111焊接在钢管12的上端,下封堵板焊接在钢管12的下端。在上封堵板与法兰盘之间采用螺栓连接,上封堵板上的螺栓孔1101对着下封堵板上的螺栓孔1111。在上封堵板上加工有施工孔1102和排气孔1103。

在钢管的空腔中,在轴线位置安装有一个带壳体积补偿装置;在空腔的其余区域充填的是活性粉末混凝土(简称RPC)。带壳体积补偿装置是带孔钢管内部放置圆管形气囊,结构形式参见图1和图3。支撑壳的上部分的端面与下部分的端面是紧密接触的,以便使支撑壳在轴线方向能够耐受的压力达到最大值。

施工方法

(1) 制作A部分,

(2) 组装带壳体积补偿装置

优选地,气囊为普通气囊。在支撑壳的内部把塑料片粘贴到管壁上,让塑料片遮挡住管壁上的圆孔。把气囊放入支撑壳的空腔中,用连接套把支撑壳的上部分321和下部分322连接在一起。优选地,支撑壳与连接套之间采用螺纹方式连接;优选地,支撑壳与连接套之间采用胶黏的方式连接。给气囊充气,当气压达到8MPa时充气结束。

(3) 把带壳体积补偿装置固定到钢管内部的轴线位置,向空腔中充填RPC。当接近法兰盘的高度时结束充填。

(4) 把上封堵板110安装到法兰盘111上

(5) 安装加压管路,继续充填RPC。加压管路一端连接到上封堵板的圆孔1102上,另一端连接在加压装置上,在加压管路上设置有阀门。加压装置通过加压管路向空腔中继续充填RPC。在充填的过程中,空腔中的气体从排气孔1103排出。当空腔充填满之后,用丝堵封住排气孔1103。所述加压装置可选择注浆泵、混凝土泵或其他加压装置。

(6) 对空腔中的B材料施加压力

用加压装置继续挤压管路中的RPC。加压方式有以下两种方案。

a. 一次性加压

当A包围的空腔中的RPC的压力超过气囊中的气压(8MPa)时,气囊的表观体积开始变小;当RPC的压力达到预设值(12MPa)时,结束加压过程,关闭管路上的阀门,拆除掉加压装置。

b. 间歇式加压

当RPC的压力达到压力上限预设值(12MPa)时,暂停加压;当压力下降到压力下限预设值(10MPa)时,启动加装装置继续加压。如此循环。在B材料的可流动状态结束之前停止间歇式加压,关闭阀门,拆除加压装置。

(7) 后处理

当管路中的材料达到预设强度之后,拆除掉施工管路。方法之一是,从根部锯断施工管路。

由于水泥水化引起化学收缩,在凝固之前和凝固之后,RPC都发生体积收缩。如果在没有使用带壳体积补偿装置的情况下采用一次性加压方式加压,则当RPC体积收缩时,会引起RPC的压力降低,甚至消

失。如果在没有使用带壳体积补偿装置的情况下采用间歇式加压方式加压,则虽然能够消除在 B 材料处在可流动状态时的因体积收缩造成的压力降低,但是不能消除 B 材料凝固之后体积收缩造成的压力降低,因为凝固之后细长管路中的 B 材料基本上不能再流动了。当安装有带壳体积补偿装置时,由于此装置的长度几乎等于空腔的长度,几乎在每一个横截面上,都有此装置来维持 RPC 的压力。即使在 RPC 凝固过程中,特别是在强度较低的阶段,此装置能够推动 B 材料发生蠕变,进而把压力降低控制在最小范围内,维持在要求的范围内。

一次性加压方案的适用条件是,横截面较小或/和 B 材料的体积收缩率较低。在此条件下,采用一个带壳体积补偿装置维持压力,就能够保证在 B 材料达到最终强度之后仍然使保有的预压应力达到预设值。此方案的技术效果,当满足适用条件时,施工方法简便,使用的装置简单。

间歇式加压方案的适用条件是, B 材料在凝固之前体积收缩率较高,在凝固之后体积收缩率很低。

在本实施例中,带壳体积补偿装置中的供压装置是储能装置,储能装置是气囊。

技术效果分析

当组合结构的横截面较小或/和 B 材料的收缩率较低时,适合采用实施例 1 的方案。这种情况的技术效果是施工简便,施工时间短,占用设备数量少。同时能够保证空腔中 B 材料在凝固过程中和凝固完成之后都存在有压应力,当然也能够防止因收缩造成的 B 材料与 A 部分内壁的分离。

实施例 2

组合结构是钢管内部充填 RPC,用作受压构件,如图 15 和图 16 所示。在图 16 中, A 部分包括上封堵板 110、法兰盘 111、钢管 12 和下封堵板 13。法兰盘 111 焊接在钢管 12 的上端,下封堵板 13 焊接在钢管 12 的下端。在上封堵板与法兰盘之间采用螺栓连接,上封堵板上的螺栓孔 1101 对着下封堵板上的螺栓孔 1111。在上封堵板上加工有进料孔 1102 和中心孔 1103。

带壳体积补偿装置如图 15 所示。在带孔钢管 32 中放置有供压装置 31,所述供压装置是囊类加压储能装置。优选地,所述囊类加压装置选为加压气囊,所述气囊通过管路 3101 与气压源连接。优选地,所述加压储能装置是加压储能液囊,所述液囊通过加压管路 3101 与液压源及蓄能器连接。带孔钢管的上端安装有丝堵 3202,丝堵上加工有圆孔 3203,加压管路 3101 从圆孔 3203 中穿过,圆孔孔壁与加压管路之间留有间隙。所述间隙用来让气体溢出。当向带孔钢管内部充填 RPC 时, B 部分材料从支撑壳的孔洞 3201 流入支撑壳内部,这时需要把带孔钢管 32 内部的气体排放掉。

优选地方案是,在带壳体积补偿装置中使用的供压装置是下限气囊或下限液囊,其中的支撑物的形状是三叶形,参见图 8~图 10。

施工步骤如下。

(1) 制作 A 部分

(2) 安装带壳体积补偿装置

把带壳体积补偿装置中的带孔钢管 32 固定到钢管 12 的轴线位置,把下限气囊或下限液囊放置在带孔钢管 32 的空腔中,再把带孔丝堵 3202 安装到带孔钢管 32 上,加压管路 3101 从丝堵圆孔 3203 中穿过。

(3) 充填 RPC

向钢管 12 的空腔中充填处在可流动状态的 RPC 材料,边充填边用激振器振动钢管 12 或边用振捣棒振动 RPC,以便让 RPC 能够通过带孔钢管 32 上的圆孔 3201 进入到带孔钢管内部,带孔钢管内部的气体从上部孔洞 3201 和上端孔洞 3203 中的空隙中排出。当充填到法兰盘高度时,暂停充填。

(4) 安装上封堵板 1101

把加压管路 3101 穿过上封堵板的中心孔,然后用螺栓把上封堵板与法兰盘连接起来,再把加压管路 3101 与中心孔壁之间的间隙封堵住。封堵方法是用带孔丝堵来封堵。丝堵的圆孔直径略大于充气管的外径,在丝堵孔中加工有放置密封圈的沟槽。在安装丝堵之前把密封圈放入沟槽中,然后把丝堵安装上。

(5) 继续充填 RPC

用细管向钢管 12 的空腔中充填剩余空间中 RPC,细管外径小于进料孔 1102 的直径,二者的间隙用来

排放钢管 12 的空腔中的气体。当充满之后，用丝堵封堵进料孔 1102。

(6) 加压

加压方法有两种。

第一种是用气泵向加压管路挤入压缩空气，当压力达到预设值之后维持压力恒定，或维持压力在要求的范围内波动。

当预设压力较低时，例如预设压力为 5~10MPa 时，采用气体加压比较合适。

第二种是用液压泵向加压管路中挤入液体，当压力达到预设值之后维持压力恒定，或维持压力在要求的范围内波动。优选地，在液压管路上安装有蓄能器。

当预设压力较高时，例如预设压力为 20MPa、30MPa、40MPa 或 70MPa 时，采用液体加压更合理。

(7) 后处理

当 RPC 的强度达到或超过预设值时，拆除加压泵和加压管路。优选地，所述强度预设值是立方体抗压强度为 30~60MPa。

技术效果分析

当采用囊类加压储能装置时，由于使用外部压力源控制压力，即使在气囊或液囊的体积发生很大变化的条件下，囊内流体的压力仍然保持恒定或保持在要求的范围内。

实施例 3

钢管混凝土组合结构是一个轴心受压构件，如图 17 和图 18 所示。A 部分包括上封堵板 110、法兰盘 111、钢管 12 和下封堵板 13。法兰盘 111 焊接在钢管 12 的上端，下封堵板焊接在钢管 12 的下端。在上封堵板与法兰盘之间采用螺栓连接，上封堵板上的螺栓孔 1101 对着下封堵板上的螺栓孔 1111。在上封堵板上加工有施工孔 1102 和排气孔 1103。与实施例 1 中的受压构件相比，此实施例中的钢管直径更大。

在钢管的空腔中，安装有六个带壳体积补偿装置；在空腔的其余区域充填的是活性粉末混凝土（简称 RPC）。带壳体积补偿装置的结构是在带孔钢管内部放置圆管形气液囊，结构形式参见图 1 和图 2。

施工方法与实施例 1 相似。

技术效果分析

由于带壳体积补偿装置的数量较多，并且分布于多处，当 A 部分包围空腔中的 B 部分材料收缩时，带壳体积补偿装置能够相对均匀地补偿各个区域中的体积收缩，使 B 材料的应力在空间上的分布波动较小。

实施例 4

钢管混凝土组合结构是一个轴心受压构件，如图 19~图 21 所示。A 部分包括上封堵板 110、法兰盘 111、钢管 12 和下封堵板 13。在上封堵板与法兰盘之间采用螺栓连接，上封堵板上的螺栓孔 1101 对着下封堵板上的螺栓孔 1111。在上封堵板上加工有施工孔 1102 和 1103。

在钢管 12 的空腔中放置有两个 C 型隔离装置 41 和 42，它们的高度略低于钢管 12 的空腔高度，它们把空腔分割成三个区域，即区域 211、212 和 22。在区域 211 和 212 中充填的是相同的 UHSC，在区域 22 中充填的是缓凝 RPC，RPC 的可流动状态结束的時刻晚于 UHSC 的体积收缩转折点出现的時刻。带壳体积补偿装置放置 3 在钢管 12 的轴线位置，处在区域 22 内，周围环绕着 RPC。带壳体积补偿装置的长度略小于钢管 12 的空腔高度。

带壳体积补偿装置的结构横截面如图 21 所示，其纵向结构可参考图 2。支撑壳是带孔钢管 32，钢管上有两排孔洞 321，关于圆心对称布置。供压装置 31 是上限气囊或上限气液囊。在钢管 32 的空腔内区域 321、孔洞区域 322 和钢管 32 周围区域 323 的充填着相同的缓凝 RPC。

施工方法如下。

(1) 制作组合结构的 A 部分

(2) 组装带壳体积补偿装置

给带壳体积补偿装置的上限气囊或上限气液囊充填气体或液化气体，把上限气囊或上限气液囊放入带孔钢管 32 中，把丝堵 3202 安装上，丝堵与钢管之间采用螺纹连接。

(3) 安装带壳体积补偿装置和 C 形隔离装置

把带壳体积补偿装置 31 固定在钢管 12 的轴线位置, 安装两个 C 形隔离装置 41 和 42, 为了使“C”字端部能够与钢管 12 的内壁紧密接触, 制作的隔离装置的“C”字两端要间距大于安装后的间距。安装时, 对隔离装置要施加预压力。在两个 C 形隔离装置之间放置若干个支持块, 以便施加预压力。优选地, 在 C 形隔离装置的“C”字两个端部用胶带粘贴到钢管 12 的内壁上, 粘贴后胶带没有折叠。优选地, 在区域 211 和 212 内放置两个编织袋, 用来充填 UHSC, 编织袋的周长要大于等于其所在区域 211 或 212 的周长。当编织袋内充填满 UHSC 之后, 能够避免 UHSC 挤入 C 形隔离装置与钢管 12 内壁之间。

优选地, 在 C 形隔离装置的“C”字两个端部选择若干个点用焊接的方式把这些点焊接到钢管 12 的内壁上。

(4) 充填 B 部分材料

同步地向区域 211 和 212 充填 UHSC, 向区域 22 充填 RPC。充填过程用激振器振动带壳体积补偿装置中的带孔钢管 32, 以便让 RPC 能够充分地进入其中, 并把钢管 32 内部的气体排放出去。当 B 部分材料接近法兰盘的高度时, 暂停充填。

(5) 安装上封堵板和加压管

安装上封堵板, 然后把加压管安装到施工孔 1103 上。

(6) 继续充填 B 部分材料

通过安装在施工孔 1103 上的加压管向空腔中充填 RPC, 充填过程中气体从施工孔 1102 中排出。当充填满之后, 用丝堵封住施工孔 1102。

(7) 加压过程

把加压管连接到加压装置上, 用加压装置挤压加压管中的缓凝 RPC。当压力达到预设值时, 暂停或停止加压。加压方法可以采用一次性加压和间歇式加压两种方式。当采用间歇式加压时, 要在缓凝 RPC 的可流动状态结束之前结束加压, 关闭加压管路上的阀门, 拆除加压装置。

(8) 后处理

当 UHSC 和缓凝 RPC 的强度都达到或高于预设值之后, 拆除加压管。

其它优选方案

此实施例中的方案适用于大型或超大型断面的组合结构。优选地, 在区域 211 与钢管 12 的边界处, 以及在区域 212 与钢管 12 的边界处铺设缓凝减磨层。这样处理可以避免, 在大型或超大型断面的组合结构中 UHSC 因体积收缩在靠近钢管内壁处产生切向剪应力, 从而使两个区域中的 UHSC 都处在横向各方向的压应力都近似相等的应力状态, 这个应力状态是最有利于提高 UHSC 的轴向承载能力。

优选地, 把上限气囊换成有加压管路的加压气囊或加压储能液囊。当钢管 12 的空腔中充填完 UHSC 和缓凝 RPC 之后, 对施工孔 1102 和 1103 都做完密封处理。然后再通过加压管路向气囊或液囊中充填流体, 对气囊或液囊从内部施加压力。它先对缓凝 RPC 施加压力, 缓凝 RPC 再把压力传递到 UHSC 中。由于外置压力源能够源源不断地把流体充填到气囊或液囊当中, 无论气囊或液囊的体积膨胀量有多大, 都能够保证囊内压力处在要求的范围内。当组合结构的横截面很大时, 这种方案的优越性更为明显。

技术效果分析

这种技术方案的优点是, 能够适应大型或超大型横截面的组合结构。当区域 211 和 212 中 UHSC 发生收缩时, 在隔离装置的边界处缓凝 RPC 能够推动隔离装置向区域 211 和 212 内移动; 此外, 如果区域 211 和 212 因收缩变形使 UHSC 与钢管 12 之间出现间隙时, 缓凝 RPC 也可以挤入空隙中, 使 UHSC 的应力状态是或接近静水压力状态。在凝固过程中经历这种应力状态, 有利于提高 UHSC 的最终强度; 在达到或接近最终强度之后, UHSC 处在这种应力状态有利于提高组合结构的轴心受压承载能力。

实施例 5

组合结构是一个钢管混凝土轴心受压构件, 如图 22~图 24 所示。A 部分包括上封堵板 110、法兰盘 111、钢管 12 和下封堵板 13。在上封堵板与法兰盘之间采用螺栓连接。在上封堵板上加工有进料孔 1102 和和活塞孔 1103。

在钢管 12 的空腔中用隔离装置 41 和 42 把空腔分割成区域 211、212 和区域 22, 在区域 22 的横向两

端安装有带壳体积补偿装置，在上封堵板的中心处安装有加压活塞 5。所述加压活塞就是简化加压装置。

带壳体积补偿装置是如图 24 所示，其高度略低于钢管 12 的空腔高度，其中的供压装置是双限气液囊。

隔离装置 41 和 42 在横截面上是封闭的，其包围的区域是腰子形。这种形状的好处是当周长不发生变化时，其包围的面积容易改变。隔离装置的高度略低于钢管 12 的空腔高度。在区域 211 和 212 中充填的是 UHSC，在区域 22 中充填的是缓凝 RPC，缓凝 RPC 的可流动状态结束时刻晚于 UHSC 体积收缩转折点出现的时刻。

在充填 B 材料时，要先同步充填区域 211 和 212 中的 UHSC，当充填有 UHSC 之后，隔离装置 41 和 42 受到内部挤压之后会在原来凹进去的地方先向外鼓胀，使区域 22 变得狭窄；这种现象使我们预期的。一个优选方案是，先在两个隔离装置之间放置若干个支撑块并将其固定到至少一个隔离装置上，然后再充填 UHSC。当隔离装置发生鼓胀时，会使两个隔离装置之间通过支撑块相互挤压，这又使得隔离装置与钢管 12 的内壁之间产生压应力，进而能够把隔离装置固定在要求的位置。另一种固定隔离装置的方法是，在隔离装置与钢管 12 的接触处设置若干个焊接点，把隔离装置焊接到钢管 12 上。

在充填 UHSC 的过程中，也同时充填 RPC 进入到区域 22，但是要让 UHSC 的高度高于 RPC 的高度，保证二者之间的高度差在要求的范围内。当 UHSC 充填到接近钢管 12 中的空腔高度时停止充填 UHSC，但继续充填 RPC，直到两种 B 材料的高度彼此接近。

此实施例中的加压装置是加压活塞 5，加压活塞 5 与活塞孔 1103 之间设置密封装置。优选地，所述密封装置是密封圈。加压活塞通过挤占钢管 12 空腔中的空间来增加区域 22 中的 RPC 的压力，RPC 再把传递到区域 211 和 212 中的 UHSC 上，同时挤压带壳体积补偿装置中的供压装置。

施工步骤如下。

(1) 充填前的工作

制作 A 部分，加工隔离装置 41、42。组装带壳体积补偿装置 3。把带壳体积补偿装置 3 固定在钢管 12 的空腔中，安装隔离装置 41 和 42。

(2) 充填 B 部分材料

向区域 211 和 212 中充填 UHSC，向区域 22 中充填 RPC，要保证 UHSC 高出 RPC 的差值在预设值的范围内。当 UHSC 的高度接近钢管 12 的空腔高度时，停止充填 UHSC，但继续充填 RPC，直到 RPC 的高度与 UHSC 的高度基本相同。

(3) 加压前准备工作

安装是封堵板，在通过进料孔 1102 向空腔中充填缓凝 RPC，充填过程中保持活塞孔 1103 能够排除气体。当空腔被充填满之后，先用丝堵封堵进料孔 1102；然后把密封圈安装到活塞孔 1103 内部的沟槽中，之后再插入加压活塞。

(4) 加压过程

加压过程可以选择位移加压或荷载加压。

荷载加压方法是，用作动器对加压活塞的外端施加逐渐增加的荷载，当荷载达到预设值之后，保持荷载恒定。

位移加压方法可以采用一次性位移加压或间歇式位移加压。

一个位移加压周期包括：用千斤顶推动加压活塞向空腔中移动，同时测取施加到加压活塞上的荷载，当压应力达到预设值时保持加压活塞不再移动。荷载除以活塞的横截面积就相当于 RPC 内部的压应力。

一次性位移加压是指，当一个加压周期完成时，永久地保持加压活塞不再发生移动。

间歇式位移加压由多个加压周期组合而成。当进行了第 i 次加压周期之后，由于 UHSC 和 RPC 都发生体积收缩，经过一段时间之后，空腔中的 B 材料的压应力还会降低。当压力低于预设值时，启动下一次加压周期。加压周期可以一直重复进行。当时间过了某一时刻之后，永远地保持加压活塞不再移动，所述某一时刻是在 RPC 的可流动状态结束之前。

(5) 后处理

当 UHSC 和 RPC 的强度都达到或高于预设值之后，截断外露的加压活塞。

技术效果分析

这种方案适用于大型横截面的组合结构。当加压活塞与带壳体积补偿装置联合使用时,可选择采用间歇式位移加压方式。与荷载加压相比,间歇式位移加压的优点是,用简单的设备就可实现保持压力恒定;而荷载加压需要的加载设备比较复杂。

由于在凝固之前和之后都经历恒定的静水压力,区域 211 和 212 中的 UHSC 材料的最终强度得到充分提高。在达到或接近于最终强度之后,区域 211 和 212 中的 UHSC 仍然处在或接近于静水压力状态。当从这种状态出发对组合结构施加轴向荷载时,组合结构的承载能力高于其他情况的承载能力。其他情况之一是,区域 211 和 212 中横向应力在各向大小不同。

实施例 6

组合结构是一个钢管混凝土轴心受压构件,如图 25~图 27 所示。A 部分包括上封堵板 110、法兰盘 111、钢管 12 和下封堵板 13。在上封堵板与法兰盘之间采用螺栓连接。在上封堵板上加工有加压孔 1103 和和活塞孔 1102。

如图 26 所示,在钢管 12 的空腔中设置有一个圆筒形隔离装置 4,它把钢管 12 的空腔横截面分割成圆筒内部区域和圆筒外部区域。在圆筒内部区域中充填的是含有粗骨料的 UHSC 材料 21,在圆筒外部区域中充填的是缓凝环氧砂浆 22。缓凝环氧砂浆是缓凝环氧树脂与石英粉的混合物。缓凝环氧砂浆的可流动状态结束时刻晚于 UHSC 材料 21 的体积收缩转折点出现的时刻。在缓凝环氧砂浆 22 占据的区域中安装有四个带壳体积补偿装置 3,在靠近四个带壳体积补偿装置之处,隔离装置 4 设置有凹陷的圆弧,其作用一方面是带壳体积补偿装置腾出空间,另一方面用来调节区域 21 和区域 22 之间的面积变化。带壳体积补偿装置中的供压装置可以是以下之一,上限气囊、上限气液囊、上限液囊、弹性外壳储能装置。

带壳体积补偿装置附近的结构如图 27 所示,在支撑壳的外侧的材料 223、支撑壳孔洞中的材料 222 和在支撑壳空腔中的材料 221 是同一种流固转换材料,即缓凝环氧砂浆 22。

施工步骤如下。

(1) 制作 A 部分,组装带壳体积补偿装置,把带壳体积补偿装置固定到钢管 12 的空腔中,安装固定隔离装置。

(2) 充填 B 材料

向圆筒 4 的内部充填 UHSC 材料 21,向圆筒 4 与钢管 12 之间的间隙处充填缓凝环氧砂浆 22,由于缓凝环氧砂浆的比重低于混凝土的,充填过程中让缓凝环氧砂浆 22 的高度高于小高强混凝土 21 的高度。优选地,为了防止混凝土把圆筒 4 挤压的过于鼓胀,可在圆筒 4 与钢管 12 之间放置若干个支撑块。当两种材料都充填到接近于法兰盘的高度,暂停充填。

(3) 安装上封堵板 110,安装加压管路

加压管路安装在加压孔 1103 上。

(4) 充填 B 材料

通过加压孔 1103 向钢管空腔中的上端空隙处充填缓凝环氧砂浆,充填过程中保持排气孔 1102 是打开的,以便排放气体。充填上端空隙时,也可以用 RPC 替代缓凝环氧砂浆,由于 RPC 的强度和弹性模量都非常高,更适合与钢管协同工作,分担构件的轴向压力。

(5) 加压

通过加压管路对钢管 12 的空腔中的 UHSC、缓凝环氧砂浆或 RPC 施加压力。当压应力达到预设值之后,停止加压。加压方法可以是一次性的,也可以是间歇式的。

优选替换方案

优选地,当组合结构的横断面较大时,在 A 部分的下封堵板内壁上设置缓凝减磨层。这样可避免 UHSC 在凝固之后收缩时,下封堵板与 UHSC 之间产生剪应力,这种剪应力可能造成附近的 UHSC 内部出现横向拉应力。

技术效果分析

此方案能够保证:(1) 只要材料 22 处在可流动状态时,无论材料 21 处在可流动状态还是处在固体

状态,材料 21 都处在静水压力状态:(2)当材料 22 变成固体之后,材料 21 在横向的任何方向受到的压应力也都是相等的。材料 21 经历这样的受力过程有利于提高材料强度;材料 21 在达到或接近最终强度时处于上述应力状态,有利于提高组合结构的轴心受压承载能力。

实施例 7

拱形受压构件如图 28~图 30 所示。隔离装置 4 把钢管横截面分割成两个区域,面积较大的区域中充填的是混凝土 21,面积较小的区域充填的是缓凝 RPC。带壳体积补偿装置 3 放置在缓凝 RPC 占据的区域中。横截面虽然不是中心对称,却是轴对称的。为了防止不对称造成承载能力的降低,设计时让横截面的对称轴与构件轴线所在平面重合。

带壳体积补偿装置的支撑壳是管壁带孔的圆形钢管,钢管上端不做封堵。支撑壳钢管的外表面周围以及上端周围都是缓凝 RPC 材料 22,钢管 12 的上端内侧有一层缓凝 RPC 材料 221 与钢管周围的缓凝 RPC 材料 22 是连通的,当挤压钢管 12 的上端缓凝 RPC 材料 221 时,会把压力传递到缓凝 RPC 材料 22 的所有区域。缓凝 RPC 材料 22 和 221 是同一种材料。

施工方法看与实施例 5 相近。

技术效果分析

此方案适用范围广,无论横截面是大是小,无论混凝土 21 处在可流动状态还是固体状态,当缓凝 RPC 材料 22 处在可流动状态时,混凝土 21 各处的应力状态都是或接近于是静水压力状态。当缓凝 RPC 材料 22 处在固体状态时,混凝土 21 各处的应力状态也是接近于静水压力状态。当材料 22 和材料 21 都达到或接近于最终强度之后,材料 21 各点的应力状态在不同径向方向的正应力近似相等。此方案有利于提高混凝土 21 的强度,有利于提高组合结构的轴心受压承载能力。

实施例 8

组合结构为钢管混凝土受压构件,如图 31 和图 32 所示。钢管内部有两个圆筒形的隔离装置,其中隔离装置 42 处在隔离装置 41 包围的区域内,带壳体积补偿装置又处在隔离装置 41 包围的区域内。隔离装置的高度略短于钢管 12 的空腔高度。在钢管与隔离装置 41 之间充填的是 UHSC 材料 21,在隔离装置 41 与 42 之间充填的是缓凝 UHSC 材料 22,在隔离装置 42 包围的区域内传统的是缓凝 RPC 材料 23,参见图 32。本实施例中组合结构的 A 部分结构形状与图 12 和图 13 中的 A 部分完全相同。

优选地,

(1)缓凝 UHSC 材料 22 的可流动状态结束时刻晚于 UHSC 材料 21 的可流动状态结束时刻,缓凝 RPC 材料 23 的可流动状态结束时刻晚于缓凝 UHSC 材料 22 的可流动状态结束时刻;或者,

(2)缓凝 UHSC 材料 22 的可流动状态结束时刻晚于 UHSC 材料 21 的体积收缩转折点出现的时刻,缓凝 RPC 材料 23 的可流动状态结束时刻晚于缓凝 UHSC 材料 22 可流动状态结束时刻;或者,

(3)缓凝 UHSC 材料 22 的可流动状态结束时刻晚于 UHSC 材料 21 的体积收缩转折点出现的时刻,缓凝 RPC 材料 23 的可流动状态结束时刻晚于缓凝 UHSC 材料 22 的体积收缩转折点出现的时刻。

施工方法如下。

(1)制作 A 部分,组装带壳体积补偿装置,把隔离装置 41、42 以及带壳体积补偿装置 3 安装的钢管 12 的空腔中,

(2)向隔离装置 42 包围的区域中充填缓凝 RPC 材料 23,向隔离装置 42 与 41 之间的区域充填缓凝 UHSC 材料 22,向隔离装置 41 与钢管 12 之间充填 UHSC 材料 21。充填过程中保持缓凝 RPC 材料 23 的高度高于缓凝 UHSC 材料 22 的高度,缓凝 UHSC 材料 22 的高度高于 UHSC 材料 21 的高度。这种充填方式能够避免充填材料把隔离装置压扁。

当材料 23 的高度达到法兰盘的位置时停止充填该材料,但继续充填材料 22;当材料 22 也达到法兰盘的位置时停止充填该材料,但继续充填材料 21;当材料 21 页达到法兰盘的高度时,停止充填该材料。

(3)安装上封堵板,把加压管路连接到上封堵板的加压孔 1103 上,通过加压管路向钢管的剩余空间中充填材料 23。当充填满之后,用丝堵封住排气孔 112。

(4)用加压装置向加压管路中的材料 23 施加压力,推动材料 23 加压空腔中的带壳体积补偿装置中的供压装置,使其体积变小。当钢管 12 的空腔中的 B 材料的压力达到预设值之后,停止增加压力,

关闭加压管路上的阀门。加压方法可采用一次性加压，也可以采用间歇式加压。

技术效果分析

从处在可流动状态一直到强度达到设计标号，在这个过程中水泥基材料一直发生体积收缩。前期收缩快，后期收缩慢。在材料的可流动状态结束之后的相当长的时间内，材料的强度都是随着时间的增加而增加。在各种强度下，水泥基材料都能够发生蠕变；当应力状态相同时，材料强度越低，蠕变速率越高。水泥基材料在低强度阶段发生的蠕变对最终强度基本上没有负面影响。

在下述两个限制条件下讨论实施例 9 的技术效果。

(1) 材料 22 的可流动状态结束时刻晚于材料 21 的可流动状态结束时刻，材料 23 的可流动状态结束时刻晚于材料 22 的可流动状态结束时刻。

(2) 带壳体积补偿装置中的供压装置在压力达到预设值之后一直保持恒定。在这种条件下，只要材料处在可流动状态，材料在空间上各点就都处在相同的静水压力状态，并且应力状态不随时间变化。

为了便于描述，把材料 21、材料 22 占据的区域视为厚壁圆筒，把带壳体积补偿装置的支撑壳 32 与隔离装置 42 之间的区域也视为厚壁圆筒。根据材料的编号，分别把这三个厚壁圆筒称为圆筒 21、圆筒 22 和圆筒 23。

设计一个对照方案，用来衬托实施例 9 的技术效果。

对照方案如下：把实施例 9 中的材料 22 就选成材料 21，并去除掉隔离装置 41。圆筒 21 和圆筒 22 合并成为一个圆筒，其厚度是原来两个圆筒的厚度之和。合并后圆筒称为圆筒 2122。

先分析本实施例中的第一种情况：材料 21 已经凝固，材料 22 和材料 23 还都处在可流动状态的阶段。

凝固后的材料 21 还会发生体积收缩，收缩引起圆筒 21 的外壁与钢管内壁之间的压应力降低。当材料 22 和 23 都处在可流动状态时，圆筒 21 内壁（隔离装置 41 附近）上的径向压应力等于带壳体积补偿装置中的供压装置 31 的提供的压应力，这个压力不随时间变化。所以圆筒 21 内壁上的径向压应力高于外壁（钢管附近）上的径向压应力。这两处的径向压应力的差值随着圆筒 21 的径向厚度的增加而增加，当然也随着径向厚度减小而减小。

再分析本实施例中的第二种情况：材料 21 和 22 都已经凝固，材料 23 还都处在可流动状态的阶段。

注意当材料 22 失去流动性时，材料 21 的体积收缩转折点已经出现，在转折点之后材料 21 的体积收缩速率非常低，在之后发生的体积收缩总量也很小了。为了分析起来简便，忽略掉在转折点之后材料 21 产生的体积收缩。

当材料 21 不再发生体积收缩之后，在第二种情况下对圆筒 22 分析的方法就与在第一种情况下对圆筒 21 分析的方法完全相同。

再来分析对照方案。在对照方案中，圆筒 2122 的厚度是圆筒 21 和圆筒 22 的合计厚度，圆筒 21 和 22 的材料是同步凝固的，即同时达到可流动状态结束时刻，同时达到体积收缩转折点。当对照方案中的供压装置与实施例 9 中的供压装置提供的压力相同时，对照方案中的圆筒 2122 的内外壁之间的径向压力差值远大于实施例 9 中的圆筒 22 的内壁与圆筒 21 外壁之间的径向压力差值。

显然，实施例 9 中的钢管内壁上的径向压应力高于对照方案中的钢管内壁上的径向压应力。当组合结构的横截面积很大时，实施例 9 的技术效果会更加明显。需要指出的是，在实施例 9 中，钢管内部的水泥基材料的圆筒数量还可进一步增加。如果增加圆筒数量时满足以下两个条件，则每增加一个圆筒，就能够减少供压装置提供的压应力与作用到钢管内壁上的压应力之间的差值。所述两个条件是：(1) 对于任选的一个隔离装置，隔离装置内侧的圆筒材料的可流动状态结束时刻晚于外侧圆筒材料的体积收缩转折点出现的时刻；(2) 每个圆筒的厚度都在减小；

实施例 9

组合结构是等截面钢管内充填 B 材料的受压构件。A 部分采用实施例 5 中的 A 部分（图 22），或采用实施例 6 中的 A 部分（图 25）。横截面如图 33 和图 34 所示，其中图 34 为局部放大图。所述钢管 12 的空腔内设置有近似圆筒形隔离装置 41，其包围的区域内充填的是 RPC 材料 21，所述隔离装置 41 的高

度略低于钢管 12 的空腔高度；在隔离装置 41 与钢管 12 之间设置有两个 Ω 形的隔离装置 42，其高度略低于钢管 12 的空腔高度；在每个所述 Ω 形隔离装置 42 与钢管 12 的内壁包围的区域内，放置有一个带壳体积补偿装置 3，充填有缓凝环氧砂浆 23；在隔离装置 41、两个 Ω 形的隔离装置 42 以及钢管 12 包围的两个区域中都充填的是缓凝 RPC 材料 22。

缓凝 RPC 材料 22 的可流动状态结束时刻晚于 RPC 材料 21 的体积收缩转折点出现的时刻，缓凝环氧砂浆 23 的可流动状态结束时间晚于缓凝 RPC 材料 22 的体积收缩转折点出现的时刻。

所述带壳体积补偿装置中的供压装置的选择范围是气囊、气液囊、弹性外壳储能装置或加压储能液囊。施工方法如下。

(1) 充填之前的工作

制作组合结构的 A 部分。把两个带壳体积补偿装置固定到钢管 12 内部；分别把两个 Ω 形隔离装置 42 放置到钢管 12 的内部，用胶带把隔离装置 42 固定到钢管的管壁上；把隔离装置 41 放置到钢管 12 的空腔中。

(2) 充填 B 部分材料和安装上封堵板

向隔离装置 41 包围区域充填 RPC 材料 21，向由隔离 41、隔离装置 42 以及钢管围成的两个区域内充填缓凝 RPC 材料 22，向隔离装置 42 与钢管围成的区域充填缓凝环氧砂浆 23。当充填材料高度达到法兰盘附近，停止充填，安装上封堵板。再向 A 包围空腔中的剩余空间充填缓凝 RPC 材料 22，直到充填满为止。

(3) 安装加压装置，对 B 部分材料加压。

加压方法采用一次性加压或间歇式加压。

技术效果分析

先设计一个对照方案，把本实施例与对照方案比较来说明本实施例的技术效果。

对照方案是：假设本实施例中未使用缓凝环氧砂浆 23，在环氧砂浆占据的区域都用缓凝 RPC 材料 22 来代替。下面分析对照方案的不足之处。在可流动状态的后期，如果让缓凝 RPC 材料 22 能够从支撑壳的孔洞中流出，需要支撑壳的内外压应力差值较大。另一方面，在这个阶段 RPC 材料 21 和缓凝 RPC 材料 22 还都在发生收缩，这会进一步降低处在钢管 12 内壁与支撑壳外表面之间的所有 B 材料内部的压应力。

在本实施例的方案中，当 RPC 材料 22 处在可流动状态的后期时，虽然其流动性变差，但是，带壳体积补偿装置能够推动缓凝环氧砂浆 23 填补其收缩产生的空间。如果材料 21 和材料 22 在凝固之后发生的收缩量较大，致使材料 22 与钢管之间出现间隙，缓凝环氧砂浆 23 也能够挤入该间隙中。这可减少因材料 21 和材料 22 的收缩产生的压力降低的幅度。

另外，环氧树脂的成本远高于缓凝 RPC 的成本，如果在所有缓凝 RPC 材料 22 占据的空间都用缓凝环氧砂浆则成本较高，只在带壳体积补偿装置附近使用环氧砂浆有利于降低组合结构的总成本。

实施例 10

钢管混凝土组合结构是一个轴心受压构件，如图 35~37 所示。A 部分包括上封堵板 110、法兰盘 111、钢管 12 和下封堵板 13。法兰盘 111 焊接在钢管 12 的上端，下封堵板焊接在钢管 12 的下端。在上封堵板与法兰盘之间采用螺栓连接，上封堵板上的螺栓孔 1101 对着下封堵板上的螺栓孔 1111。在上封堵板上加工有进料孔 1103、排气孔 1102 和加压孔 1104。

在钢管的空腔中，从中心向周边依次充填有 B_1 材料 21、 B_2 材料 22 和 B_3 材料 23，参见图 35~37。在 B_1 材料 21 和 B_2 材料 22 之间设置有隔离装置 41， B_2 材料 22 和 B_3 材料 23 之间设置有隔离装置 42，上封堵板上的加压孔 1104 的位置对着 B_2 材料 22 所在的区域（参见图 37）。所述隔离装置 41 和 42 都是由薄铁板制作的，隔离装置 41 是波纹形筒，隔离装置 42 是有四处内凹的筒。所述隔离装置 41 和 42 的下端与下封堵板之间几乎没有间隙，其上端与上封堵板之间留有 5~30mm 的间隙。所述隔离装置 41 和 42 分别设置有若干个固定点与下封堵板 13 连接，以防横向或/和纵向窜动。优选地，隔离装置的固定点选为 3~6 个，这既可以固定隔离装置的位置，又不影响隔离装置在固定点之外的横向变形。

所述 B_3 材料为缓凝高分子材料与固体颗粒的混合物；所述 B_2 材料为缓凝 RPC，所述 B_1 材料为 UHSC

(超高强混凝土)材料。

所述 B_1 、 B_2 和 B_3 材料具有以下特性:

(1) B_2 材料 22 的可流动状态结束的时刻, 晚于 B_1 材料 21 的可流动状态结束的时刻; 优选地, B_2 材料 22 的可流动状态结束的时刻, 晚于 B_1 材料 21 体积收缩转折点出现的时刻。

(2) B_3 材料 23 的可流动状态结束的时刻, 晚于 B_2 材料 22 的可流动状态结束的时刻; 优选地, B_3 材料 23 的可流动状态结束的时刻, 晚于 B_2 材料 22 体积收缩转折点出现的时刻。

制作流程如下。

(1) 制作 A 部分。

(2) 准备带壳体积补偿装置。

所述带壳体积补偿装置中的供压装置选为双限限气囊, 向上限气囊中充填气体, 直到气压达到预设值。

把四个带壳体积补偿装置安装到 A 部分包围空腔中的预设位置。

(3) 将隔离装置 41 和 42 固定在下封堵板 13 上。

(4) 同步地或交错地向空腔中充填 B_1 材料 21、 B_2 材料 22 和 B_3 材料 23; 在充填过程中, 三种材料的高度差要限制在一定范围, 以防充填材料把隔离装置挤压的横向变形过大; 在充填过程中用振捣棒振捣 B_1 材料 21、 B_2 材料 22, 以便消除其中的气泡; 用激振器振捣钢管 12, 以便增加 B_3 材料 23 的流动性, 使之更容易通过带壳体积补偿装置中支撑壳管壁的孔洞流入气囊与支撑壳内壁的空隙中, 同时也有利于消除 B_3 材料 23 内部的气泡和空洞。

(5) 当 B_1 材料 21 接近隔离装置 41 的上端时, 停止充填 B_1 材料 21, 在 B_1 材料 21 上表面放置一个由薄铁板制作的盖子 411, 注意盖子要进入到隔离装置的空腔中; 所述盖子的形状和尺寸使之适合放入到隔离装置 41 包围的空腔中。盖子 411 的作用是防止 B_1 材料与 B_2 , 或与 B_3 有过大的接触面, 防止因不同 B 部分材料大面积接触造成材料的可流动状态持续的时间长度发生变化。

(6) 继续充填 B_3 材料 23, 一直到其上表面接近或达到隔离装置 42 的上端。此步骤也可以出现在步骤 (5) 之前。

(7) 安装上封堵板 110; 把加压管路的一端安装到上封堵板 110 的加压孔 1104 上, 将加压管路的另一端连接到加压泵上, 所述加压泵能够将缓凝 RPC 挤入管路, 并施加压力。安装到上封堵板 110 的加压孔 1104 上的加压管路和其中的缓凝 RPC 就是就是简化加压装置。

(8) 通过安装在加压孔 1104 上的加压管路, 向 A 部分包围的空腔中注入缓凝 RPC 材料, 在注入的过程中, 空气从孔洞 1102 或/和 1103 中排出; 持续地注入, 让缓凝 RPC 从孔洞 1102 或/和 1103 中流出一定的数量, 以便带出 A 部分包围空腔中的气体。

(9) 用丝堵分别堵住孔洞 1102 和 1103。

(10) 用加压泵通过连接在加压孔 1104 上的加压管路继续向 A 部分包围的空腔中挤入缓凝 RPC 材料, 以增加压力, 直到压力达到预设值。

(11) 维持压力, 可选择以下两种方法之一。

(i) 持续加压方法

当压力达到预设值时, 保持压力恒定。所述恒定的压力数值的确定方法是, 使带壳体积补偿装置中的双限气囊的压力介于上下限之间, 当气囊周围介质压力变化时气囊能够膨胀和收缩。

(ii) 间歇加压方法

用加压泵向 A 部分包围的空腔中注入 B_2 材料, 当压力达到预设值时, 关闭加压管路上的阀门, 使 A 部分包围的空腔中的 B_1 、 B_2 和 B_3 材料都不能进出所述空腔。

监控 A 部分包围的空腔中的 B_2 或 B_3 材料的压力, 当压力低于预设值时, 再用加压泵向 A 部分包围空腔中挤入 B_2 材料 22; 当 B_2 材料 22 的压力达到预设值时, 再一次关闭加压管路上的阀门; 如此循环多次。

无论采用持续加压方法还是间歇加压方法，都要在 B_2 材料的可流动状态结束之前，关闭加压管路上的阀门，拆除加压泵，防止 B_2 材料凝固在加压泵中。

技术效果分析

当组合结构构件的横截面非常大时，此实施例适合使用。

例如钢管 12 的内直径为 3 米；隔离装置 41 的内接圆为 2.5 米，外接圆为 2.6 米；隔离装置 42 的直径为 2.9 米。

设计一个对照构件。在对照构件中，B 部分材料只使用 B_1 和 B_3 两种，即在实施例中去掉隔离装置 41， B_2 材料选用 B_1 材料，隔离装置 42 保留，在 A 部分包围空腔的上端充填的是 B_3 材料。下面的分析是基于与对照构件的比较。

作为 B_3 材料的缓凝高分子材料与固体颗粒的混合物，其优点是，可流动状态持续的时间可调范围较宽，流动性随时间变化幅度较小；缺点是成本较高，弹性模量和三轴强度低于 RPC 材料。当采用本实施例的方案时，在 A 部分包围空腔的上端部充填的是 B_2 材料（RPC），这比充填 B_3 材料除了节省成本之外，还有利于提高构件的承载能力。

当采用本实施例的方案时，在关闭加压管路阀门之前， B_1 和 B_2 材料收缩产生的空隙由加压泵挤入的 B_2 材料填补，这部分空隙占整改 A 部分包围空腔中的 B_1 、 B_2 和 B_3 材料在都达到最强强度时刻之前产生的合计空隙量的绝大部分。显然，在这个时间段内， B_1 和从 B_2 材料的收缩量没有用 B_3 材料来填补，这将大幅度地节省了 B_3 材料使用量，降低了成本。

只在关闭阀门之后， B_2 材料的收缩产生的空隙才由四个带壳体积补偿装置中被气囊挤出的 B_3 材料来充填，显然这对气囊体积变形量的要求也大幅度地降低了。

术语说明

至少

“至少具有以下特征之一”的含义包括，具有以下一个特征，或者具有以下的两个或更多个特征，或者具有以下的全部特征。

“在空间区域 Z 的至少在一部分区域中”的含义包括，在空间区域 Z 中一个空间区域或多个空间区域，或者在整个空间区域 Z 中。

“在整个过程中的至少一个时间段内”的含义包括，在一个时间段内，或者在多个时间段内，或者在整个过程中。

多个

在本文中“多个”是指两个或两个以上。

简化加压装置

简化加压装置的特征是，能够对于构件的 A 部分包围空腔中的 B 部分材料施加压力，但该装置没有配套的支撑壳。

优选地，所述简化加压装置的选择范围包括，加压活塞，加压管路和其中的介质，缓凝加压液囊。

加压装置与简化加压装置

在本发明中有两个加压装置：一个是把支撑壳中的供压装置选为加压装置时的“加压装置”，这时加压装置仍然称为加压装置；另一个是，简化加压装置。

加压活塞

所述加压活塞是表面光滑的固体材料杆件，它穿过 A 部分上的活塞孔伸入到 A 部分包围的空腔中，加压活塞与活塞孔之间做密封处理；加压活塞能够沿着其长度方向移动，通过挤占 B 部分材料占据的空间来增加其压力，或/和通过让出其挤占的空间来减少压力；

加压管路

所述加压管路是，连接在外置加压力源与 A 部分包围空腔中的管路，管路中充满了处在可流动状态的 B 部分材料，当压力源增加压力时，管路中的 B 部分材料进入 A 部分包围的空腔中；

缓凝加压液囊

所述缓凝加压液囊的特征是，(1) 液囊处在 A 部分包围的空腔中，(2) 液囊中的材料缓凝流固转换材料，其凝固出现的时刻晚于加压结束的时刻。

用简化加压装置加压的方法

本发明中的加压方法至少包括以下几种：

- (1) 利用囊类加压装置加压；
- (2) 利用加压活塞加压；

所述加压活塞是表面光滑的柱形体，通过增加或减少挤占 A 部分包围空腔中的空间来增加或减少所述空腔中的处在可流动状态的 B 材料的压力；

- (3) 通过管路直接向空腔中注入处在可流动状态的流固转换材料。

预压应力

预压应力是，在某一时刻之前通过挤压 B 部分材料，施加到组合结构 A 部分包围空腔中的 B 部分材料上的应力。

例如，用一个细管子把空腔中的 B 部分的材料与空腔之外的加压装置相连，管子中也填满了 B 部分所用材料。加压装置对管子中的材料施加一个恒定的压力，直到管子中的材料凝固并达到足够的强度。之后拆除 A 部分外表面之外的管子，显然，A 部分空腔中的 B 材料仍然受到之前施加的压力作用，此压力就是预压应力。由于在压力作用下，B 材料可能发生造成体积收缩的蠕变，因此，在空腔内部 B 部分的某个空间点上，预压应力可能会随着时间的增加而减小；在这个 B 部分上，预压应力的分布也可能随时间发生变化。

残留预压应力

残留预压应力的含义是，在 B1 和 B2 材料都凝固之后，B1 和/或 B2 材料还会发生收缩，这时材料中原来的预压应力会变小，变小之后的预压应力就是所述残留预压应力。

流固转换材料

流固转换材料是能够从可流动状态变成为固体状态的材料。

本发明中的 B 材料都是流固转换材料。

流动性

材料具有流动性是指，材料至少具有以下特性之一。

(1) 材料无论是否受到静水压力作用，都不具备静态抗剪强度；所述几乎不具备静态抗剪强度是指，与可凝固材料的最终静态抗剪强度相比，在所述时刻的静态抗剪强度非常小，仅为最终强度的几万分之一至十几分之一；

(2) 材料不具备静态单轴抗压强度；所述几乎不具备静态单轴抗压强度是指，与可凝固材料的最终静态单轴抗压强度相比，在所述时刻的静态抗压强度非常小，仅为最终强度的几万分之一至十几分之一；

(3) 受任何很小的剪切力作用时，都会随时间发生连续变形；所述很小的剪切力是指，在施加剪切力的时刻，剪切力仅为可凝固材料的最终静态抗剪强度的几万分之一至十几分之一。

可流动状态

当材料具有流动性时，材料就处在可流动状态。

相对高流动性

在某一时刻，材料甲与材料乙都受到相同的应力作用，该应力不随时间变化并且其偏量不为零，如果材料甲的偏应变速率比材料乙的偏应变速率高，则称材料甲比材料乙具有相对高流动性。

凝固

在本发明中凝固是指，材料由静态或准静态抗剪强度为零或几乎为零转变成具有静态或准静态抗剪强度的过程。

静态或准静态抗剪强度几乎为零是指，与可凝固材料的最终静态抗剪强度相比，在所述时刻的静态抗剪强度非常小，仅为最终强度的几万分之一至十几分之一；

凝固包含但不限于：

水泥净浆的、水泥砂浆的、混凝土的、活性粉末混凝土等的凝结硬化过程；高分子材料由可流动状态变成固体的过程。

在凝固过程中，材料的蠕变特性在逐步发生变化，粘度系数在逐步增大。

缓凝减摩材料

此材料具有以下特征之一：

(1) 配制完成之后，在设计要求的时间范围内，其静态抗剪强度为零或几乎为零，仅为缓凝减摩材料的最终静态抗剪强度的几万分之一至十几分之一；

(2) 当时间超过一定长度之后，材料的内聚力和内摩擦角都有增长，逐渐趋于最终值；缓凝减摩材料与其接触的固体表面之间的粘结力和摩擦系数都有增加，逐渐接近于最终值。

缓凝减摩层

缓凝减摩层是用缓凝减摩材料制作的层状材料，用在空腔中的 B 材料与 A 部分的内表面之间。

缓凝减摩层的制作方法包含以下几种：

(1) 把缓凝材料涂抹到透水的编织物上；

(2) 把缓凝材料涂抹到不透水的薄膜的一面或两面，与 A 部分内表面接触的薄膜表面上要有涂抹的缓凝减摩材料；

(3) 在 A 部分的内表面的某一区域上涂抹缓凝减摩材料，再在缓凝减摩材料上贴一层透水的编织物、或不透水的薄膜。

缓凝减摩层失去流动性的时刻，一定要晚于空腔中的 B 材料开始凝固的时刻，最好要晚于 B 材料的收缩转折点出现的时刻，以便于削弱或消除 B 材料面向 A 部分内壁的那个表面上的剪应力。如果没有缓凝减摩层，由于 B 部分材料在凝固之后还会继续发生体积收缩，B 材料与 A 部分内壁界面上会有剪应力，这种剪应力会使 B 材料内部的压应力分布不均匀，甚至还可能在 B 材料内部产生拉应力。

装置的表现体积

某一装置的表现体积是该装置外表面包围的体积。

按照上述定义，供压装置具有表现体积。

装置的表现体积弹性模量

设某一装置周围都是静态流体，装置的外表面上作用有流体压力 p ，当压力 p 产生增量 Δp 时，相应地该装置的表现体积产生增量 ΔV 。

记

$$K_B^A = \min_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta p}{\Delta V}$$

如果表观体积的变化是可恢复的，则 K_D^A 称为表观体积弹性模量。

按照上述定义，供压装置具有表观体积弹性模量。

表观体积变形性模量

表观体积变形模量用下式表示

$$K_D^A = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta p}{\Delta V}$$

其中的表观体积 V 的变化含有不可恢复的部分。

按照上述定义，供压装置的表观体积中如果含有不可恢复的部分，则 K_D^A 为供压装置的表观体积变形模量。

表观刚度

外表面包围区域的刚度。

支撑壳无孔洞部分的刚度

以支撑壳为管壁有孔洞的钢管为例来说明。

支撑壳为管壁上有孔洞的钢管，从中找出一段长度，其管壁上无孔洞。该段长度的钢管的外表面的径向刚度就是所述无孔洞部分的一种刚度，当然该段钢管轴向刚度也是一种刚度。在本发明中，如果我特殊说明，支撑壳的刚度指径向刚度或法向刚度。

体积收缩转折点

体积收缩转折点简称收缩转折点。

把新拌水泥基材料放入封闭环境中，让其经历两个阶段：

- (1) 在第一阶段，材料受到的压力至少在刚开始阶段是变化的，经历的温度变化与否不受限制；
- (2) 在第二阶段，保持温度和压力不变，记录其体积应变与时间关系曲线。

在第二阶段，如果体积应变与时间关系曲线中存在一个具有以下特征的点，则该点就是收缩转折点。

该点的特征是：在该点处曲线的曲率最大，在该点之后的体积应变速率远低于之前处在第二阶段的平均速率，仅为之前该速率的几十分之一到几分之一，甚至更低。在常用的水灰比或水胶比范围内，收缩转折点出现时，材料已经具有一定的静态抗剪强度。

如果在第二阶段，体积应变与时间关系曲线中没有出现转折点，说明第二阶段的开始时间太晚了，通过缩短第一阶段的时间长度，可使第二阶段中的曲线出现转折点。如果第二阶段开始时材料还处在可流动状态，则一定能够找到转折点。即使在第二阶段开始的时刻材料具有的一定的静态抗剪强度，如果强度不是足够高，还是能够出现转折点。

柱形体

柱形体的特征是，轴线是直线，横截面相同。

圆角棱柱体

圆角棱柱体的特征是，棱柱体的横截面是圆角多边形。

权利要求书

1. 一种带壳体积补偿装置，包括供压装置和支撑壳；

所述支撑壳包围有空腔，在所述空腔与所述支撑壳外部周围空间区域之间有连接通道；

所述供压装置处在所述空腔之中；

所述供压装置能够向与其接触的介质提供压力。

2. 根据权利要求1所述带壳体积补偿装置，其特征是，所述支撑壳是管子，并且，至少具有以下特征之一：

(1) 所述管子的管壁上设置有孔洞，管子的两端进行封堵；所述管壁上的孔洞用作连接支撑壳空腔与支撑壳周围外部空间区域的连接通道；

(2) 所述管子的管壁上设置有孔洞，管子的两端中至少有一端不进行封堵；

(3) 所述管子的管壁上没有孔洞，管子的两端中至少有一端不进行封堵；管子没有封堵的端部管孔用作连接支撑壳空腔与支撑壳周围外部空间区域的通道。

3. 根据权利要求1所述带壳体积补偿装置，其特征是，所述支撑壳为带有孔洞的壳体。

4. 根据权利要求1所述带壳体积补偿装置，其特征是，所述供压装置的选择范围包括，加压装置、储能装置和加压储能装置；

(1) 所述加压装置能够改变或/和维持其外表面和与之接触的介质之间的压力；

(2) 所述储能装置具有如下特性，

当储能装置外表面受到的压力升高时，储能装置表观体积变小，储能装置吸收能量；或/和，当外表面受到的压力降低时，储能装置表观体积增加，储能装置释放能量；

(3) 所述加压储能装置具有以下的特性甲和特性乙，

所述特性甲为，

加压储能装置能够改变或/和维持其外表面和与之接触的介质之间的压力；

所述特性乙为，

在其他影响因素不变的条件下，当加压储能装置外表面受到的压力升高时，装置的表现体积变小，加压储能装置吸收能量；或/和，当外表面受到的压力降低时，装置的表现体积增加，加压储能装置释放能量。

5. 根据权利要求4所述带壳体积补偿装置，其特征是：

(1) 所述加压装置的选择范围包括，加压气囊、加压气液囊、加压液囊、自膨胀装置；

(2) 所述储能装置的选择范围包括，气囊、气液囊、储能液囊，实心弹性体储能装置、弹性外壳储能装置；

(3) 所述加压储能装置的选择范围包括，加压气囊、加压气液囊、加压储能液囊，自膨胀装置；

优选地，所述自膨胀装置为甲型自膨胀装置；优选地，所述甲型自膨胀装置是甲1型自膨胀装置；优选地，所述甲1型自膨胀装置是甲1a型或/和甲1b型自膨胀装置。

优选地，所述自膨胀装置为乙型自膨胀装置。

6. 根据权利要求5所述带壳体积补偿装置，其特征是，

所述用作加压装置、储能装置和加压储能装置的气囊的选择范围包括，普通气囊、上限气囊、下限气囊和双限气囊；

所述用作加压装置、储能装置和加压储能装置的气液囊的选择范围包括，普通气液囊、上限气液囊、下限气液囊和双限气液囊；

所述用作加压装置、储能装置和加压储能装置的液囊的选择范围包括，普通液囊、上限液囊、下限液囊和双限液囊；优选地，所述液囊设置有管路与液压源连接；优选地，所述液囊设置有管路与液压源以及蓄能器连接。

7. 根据权利要求1所述带壳体积补偿装置,其特征是,所述供压装置的选择范围包括,甲型自膨胀装置和乙型自膨胀装置;优选地,所述甲型自膨胀装置是甲1型自膨胀装置。

8. 根据权利要求1至7之一所述带壳体积补偿装置,其特征是,
在所述支撑壳内壁与供压装置外表面之间的空隙中充填有流固转换材料,或/和,
在所述支撑壳外部周围空间区域中存在有所述流固转换材料。

9. 根据权利要求1至8之一所述带壳体积补偿装置,其特征是,所述装置具有以下特性:

(1) 当所述流固转换材料处在可流动状态,所述流固转换材料适合从所述连接通道中流过;
或/和,

(2) 当所述流固转换材料处在固体状态,所述流固转换材料与所述支撑壳组成复合壳体,所述复合壳体包括支撑壳和其周围一定范围内的凝固之后的流固转换材料,所述复合壳体能够承受其外围介质的压力。

10. 一种带壳体积补偿装置的制作方法,其特征是,所制作的带壳体积补偿装置如权利要求1至9之一所述。

11. 一种使用带壳体积补偿装置对周围介质提供压力的方法,其特征是,

(1) 所述带壳体积补偿装置如权利要求1~9之一所述;

(2) 在使用所述带壳体积补偿装置提供压力的过程中,除了使用所述支撑壳和所述供压装置之外,还需要流固转换材料参与;

所述流固转换材料是能够从流体状态进入到固体状态的材料;

(3) 所述带壳体积补偿装置的所述支撑壳、所述供压装置与所述流固转换材料之间空间关系具有以下特征,

在支撑壳内壁与供压装置外表面之间的至少一部分空隙中存在流固转换材料,或/和,

至少在支撑壳的一部分外部周围空间区域中存在流固转换材料;

(4) 当流固转换材料处在可流动状态时,

a. 如果支撑壳外部的流固转换材料受到的外部介质施加的压力增加,则所述流固转换材料经过所述连接通道向所述支撑壳包围的空腔中流入,挤压空腔中的供压装置,使供压装置的表观体积变小;如果支撑壳外部的或/和连接通道中的流固转换材料受到的外部介质施加的压力减小,则所述空腔中的供压装置的表观体积增大,推动所述流固转换材料向所述支撑壳外部流动;
或/和,

b. 当供压装置的表观体积增大时,供压装置挤压支撑壳空腔中的流固转换材料经过所述连接通道流出支撑壳;当供压装置的表观体积变小时,如果支撑壳外部周围的流固转换材料受到外围介质的压力作用,则流固转换材料经过所述连接通道流入支撑壳的空腔中;

(5) 当流固转换材料处在固体状态时,

所述流固转换材料与所述支撑壳组成复合壳体,复合壳体作为整体抵抗外部介质的压力;所述支撑壳能够承受凝固的流固转换材料作用在其外表面上的压力。

12. 一种组合结构构件,包括A部分、B部分和C部分;其中

A部分包围有空腔,A部分为固体;

B部分是流固转换材料,所述流固转换材料是能够从可流动状态变为固体状态的材料;

C部分是一个或多个带壳体积补偿装置,所述带壳体积补偿装置如权利要求1~9之一所述,每个带壳体积补偿装置包括支撑壳和供压装置;

所述带壳体积补偿装置和所述B部分材料处在A部分包围空腔中。

13. 根据权利要求12所述组合结构构件,其特征是,所述A部分包围有一个空腔,或者所述A部分

包围有两个或两个以上空腔；

当所述 A 部分包围有两个或两个以上空腔时，所述空腔具有以下特性：

(1) 至少有两个空腔是彼此连通的；所述连通是指二个空腔之间存在连接通道，处于可流动状态的介质能够从一个空腔流入另一个空腔；或/和，

(2) 至少有两个空腔是彼此隔离的；所述隔离是指，两个空腔之间不存在连接通道。

14. 根据权利要求 12 所述组合结构构件，其特征是，至少在 A 部分包围的一个空腔中，所述 B 部分材料的选择范围包括以下四大类：

(1) 水泥基材料，

所述水泥基材料包括水泥砂浆、活性粉末混凝土、普通强度混凝土、高强混凝土、超高强混凝土；

(2) 水泥基材料与高分子材料的混合物，

所述水泥基材料中的水泥参与水化反应；

(3) 自身能够固化的高分子材料，

(4) 高分子材料与固体粉末或/和固体颗粒的混合物；

15. 根据权利要求 12 所述构件，其特征是，至少在所述 A 部分包围的一个空腔中，有 M 种所述 B 部分材料，分别为 $B_1, B_2 \dots B_i, B_{i+1} \dots B_M$ 材料，它们分别占据着不同的空间区域，每一种 B 部分材料都是流固转换材料。

16. 根据权利要求 15 所述构件，其特征是，至少在 A 部分包围的一个空腔中，所述 B 部分材料至少具有以下特征甲和乙之一：

(1) 所述特征甲是，

至少存在有一个 i 和一个 j，其中 $1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq M, i \neq j$ ，与所述 i 和 j 对应存在有至少一个时间段；在该时间段内，与 B_i 材料相比， B_j 材料具有相对高流动性；

(2) 所述特征乙是，

至少存在有一个 i 和一个 j，其中 $1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq M, i \neq j$ ，与之对应的所述 B_i 和 B_j 材料具有以下特性：

(i) 所述 B_i 材料的可流动状态结束时刻，晚于或等于 B_j 材料的可流动状态结束时刻，早于 B_j 材料的体积收缩转折点出现时刻；或者，

(ii) 所述 B_j 材料的可流动状态结束时刻晚于或等于 B_i 材料体积收缩转折点出现的时刻。

17. 根据权利要求 15 所述构件，其特征是，至少在 A 部分包围的一个空腔中，至少存在有一个 i， $1 \leq i \leq M$ ，对应的 B_i 材料至少具有以下特征甲、乙、丙三者之一，

(i) 所述特征甲是，

当 B_i 材料处在可流动状态阶段时，在其中的一个时间段、或多个时间段、或全阶段内，在全部 B 部分材料中至少所述 B_i 材料受到压应力的作用；

(ii) 所述特征乙是，

当所述 B_i 材料从可流动状态进入到固体状态的凝固过程中，在其中的一个时间段、或多个时间段、或全阶段内，在全部 B 部分材料中至少所述 B_i 材料受到压应力或预压应力的作用；

(iii) 所述特征丙是，

当所述 B_i 材料凝固之后，在全部 B 部分材料中至少所述 B_i 材料受到压应力或预压应力或残留预压应力的作用。

18. 根据权利要求 12 所述构件，其特征是，至少在 A 部分包围的一个空腔中，当其中的全部 B 部分材料凝固之后，所述构件至少具有以下三个特征之一：

(1) 在所述空腔中的一部分或多部分或全部 B 部分材料中, 存在有压应力或预压应力或残余预压应力;

(2) 在所述空腔中的一部分或多部分或全部的 A 部分内壁与 B 部分材料的接触面上, 存在有压应力或预压应力或残余预压应力;

(3) 在所述空腔中, 所述支撑壳外表面与所述 B 部分材料的接触面上, 存在有压应力。

19. 根据权利要求 12 所述构件, 其特征是, 至少在所述 A 部分包围的一个空腔中, 还存在简化加压装置; 所述简化加压装置的选择范围包括, 加压活塞, 加压管路和其中的介质, 缓凝加压液囊。

20. 根据权利要求 12 所述构件, 其特征是,

(1) 在所组合结构述构件的一段、或多段或全部长度范围内, 所述构件具有轴线; 并且,

(2) 所述轴线至少具有以下特征之一,

(i) 在所述构件的全部轴线中, 有一段、或多段或全部轴线是直线;

(ii) 在所述构件的全部轴线中, 有一段、或多段或全部轴线是曲线;

(iii) 在所述构件的全部轴线中, 至少有一段轴线是直线, 并且至少有一段轴线是曲线。

21. 根据权利要求 12 或 20 所述构件, 其特征是, 在所组合结构述构件的一段、或多段或全部长度范围内,

所述构件的横截面的外轮廓线围成的图形, 或/和所述 A 部分包围的所述空腔的横截面的外轮廓线围成的图形, 具有以下特性,

所述图形是由直线或/和曲线围成的图形;

优选地, 所述图形是外凸的; 优选地, 所述图形是外凸多边形; 优选地, 所述图形是外凸曲线图形; 优选地, 所述图形是圆形或椭圆形; 优选地, 所述图形是圆角多边形。

22. 根据权利要求 12 或 21 所述构件, 其特征是, 所述组合结构构件具有以下特征之一

(1) 至少在所述组合结构构件的某一段长度范围内, 在长度方向不同位置上, 横截面的形状和尺寸分别是相同的;

(2) 至少在所述组合结构构件的某一段长度范围内, 在长度方向不同位置上的横截面, 形状是相似的, 尺寸是不同的;

(3) 至少在所述组合结构构件的某一段长度范围内, 在长度方向上能够找到至少两个不同位置, 这两个位置上的横截面的形状不相似, 尺寸不相同。

23. 根据权利要求 12 或 20 至 22 之一所述构件, 其特征是, 所述组合结构构件是轴线为直线的只有一个空腔的柱形体受压构件; 或者, 所述组合结构构件是轴线为拱形曲线的只有一个空腔的受压构件。

24. 根据权利要求 12 所述构件, 其特征是, 所述带壳体积补偿装置至少具有以下特征之一:

(1) 所述供压装置的表观体积弹性模量和表观体积变形模量都分别远低于 B 部分材料在任何阶段的体积弹性模量和体积变形模量, 所述任何阶段是指全过程中的任何阶段, 所述全过程是指所述材料从可流动状态变成为达到最终强度的固态的过程;

(2) 当所述流固转换材料凝固且达到设计强度之后, 所述由流固转换材料与支撑壳组成的复合壳体的表观体积弹性模量和表观体积变形模量, 都分别远高于所述供压装置的表观体积弹性模量和表观体积变形模量;

(3) 当所述流固转换材料凝固且达到设计强度之后, 所述由流固转换材料与支撑壳组成的复合壳体能够承受周围介质施加的最大压力, 远高于供压装置单独工作时供压装置提供给周围介质的压力;

(4) 所述支撑壳的无孔洞处外表面能够承受周围介质施加的最大压力, 远高于供压装置单独工作时供压装置提供给周围介质的压力;

(5) 当所述支撑壳为管壁带孔洞的圆形钢管, 所述供压装置为长管型囊类储能装置时, 如果对外表面

增加同样的径向压力，则管壁无孔洞段的钢管的径向位移增量除以外直径，远低于囊类供压装置的径向位移增量除以外直径。

25. 一种组合结构构件的制作方法，包括以下步骤：

- (1) 获得包围有空腔的 A 部分，
- (2) 把一个或多个带壳体积补偿装置放置在或固定在所述 A 部分包围的空腔中，
- (3) 向所述空腔中充填 B 部分材料，
- (4) 对空腔中的 B 部分材料施加压力；

在制作过程中步骤 (2) 和 (3) 不受排列顺序的影响；

所述 B 部分材料是流固转换材料，

所述带壳体积补偿装置如权利要求 1~9 之一所述，每个带壳体积补偿装置包括供压装置和支撑壳，所述供压装置处在支撑壳的空腔之内。

26. 根据权利要求 25 所述方法，其特征是，

所述组合结构构件的 A 部分包围有一个或多个空腔；

当所述空腔数量大于等于 2 个时，所述空腔具有以下特性：

(1) 至少有两个空腔是彼此连通的；所述连通是指二个空腔之间存在连接通道，处于可流动状态的介质能够从一个空腔流入另一个空腔；或/和，

(2) 至少有两个空腔是彼此隔离的；所述隔离是指两个空腔之间不存在连接通道。

27. 根据权利要求 25 所述方法，其特征是，在适当的时候，向在所述供压装置外表面与所述支撑壳内表面之间的空隙中充填流固转换材料；

优选地，在带壳体积补偿装置被放入到 A 部分包围空腔之前，把处在可流动状态的流固转换材料至少充填到所述供压装置外表面与所述支撑壳内表面之间的空隙中；或/和，

当向 A 部分包围的空腔中充填 B 部分材料时，或者在对 A 部分包围的空腔中的 B 部分材料施加压力时，所述支撑壳外表附近外围区域中的 B 部分材料穿过支撑壳上的通道，进入到所述供压装置外表面与所述支撑壳内表面之间的空隙中。

28. 根据权利要求 25 或 26 所述方法，其特征是，至少在 A 部分包围的一个空腔中，有 M 种所述 B 部分材料，分别为 $B_1, B_2 \dots B_i, B_{i+1} \dots B_M$ 材料，它们分别占据着不同的空间区域。

29. 根据权利要求 28 所述方法，其特征是，至少在 A 部分包围的一个空腔中，所述 B 部分材料至少具有以下特征甲和乙之一：

(1) 所述特征甲是，

至少存在有一个 i 和一个 j，其中 $1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq M, i \neq j$ ，与所述 i 和 j 对应存在有至少一个时间段；在该时间段内，与 B_i 材料相比， B_j 材料具有相对高流动性；

(2) 所述特征乙是，

至少存在有一个 i 和一个 j，其中 $1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq M, i \neq j$ ，与之对应的所述 B_i 和 B_j 材料具有以下特性：

(i) 所述 B_j 材料的可流动状态结束时刻，晚于或等于 B_i 材料的可流动状态结束时刻，早于 B_i 材料的体积收缩转折点出现时刻；或者，

(ii) 所述 B_j 材料的可流动状态结束时刻晚于或等于 B_i 材料体积收缩转折点出现的时刻。

30. 根据权利要求 28 所述方法，其特征是，至少在 A 部分包围的一个空腔中，至少存在有一个 i， $1 \leq i \leq M$ ，对应的 B_i 材料具有以下特征甲、乙、丙三者之中的一个或两个或三个特征，

(i) 所述特征甲是，

当 B_1 材料处在可流动状态阶段时，在其中的一个时间段、或多个时间段、或全阶段内，在全部 B 部分材料中至少所述 B_1 材料受到压应力的作用；

(ii) 特征乙是，

当所述 B_1 材料从可流动状态进入到固体状态的凝固过程中，在其中的一个时间段、或多个时间段、或全阶段内，在全部 B 部分材料中至少所述 B_1 材料受到压应力或预压应力的作用；

(iii) 特征丙是，

当所述 B_1 材料凝固之后，在全部 B 部分材料中至少所述 B_1 材料受到压应力或预压应力或残留预压应力的作用。

31. 根据权利要求 25 所述方法，其特征是，所述带壳体积补偿装置至少具有以下特征之一：

(1) 所述供压装置的表观体积弹性模量和表观体积变形模量都分别远低于 B 部分材料在任何阶段的体积弹性模量和体积变形模量，所述任何阶段是指全过程中的任何阶段，所述全过程是指所述材料从可流动状态变成为达到最终强度的固态的过程；

(2) 当所述流固转换材料凝固且达到设计强度之后，所述由流固转换材料与支撑壳组成的复合壳体的表观体积弹性模量和表观体积变形模量，都分别远高于所述供压装置的表观体积弹性模量和表观体积变形模量；

(3) 当所述流固转换材料凝固且达到设计强度之后，所述由流固转换材料与支撑壳组成的复合壳体能够承受周围介质施加的最大压力，远高于供压装置单独工作时供压装置提供给周围介质的压力；

(4) 所述支撑壳的无孔洞处外表面能够承受周围介质施加的最大压力，远高于供压装置单独工作时供压装置提供给周围介质的压力；

(5) 当所述支撑壳为管壁带孔洞的圆形钢管，所述供压装置为长管型囊类储能装置时，如果对外表面增加同样的径向压力，则管壁无孔洞段的钢管的径向位移增量除以外直径，远低于囊类供压装置的径向位移增量除以外直径。

32. 根据权利要求 25 或 28 所述方法，其特征是，至少在 A 部分包围的一个空腔中，在所述组合结构构件中还设置有简化加压装置，该装置能够改变或维持 A 部分包围空腔中的 B 材料的压应力；

所述简化加压装置的选择范围包括，加压活塞，加压管路和其中的介质，缓凝加压液囊，其特征是简化加压装置没有配套的支撑壳。

33. 根据权利要求 32 所述方法，其特征是，至少在 A 部分包围的一个空腔中，联合使用所述简化加压装置和所述带壳体积补偿装置中的供压装置来改变或维持 B 部分材料的压力；

所述联合使用的特征是，至少在某一时间段内同时使用所述供压装置和所述简化加压装置，或/和至少在某一时间段内交替使用所述供压装置和所述简化加压装置。

34. 根据权利要求 25 或 28 至 30 之一所述方法，其特征是，至少在 A 部分包围的一个空腔中，只有一种 B 部分材料，这时 $M = 1$ ；

所述组合结构构件中至少有一段这样的构件，此段构件的横截面具有如下特征：

(1) 当所述构件的轴线为直线时，

(i) 如果在所述 A 部分包围空腔中只有一个所述带壳体积补偿装置，则所述装置处在空腔横截面的几何形心上；或者，

(ii) 如果在所述 A 部分包围空腔中有两个或两个以上所述带壳体积补偿装置，则所述装置所处的位置关于空腔横截面的几何形心是中心对称的，或者关于某个直线是轴对称的；

(2) 当所述构件的轴线为处在一个平面上的曲线时，

(i) 如果在所述 A 部分包围空腔中只有一个所述带壳体积补偿装置，

则所述装置处在空腔横截面的几何形心上；或者，所述装置的位置偏离所述空腔横截面的几何形心，但处在轴线所在平面上；

或者,

(ii) 如果在所述 A 部分包围空腔中有两个或两个以上所述带壳体积补偿装置, 则所述装置关于所述轴线所在平面是轴对称的。

35. 根据权利要求 25 或 28 至 30 之一所述方法, 其特征是, 至少在 A 部分包围的一个空腔中, 所述 B 部分材料具有以下特征 I、II 和 III,

所述特征 I 是,

在所述 A 部分包围的空腔中, 有 B_1 和 B_2 两种 B 部分材料, 这时 $M = 2$; B_1 和 B_2 材料分别占据不同的空间区域;

所述特征 II 是,

至少有一个带壳体积补偿装置, 其外表面的全部或绝大部分与 B_2 材料接触;

所述特征 III 是,

所述 B_1 和 B_2 材料至少具有以下甲乙丙三个特征之一:

(1) 所述特征甲为,

所述 B_2 材料的可流动状态结束时刻, 晚于或等于 B_1 材料的可流动状态结束时刻, 早于 B_1 材料的体积收缩转折点出现时刻; 或者,

所述 B_2 材料的可流动状态结束时刻晚于或等于 B_1 材料体积收缩转折点出现的时刻;

(2) 所述特征乙为,

至少存在有一个时间段, 在该时间段内, 与 B_1 材料相比, B_2 材料具有相对高流动性;

(3) 所述特征丙为,

所述 B_1 和 B_2 材料至少具有以下特性之一

(i) 当 B_1 材料处在可流动状态阶段时, 在其中的一个时间段、或多个时间段、或全阶段内, 所述 B_1 或/和 B_2 材料受到压应力的作用;

(ii) 当所述 B_1 材料从可流动状态进入到固体状态的凝固过程中, 在其中的一个时间段、或多个时间段、或全阶段内, 所述 B_1 或/和 B_2 材料受到压应力或预压应力的作用;

(iii) 当所述 B_1 材料凝固之后, 所述 B_1 材料受到压应力或预压应力或残留预压应力的作用; 或/和, 所述 B_2 材料受到压应力或预压应力或残留预压应力的作用;

(iv) 当所述 B_1 和 B_2 材料都凝固之后, 所述 B_1 材料受到压应力或预压应力或残留预压应力的作用; 或/和, 所述 B_2 材料受到压应力或预压应力或残留预压应力的作用。

36. 根据权利要求 25 或 28 至 30 之一所述方法, 其特征是, 在所述 A 部分包围的空腔中, 有 B_1 、 B_2 和 B_3 三种 B 部分材料, 这时 $M = 3$; B_1 、 B_2 和 B_3 材料分别占据不同的空间区域;

所述方法至少具有以下甲乙丙三个特征之一,

(一) 所述特征甲为,

至少有一个带壳体积补偿装置与 B_3 材料接触; 当所述 B_3 材料处在可流动状态时, 如果 B_1 或/和 B_2 材料发生体积收缩, 则带壳体积补偿装置中的供压装置推动与之接触的 B_3 材料从支撑壳的孔洞流出, 填补 B_1 或/和 B_2 材料的收缩体积。

(二) 所述特征乙为,

所述 B_1 、 B_2 和 B_3 材料具有以下三个特征之一:

(1) 特征 1

a. 所述 B_2 部分材料的可流动状态结束时刻晚于 B_1 材料体积收缩转折点出现的时刻; 或/和,

b. 所述 B_3 部分材料的可流动状态结束时刻, 晚于 B_2 材料的可流动状态结束时刻, 早于 B_2 材料的体积收缩转折点出现时刻之前;

(2) 特征 2

- a. 所述B₂部分材料的可流动状态结束时刻晚于B₁材料体积收缩转折点出现的时刻；或/和，
- b. 所述B₃部分材料的可流动状态结束时刻晚于B₂材料体积收缩转折点出现的时刻；

(3) 特征 3

- a. 所述B₂部分材料的可流动状态结束时刻，晚于或等于B₁材料的可流动状态结束时刻，早于B₁材料的体积收缩转折点出现时刻；或/和，
- b. 所述B₃材料的可流动状态结束时刻，晚于或等于B₂材料的可流动状态结束时刻，早于B₂材料的体积收缩转折点出现时刻；

(三) 所述特征丙为，

所述B₁、B₂和B₃材料至少具有以下特性之一，

- (i) 当B₁材料处在可流动状态阶段时，在其中的一个时间段、或多个时间段、或全阶段内，所述在B₁、B₂和B₃材料中至少有一种材料受到压应力的作用；
- (ii) 当所述B₁材料从可流动状态进入到固体状态的凝固过程中，在其中的一个时间段、或多个时间段、或全阶段内，在B₁、B₂和B₃材料中至少有一种材料受到压应力或预压应力的作用；
- (iii) 当所述B₁材料凝固之后，在B₁、B₂和B₃材料中至少有一种材料受到压应力或预压应力或残留预压应力的作用；
- (iv) 当所述B₁、B₂和B₃材料全部凝固之后，在B₁、B₂和B₃材料中至少有一种材料受到压应力或预压应力或残留预压应力的作用。

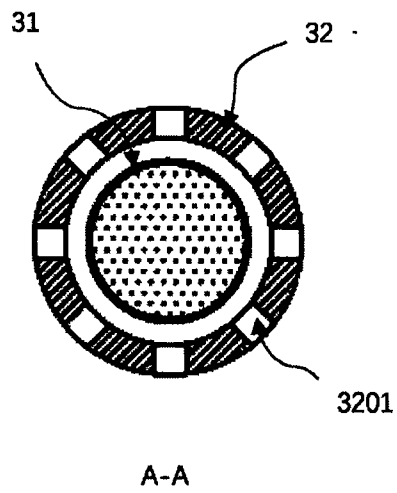


图 1

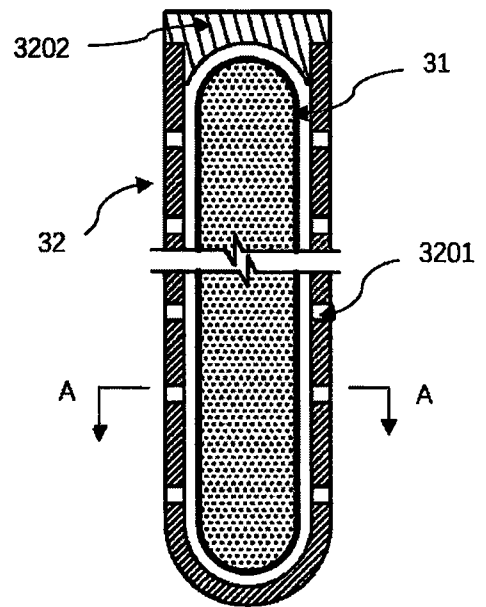


图 2

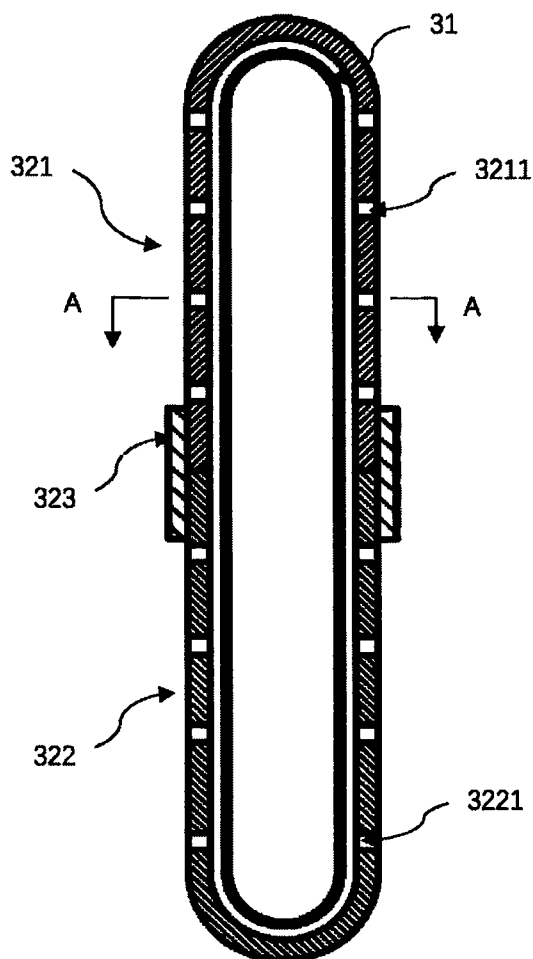


图 3

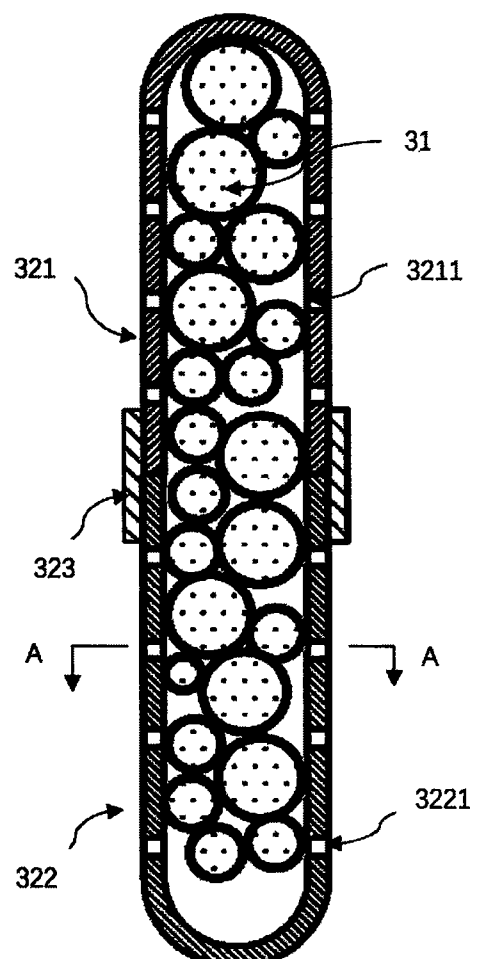


图 4



图 5

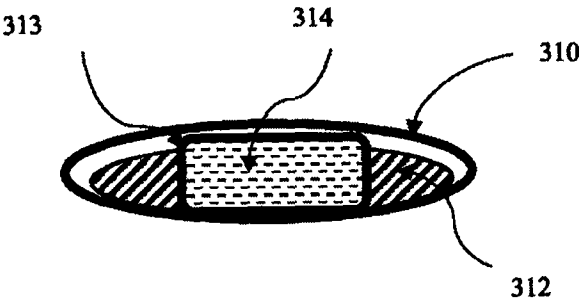


图 6

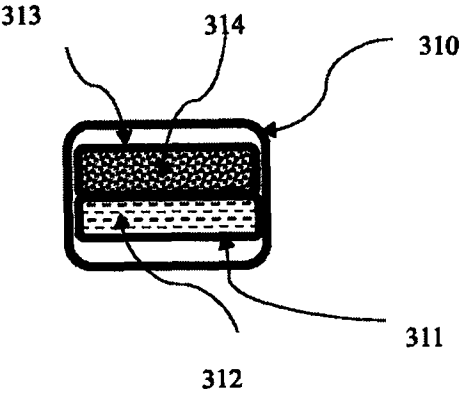


图 7

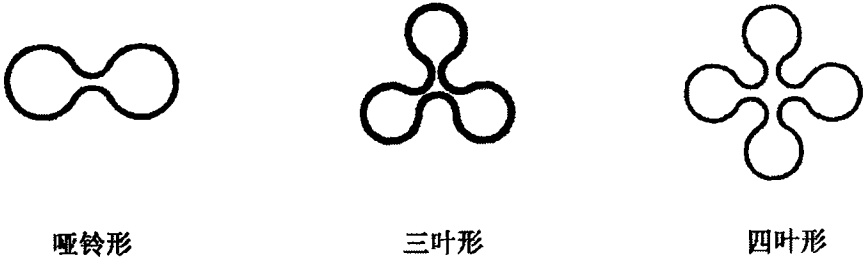


图 8

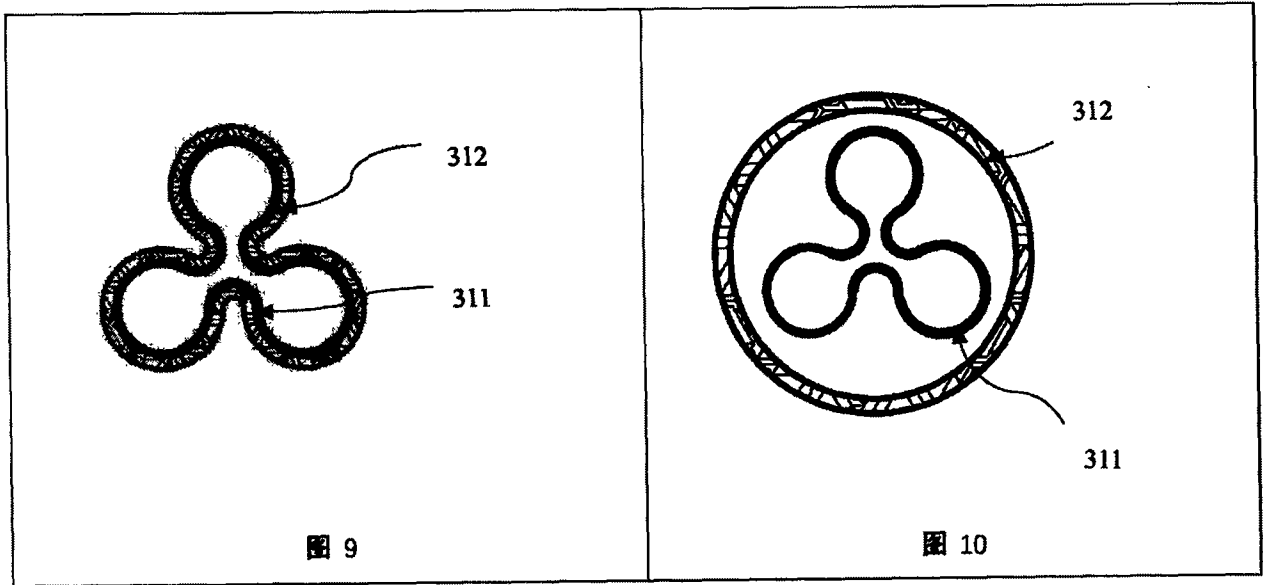


图 9

图 10

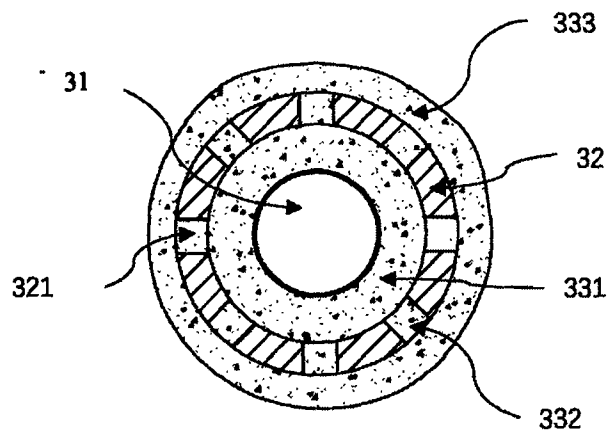


图 11

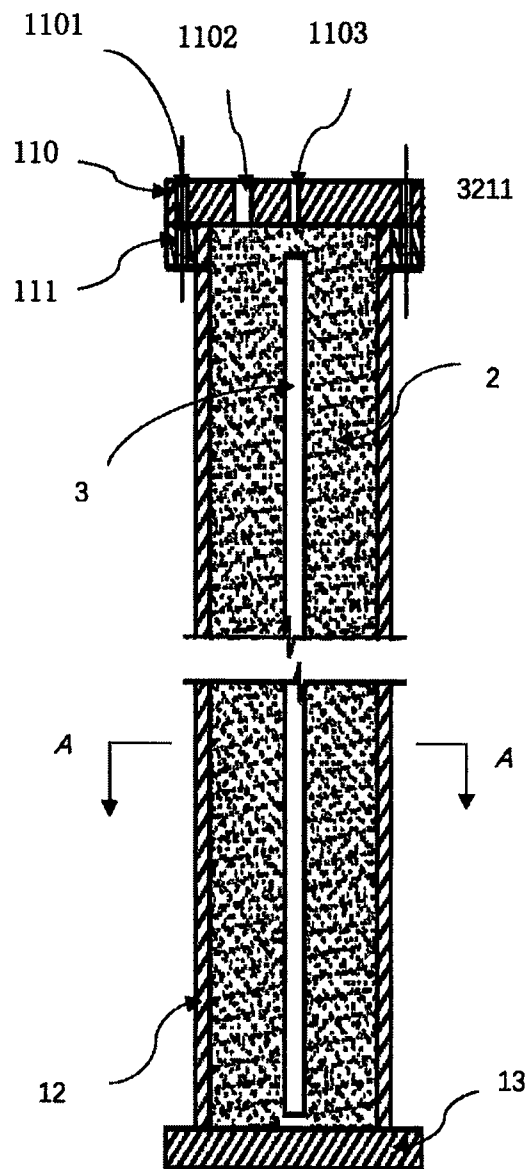


图 12

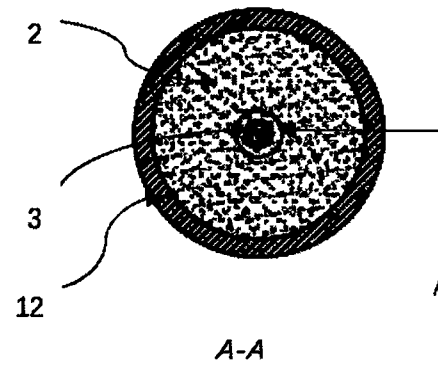
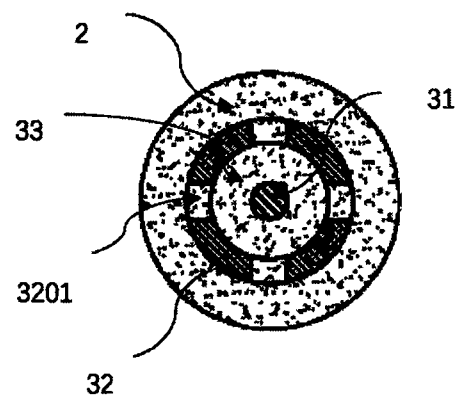


图 13



/ 局部放大图

图 14

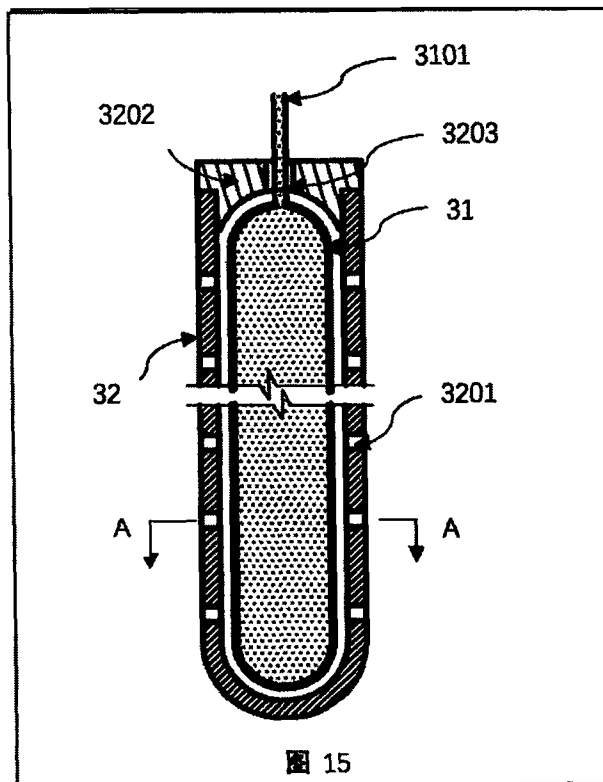


图 15

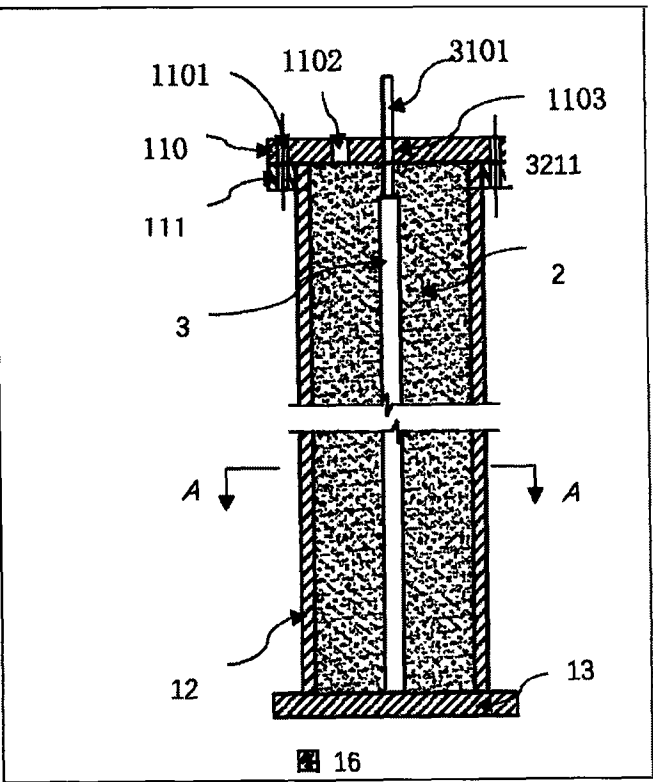


图 16

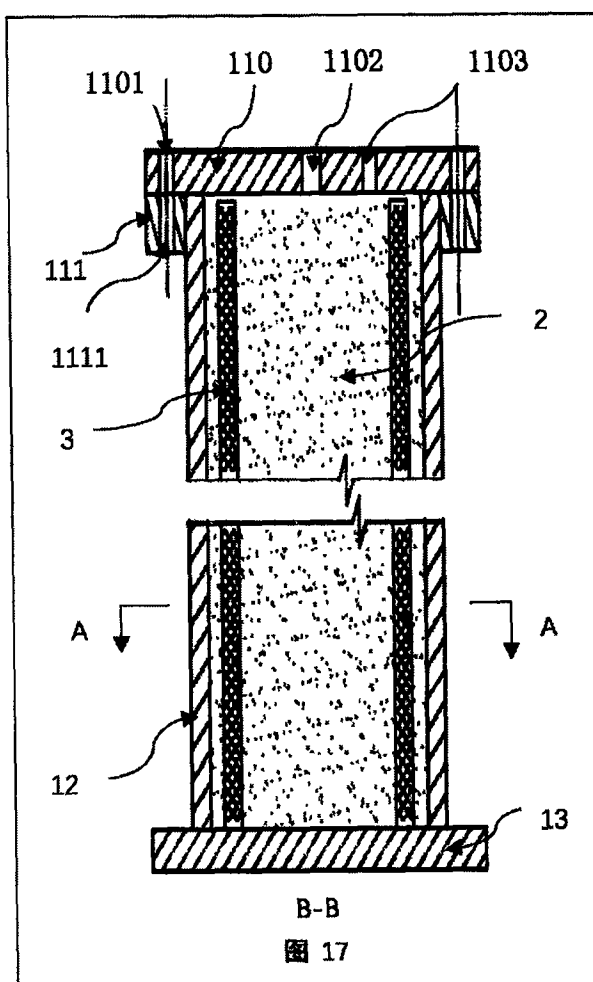


图 17

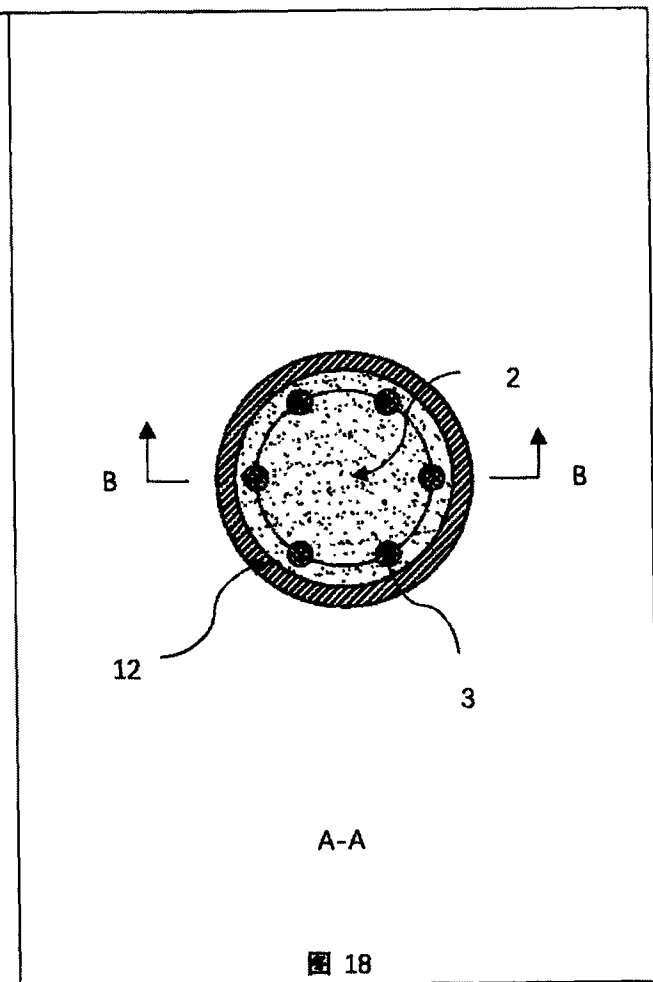


图 18

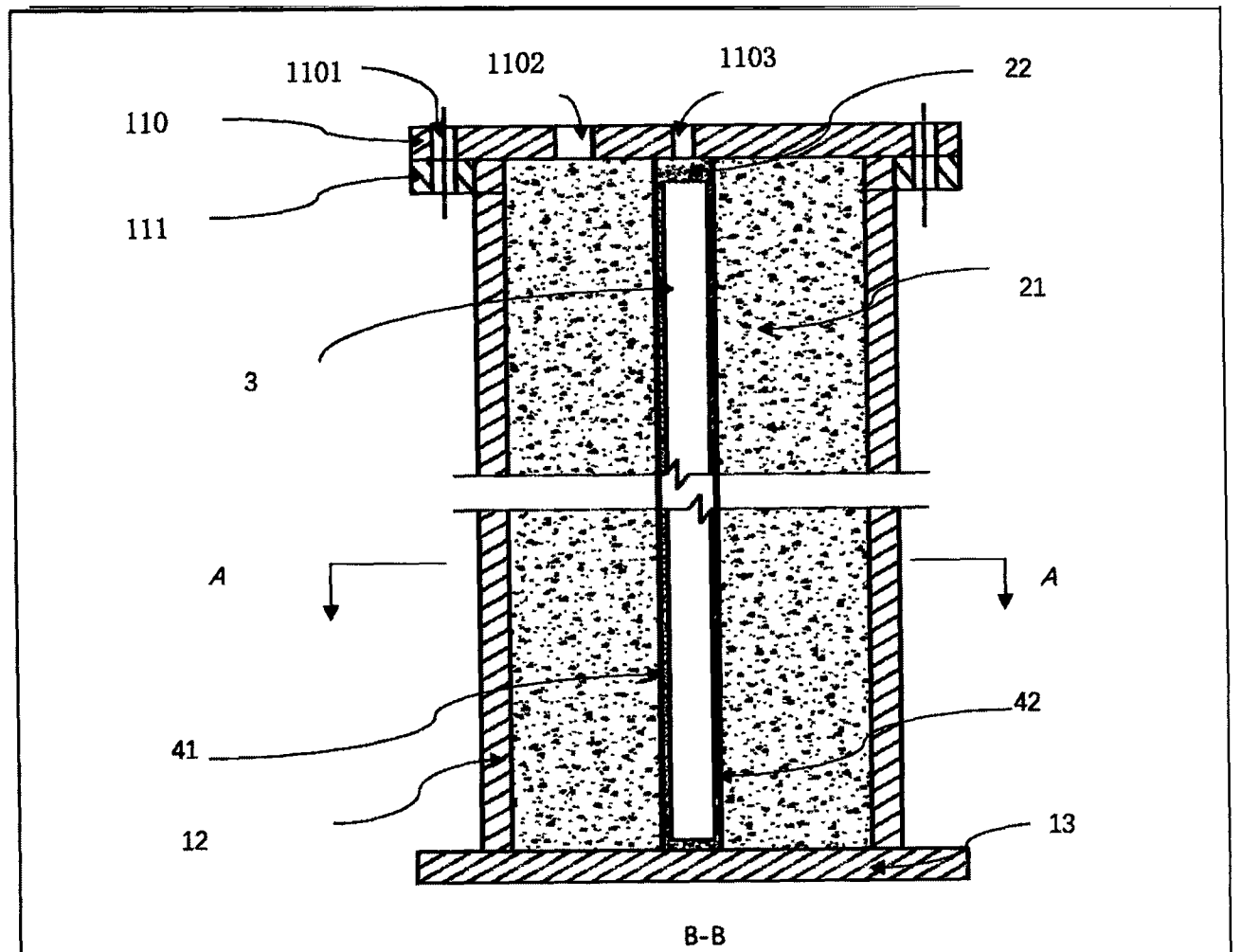


图 19

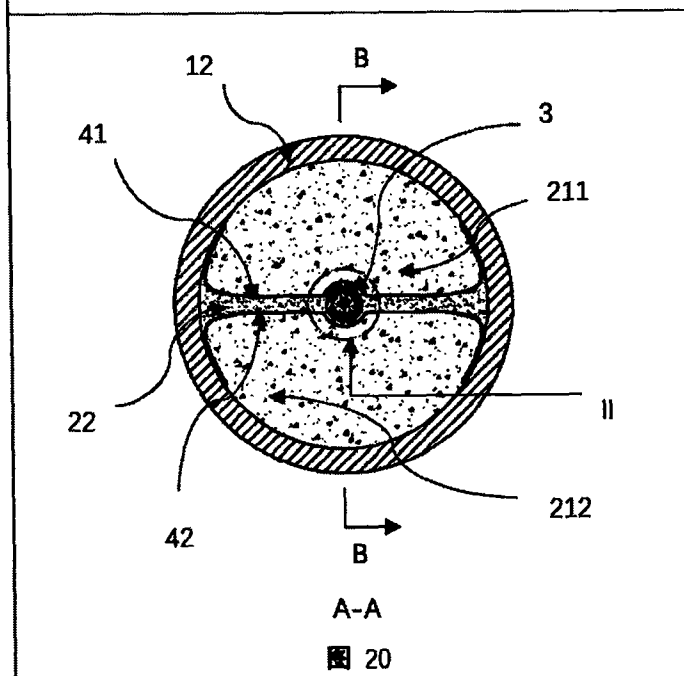


图 20

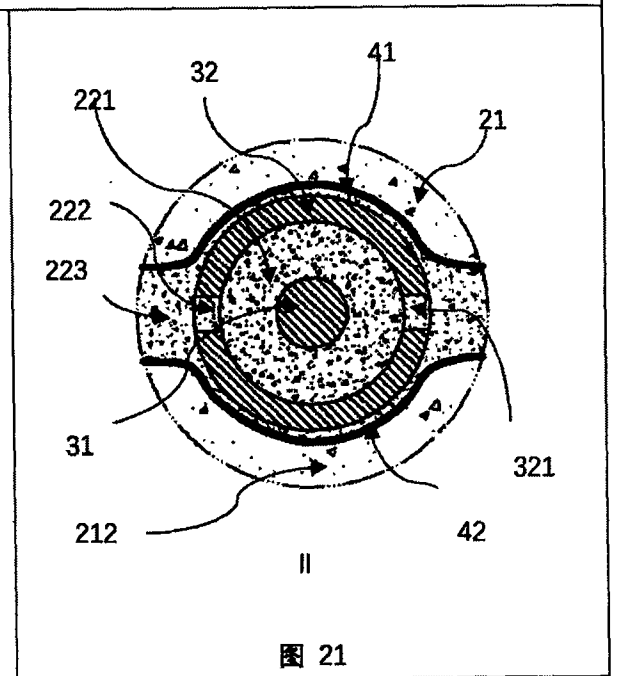


图 21

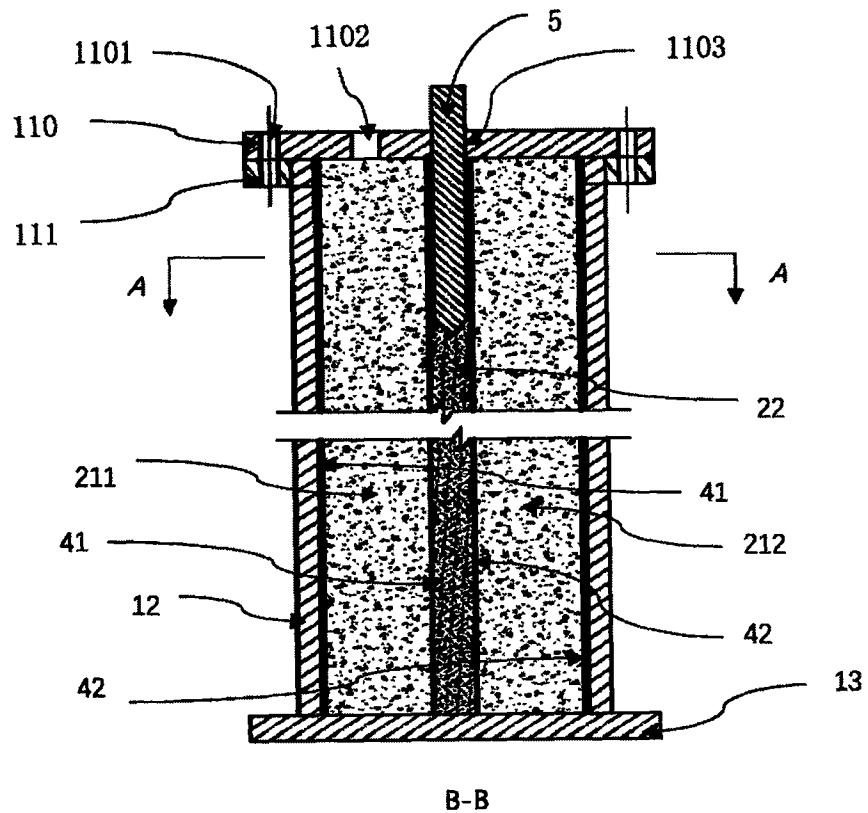


图 22

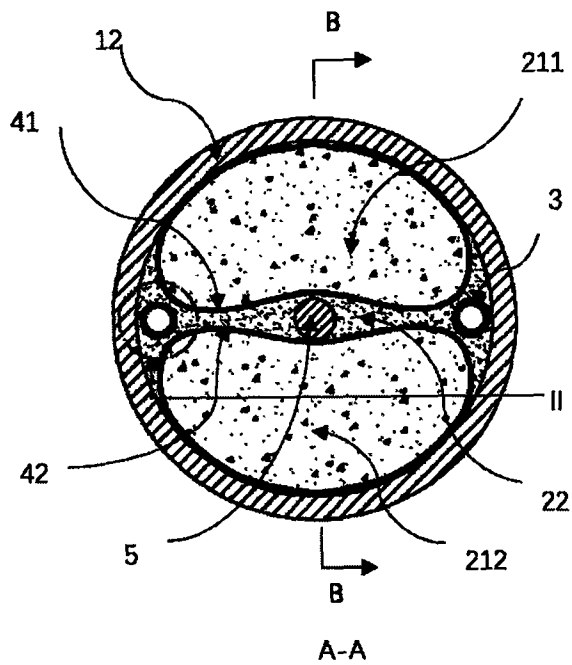
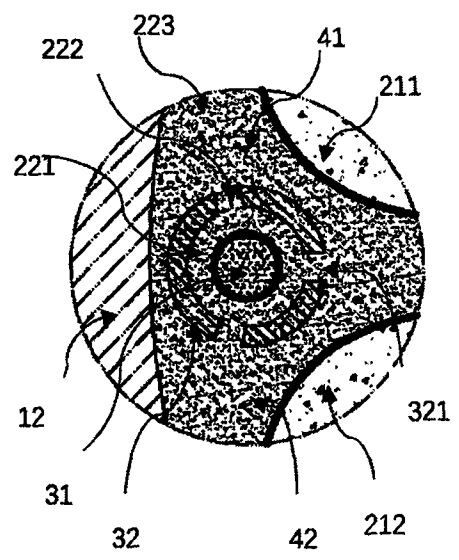
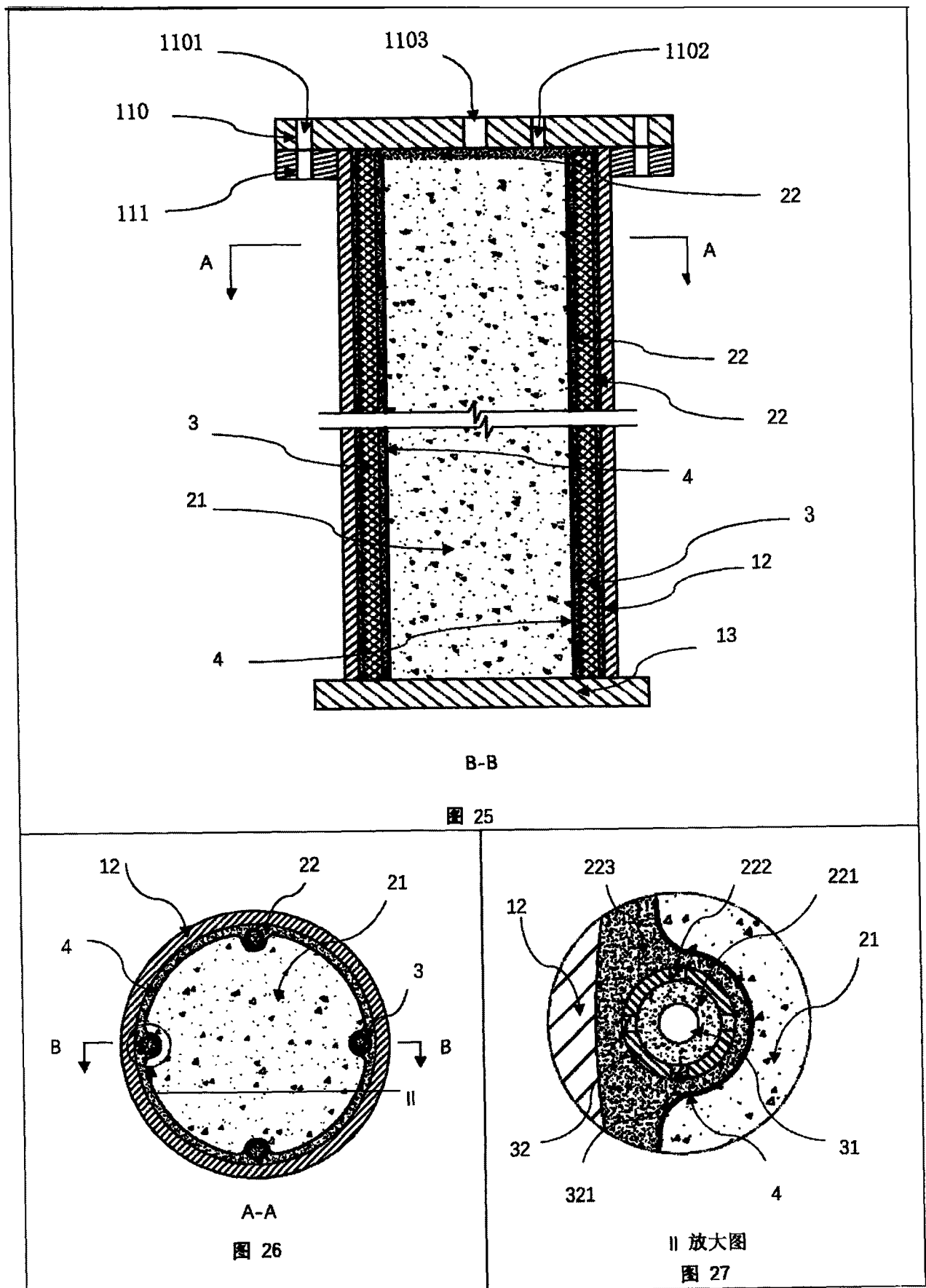
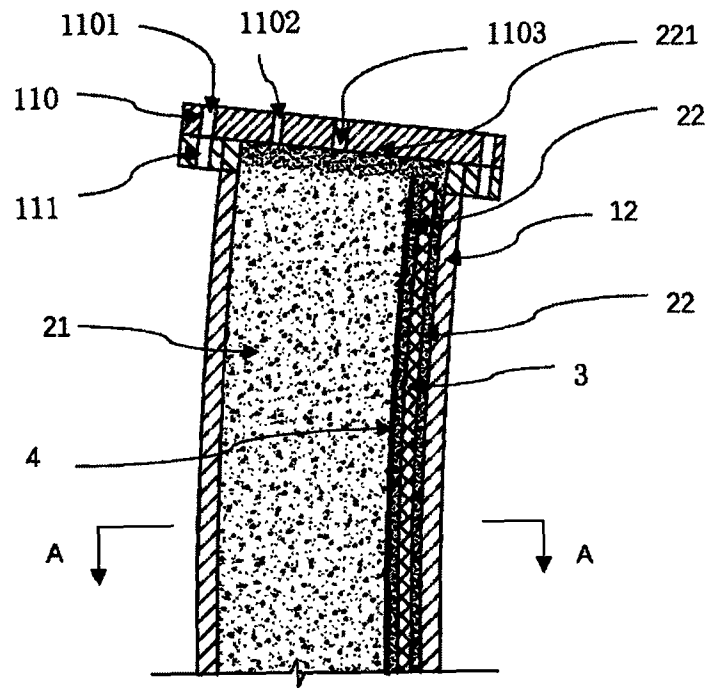


图 23



II 放大图
图 24





B-B

图 28

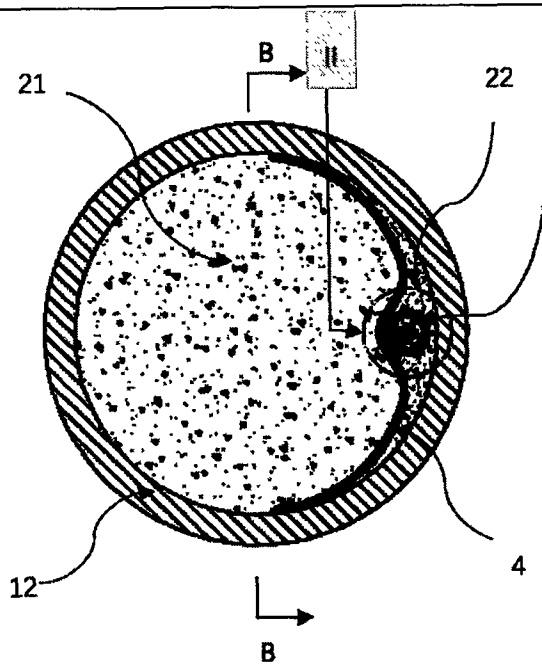
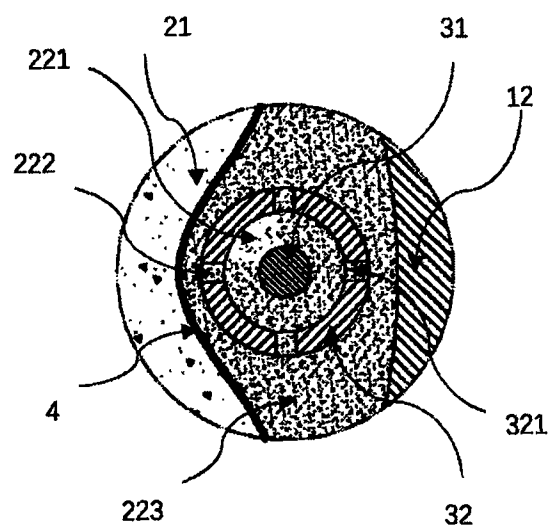
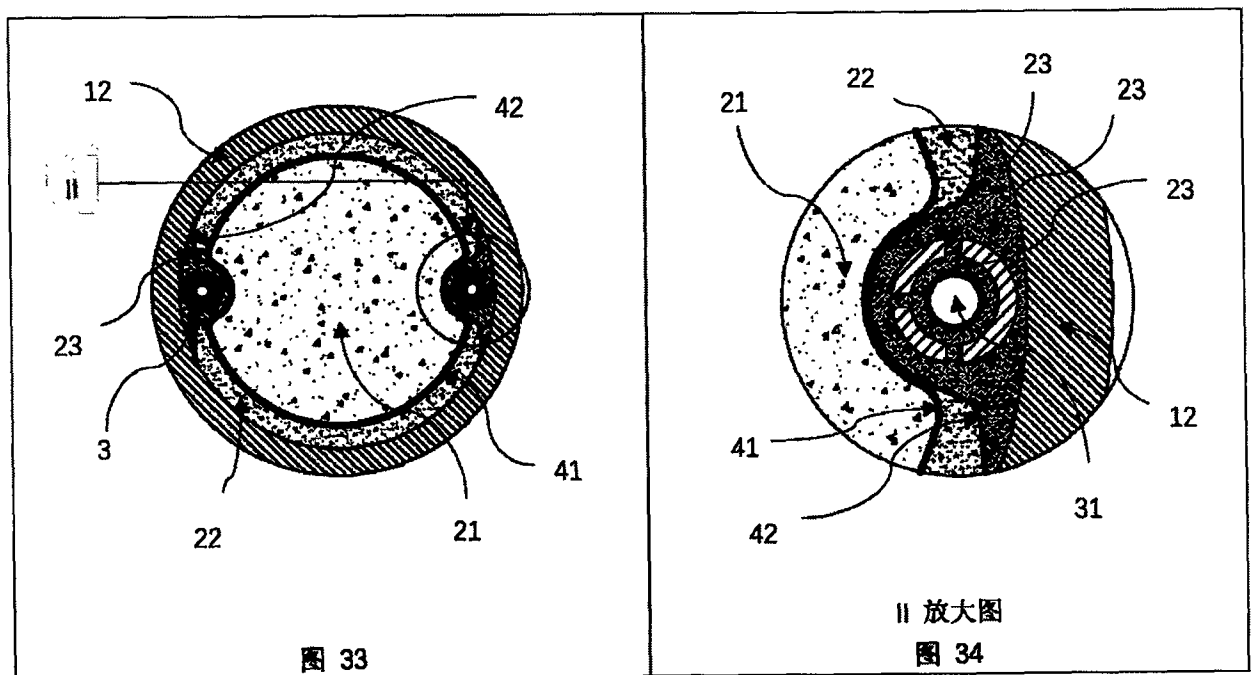
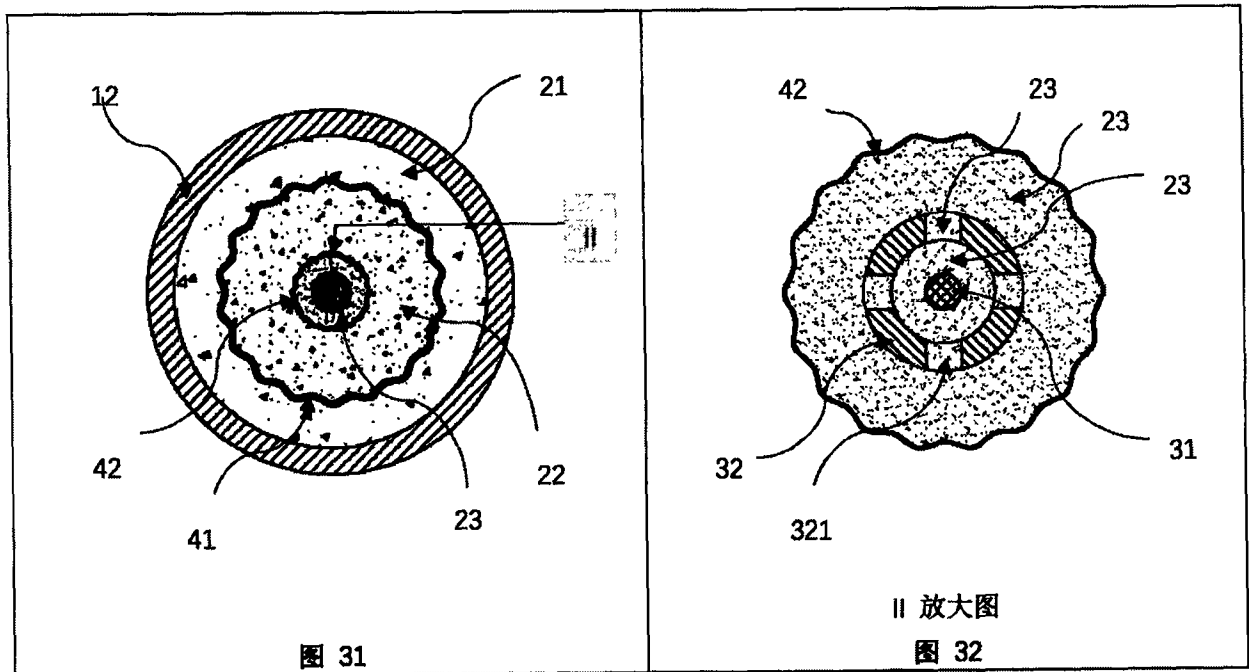


图 29



II 放大图

图 30



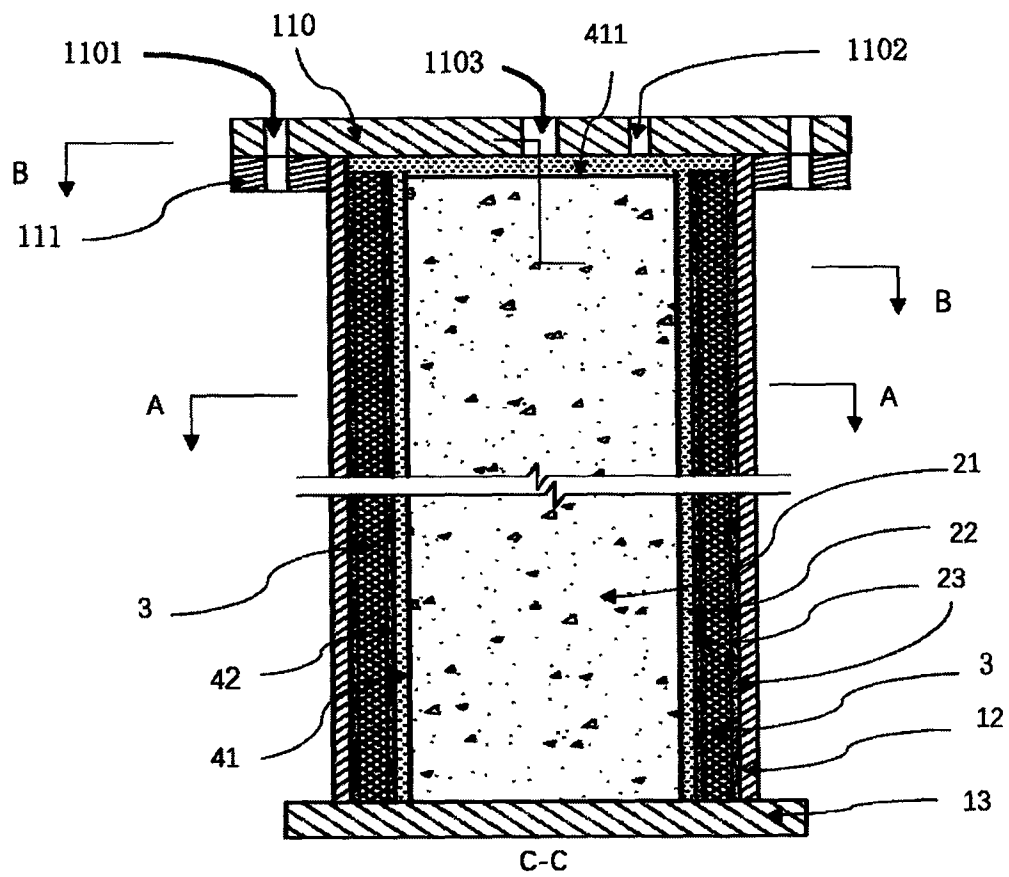
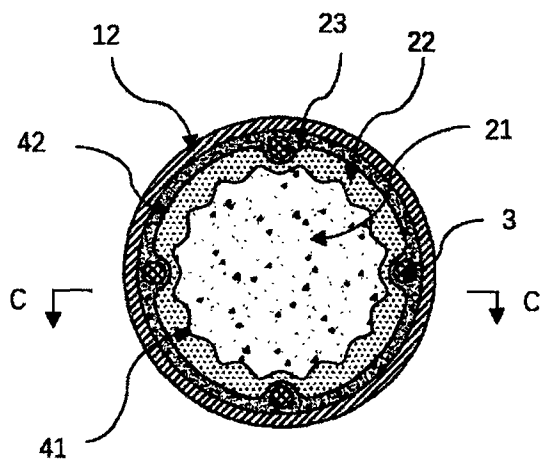
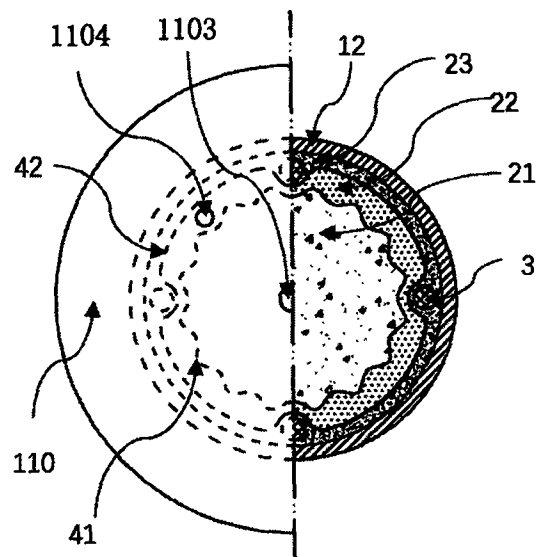


图 35



A-A

图 36



B-B

图 37

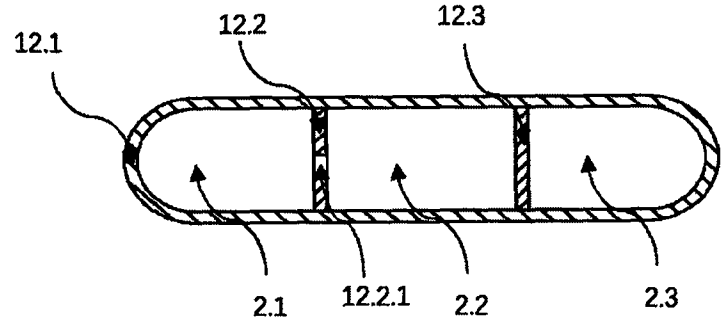


图 38

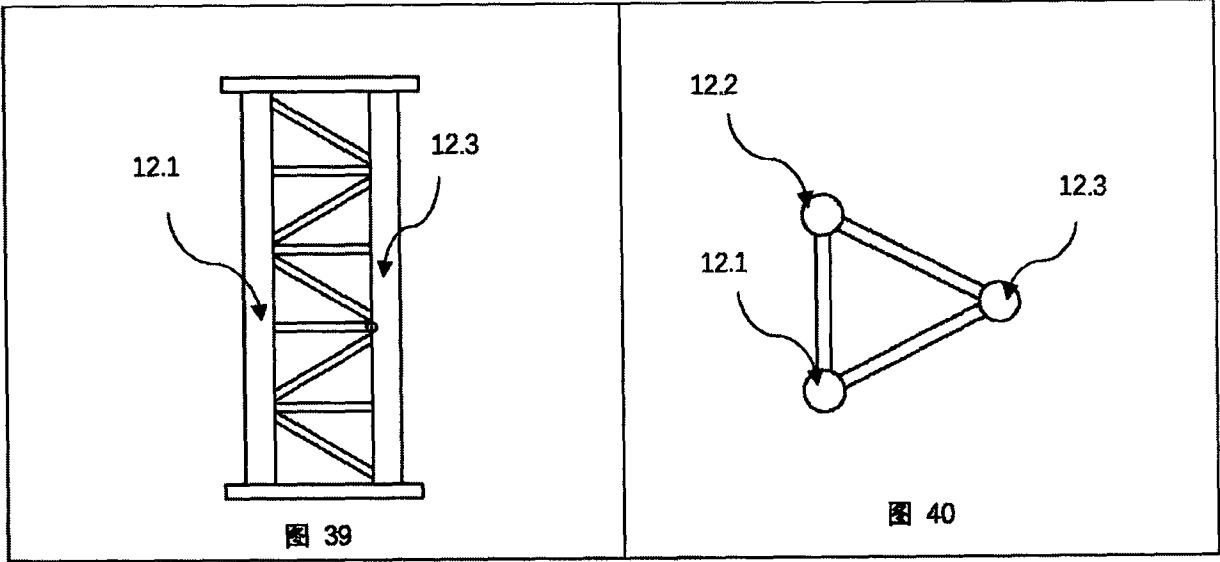


图 39

图 40

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/000116

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

E04C 3/34(2006.01)i; E04C 5/06(2006.01)i; E04C 3/36(2006.01)i; B28B 11/24(2006.01)i; E04B 1/30(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

E04C;B28B;E04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNTXT; WPABS; CJFD; DWPI; ENTXTC; CNKI: 王哲, 北京交通大学, 孔, 液囊, 体积, 补偿, 通道, 壳, 气囊, 水泥, 混凝土, 收缩, concrete, aperture?, hole?, sac, airbag?, passage+, beton, open+, cement, contract+, shrinkag+, gasbag

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 110306726 A (WANG ZHE) 08 October 2019 (2019-10-08) claims 1-43, and description, embodiments 5 and 8, and figures 13-15 and 21-22	1-10, 12-35
X	CN 112573940 A (WANG ZHE) 30 March 2021 (2021-03-30) claims 1-44, and description, embodiments 1 and 5, and figures 5-6 and 13-14	1-10, 12-35
PX	CN 113638545 A (WANG ZHE) 12 November 2021 (2021-11-12) claims 1-25, and embodiment 3, and figures 12-13	1-10, 12-35
A	GB 932628 A (MARLEY CONCRETE LTD.) 31 July 1963 (1963-07-31) entire document	1-36
A	CN 110578384 A (WANG ZHE) 17 December 2019 (2019-12-17) entire document	1-36
A	CN 106978805 A (YANG XUEXIANG) 25 July 2017 (2017-07-25) entire document	1-36
A	CN 106906953 A (SHANDONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 30 June 2017 (2017-06-30) entire document	1-36



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

05 November 2022

Date of mailing of the international search report

17 November 2022

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088, China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2022/000116

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	110306726	A	08 October 2019	WO	2019184958	A1	03 October 2019
				CN	110306726	B	18 March 2022
CN	112573940	A	30 March 2021	None			
CN	113638545	A	12 November 2021	None			
GB	932628	A	31 July 1963	DE	1916260	U	20 May 1965
CN	110578384	A	17 December 2019	None			
CN	106978805	A	25 July 2017	None			
CN	106906953	A	30 June 2017	CN	106906953	B	02 April 2019

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/000116

A. 主题的分类

E04C 3/34(2006.01)i; E04C 5/06(2006.01)i; E04C 3/36(2006.01)i; B28B 11/24(2006.01)i; E04B 1/30(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

E04C;B28B;E04B

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称,和使用的检索词(如使用))

CNTXT;WPABS;CJFD;DWPI;ENTXTC;CNKI:王哲, 北京交通大学, 孔, 液囊, 体积, 补偿, 通道, 壳, 气囊, 水泥, 混凝土, 收缩, concrete, aperture?, hole?, sac, airbag?, passage+, beton, open+, cement, contract+, shrinkage+, gasbag

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
X	CN 110306726 A (王哲) 2019年10月8日 (2019 - 10 - 08) 权利要求1-43、说明书实施例5和8、附图13-15, 21-22	1-10, 12-35
X	CN 112573940 A (王哲) 2021年3月30日 (2021 - 03 - 30) 权利要求1-44, 说明书实施例1、实施例5、附图5-6, 13-14	1-10, 12-35
PX	CN 113638545 A (王哲) 2021年11月12日 (2021 - 11 - 12) 权利要求1-25、实施例3、附图12-13	1-10, 12-35
A	GB 932628 A (MARLEY CONCRETE LTD.) 1963年7月31日 (1963 - 07 - 31) 全文	1-36
A	CN 110578384 A (王哲) 2019年12月17日 (2019 - 12 - 17) 全文	1-36
A	CN 106978805 A (杨学祥) 2017年7月25日 (2017 - 07 - 25) 全文	1-36
A	CN 106906953 A (山东科技大学) 2017年6月30日 (2017 - 06 - 30) 全文	1-36

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2022年11月5日

国际检索报告邮寄日期

2022年11月17日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局(ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

授权官员

吴群

电话号码 86-(10)-53962833

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/000116

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	110306726	A	2019年10月8日	WO	2019184958	A1	2019年10月3日
				CN	110306726	B	2022年3月18日
CN	112573940	A	2021年3月30日	无			
CN	113638545	A	2021年11月12日	无			
GB	932628	A	1963年7月31日	DE	1916260	U	1965年5月20日
CN	110578384	A	2019年12月17日	无			
CN	106978805	A	2017年7月25日	无			
CN	106906953	A	2017年6月30日	CN	106906953	B	2019年4月2日