

(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
2024年9月12日 (12.09.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/183392 A1

- (51) 国际专利分类号:
F16L 9/147 (2006.01) *B32B 1/08* (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2023/139013
- (22) 国际申请日: 2023年12月15日 (15.12.2023)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202310993896.7 2023年8月9日 (09.08.2023) CN
- (71) 申请人: 浙江大学 (ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。
- (72) 发明人: 施建峰 (SHI, Jianfeng); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。
王中震 (WANG, Zhongzhen); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。
亚辛索海尔 (YASIN, Sohail); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。
姚日雾 (YAO, Riwu); 中国浙江省杭州市西湖

区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。葛周天 (GE, Zhoutian); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。郑津洋 (ZHENG, Jinyang); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。

(74) 代理人: 北京博思佳知识产权代理有限公司 (BEIJING BESTIPR INTELLECTUAL PROPERTY LAW CORPORATION); 中国北京市海淀区上地三街9号嘉华大厦B座409, Beijing 100085 (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, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD,

(54) Title: COMPOSITE PIPE PREVENTING BULGING CAUSED BY HYDROGEN PERMEATION, AND DESIGN METHOD THEREFOR, AND HYDROGEN TRANSMISSION PIPE NETWORK

(54) 发明名称: 防止氢渗透鼓包的复合管及其设计方法、输氢管网

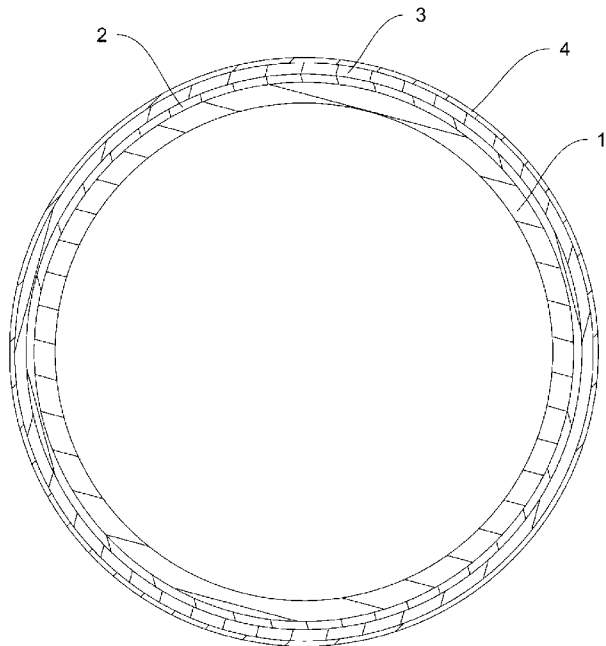


图1

(57) Abstract: A composite pipe preventing bulging caused by hydrogen permeation, the composite pipe comprising a pipe body, wherein the pipe body comprises at least two double-layer structures sequentially arranged from inside to outside; each double-layer structure comprises a barrier layer (1, 3) and a reinforcing layer (2, 4); and the reinforcing layer in each double-layer structure is arranged outside the barrier layer. Further disclosed are a design method for a composite pipe, and a hydrogen transmission pipe network comprising the composite pipe. The reinforcing layers are used for protection and for bearing pressure together with the outside barrier layers, so as to prevent bulging from occurring on the outside barrier layers due to the pressure action of permeating hydrogen.

(57) 摘要: 一种防止氢渗透鼓包的复合管, 包括管体, 管体包括由内向外依次布置的至少两组双层结构, 双层结构包括阻隔层(1, 3)和增强层(2, 4), 每组双层结构中的增强层均设置于阻隔层的外部。还公开了复合管的设计方法以及包括复合管的输氢管网。利用增强层的保护, 与外层的阻隔层共同承压, 来防止位于外层的阻隔层因渗透氢气的压力作用而出现鼓包的现象。

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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SC, 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, ME, MK, MT, NL, NO,
PL, PT, 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))。
- 在修改权利要求的期限届满之前进行, 在收到该
修改后将重新公布(细则48.2(h))。
- 根据申请人的请求, 在条约第21条(2)(a)所规定的
期限届满之前进行。

防止氢渗透鼓包的复合管及其设计方法、输氢管网

相关申请的交叉引用

本公开要求于 2023 年 08 月 09 日提交的、申请号为 202310993896.7 的中国专利申请的优先权，该申请以引用的方式并入本文中。

技术领域

[01] 本公开涉及输氢管道技术领域，具体涉及一种防止氢渗透鼓包的复合管及其设计方法、输氢管网。

背景技术

[02] 管道运输作为一种重要的运输方式，凭借其低成本、高效率、长距离输送等优势被广泛应用于能源输送、化工原料输送、供水输送等领域。根据材料不同，管道运输的管道一般可分为金属管、非金属管以及复合管。金属管道由金属构成，例如钢管与不锈钢管。金属管道凭借其高强度特性能在高压环境服役，但易受到周围环境的腐蚀与破坏。非金属管道一般有塑料管、玻璃钢管等，具有低成本、耐腐蚀等优点，但非金属管道由于材料本身结构与性能的特点，存在着易软化、易变形、线膨胀系数大和易蠕变的问题。现如今管道服役环境更加恶劣，对管道性能要求更高，单一材料的管材自身的性能难以解决各类实际问题，通过复合材料技术，结合金属管道的高强度与非金属管道的耐腐蚀性制造有复合管道。复合管能够综合多种材料的优良性能，通过材料的性能互补得到性能优良的管道。复合管综合金属管与非金属管的优良性能，能更好地进行流体输送，且维护成本更低。因此复合管被广泛的应用，为应对不同的需求与服役环境，开发有多种材料不同、性能各异的复合管，如碳纤维复合管、玻璃纤维复合管以及钢丝缠绕增强复合管等。其中钢丝缠绕聚乙烯增强管道将聚乙烯管道的耐腐蚀、耐磨性能与钢丝的高强度特性结合在一起，其强度远超纯聚乙烯管道，同时与同直径同压力等级的钢管相比，重量也只有钢管的八分之一，大大降低了管道的运输成本和安装难度。

发明内容

[03] 根据本公开的第一方面，提供一种防止氢渗透鼓包的复合管，包括管体，所述管体包括在所述管体的径向上由内向外依次布置的至少两组双层结构，所述至少两组双层结构的每组包括阻隔层和增强层，每组所述双层结构中的所述增强层均设置于所述阻隔层的外部。

[04] 应用本公开具有以下有益效果：发明人经过研究发现，由于氢分子小易渗透的特性，相关技术中的复合管在长期输送氢气过程中，氢气会渗透进入复合管内部。以相关技术中的复合管（具有内外两层聚乙烯塑料层以及在两层聚乙烯塑料层之间设置钢丝缠绕层）为例，使用较长时间后，氢气会渗透进入到两层聚乙烯塑料层之间，因此氢气会在外层的聚乙烯塑料层与钢丝缠绕层之间聚集，外层的聚乙烯塑料层直接承受了压力，由此，会在外层的聚乙烯塑料层表面形成鼓包现象。发明人在发现该原因后，提出本公开的方案，在外层的阻隔层之外继续设置一层增强层，通过增强层的保护（与外层的阻隔层共同承压）来防止位于外层的阻隔层因渗透氢气的压力作用而出现鼓包的现象。

[05] 可选的，所述管体包括两组所述双层结构， P_1 和 P_2 分别表示所述两组双层结构中的阻隔层， H_1 和 H_2 分别表示所述两组双层结构中的增强层，则：

$$\frac{\delta_{P_1} \sigma_{P_1}}{\delta_{H_1} \sigma_{H_1}} = \frac{\delta_{P_2} \sigma_{P_2}}{\delta_{H_2} \sigma_{H_2}};$$

或，所述管体包括至少三组所述双层结构， P_1 、 P_2 …… P_n 分别表示所述至少三组双层结构中的阻隔层， H_1 、 H_2 …… H_n 分别表示所述至少三组双层结构中的增强层，则：

$$\frac{\delta_{P_1} \sigma_{P_1}}{\delta_{H_1} \sigma_{H_1}} = \frac{\delta_{P_2} \sigma_{P_2}}{\delta_{H_2} \sigma_{H_2}} = \dots = \frac{\delta_{P_n} \sigma_{P_n}}{\delta_{H_n} \sigma_{H_n}};$$

其中， δ 为所述阻隔层或所述增强层的壁厚， σ 为所述阻隔层或所述增强层的计算强度。

[06] 复合管内部积聚的氢气引起的氢分压会从内向外逐渐降低，对复合管的各组双层结构中的阻隔层及增强层的厚度进行设计，增强层厚度与阻隔层厚度有一定比例关系，通过上述厚度的设计，可使得每层阻隔层承受的氢分压与厚度成正比（较厚的阻隔层承受更多的氢分压、较薄的阻隔层承受较少的氢分压），也即其壁厚被设计的与氢分压由内向外逐渐降低的实际特性相适配。

[07] 可选的，两组所述双层结构中的阻隔层的材料相同，并且两组所述双层结构中的增强层的材料相同，两组所述双层结构中的每组所述双层结构中的阻隔层和增强层的

壁厚满足如下公式： $1 < \frac{\delta_{P_1}}{\delta_{P_2}} = \frac{\delta_{H_1}}{\delta_{H_2}} < 9$ 。

[08] 当双层结构设置有两组时，各组双层结构中的阻隔层和增强层的壁厚之间的比例关系是依据经验设计得到的。需要内侧的阻隔层比外侧的阻隔层厚，因此两者之间的厚度比值需要大于1；同时，当外侧的阻隔层过薄时将失去对于氢气的阻隔作用，因此

两者的厚度比值需要小于 9 以避免出现外侧的阻隔层太薄的情况。

[09] 可选的，所述阻隔层采用热塑性塑料材质。

[10] 可选的，所述增强层采用钢丝且呈网格状，并且所述钢丝外具有包覆层，所述包覆层采用热塑性塑料材质。

[11] 根据本公开的第二方面，提供一种输氢管网，该输氢管网包括多根密封连通的如上述技术方案中任一项所述的防止氢渗透鼓包的复合管。本公开所提供的输氢管网与前述复合管的有益效果推理过程相似，在此不再赘述。

[12] 根据本公开的第三方面，提供一种防止氢渗透鼓包的复合管的设计方法，所述复合管包括在所述管体的径向上由内向外依次布置的管体，所述管体包括至少两组双层结构，至少两组所述双层结构中的每组包括阻隔层和增强层，每组所述双层结构中的增强层均设置于阻隔层的外部；

该制造方法包括：

根据该复合管的设计目标确定其在使用时的氢气压力值以及复合管的公称直径；

根据所述氢气压力值和所述公称直径确定复合管中双层结构的组数以及双层结构的各层的材料；

根据所述氢气压力值及所述双层结构的组数以及双层结构的各层的材料，初步确定每组双层结构中阻隔层和增强层的壁厚；

对复合管的强度进行校核，根据校核结果确定复合管是否合格，若合格则完成设计；

若不合格，根据校核结果及所确定的每组双层结构中阻隔层和增强层的壁厚，增加每组双层结构中阻隔层和增强层的壁厚，并再次对复合管的强度进行校核。

[13] 本公开所提供的设计方法与前述复合管的有益效果推理过程相似，在此不再赘述。

[14] 可选的，若所述管体包括两组所述双层结构，根据下述公式确定每组双层结构中阻隔层和增强层的壁厚：

$$\frac{\delta_{P_1} \sigma_{P_1}}{\delta_{H_1} \sigma_{H_1}} = \frac{\delta_{P_2} \sigma_{P_2}}{\delta_{H_2} \sigma_{H_2}}$$

其中， P_1 和 P_2 分别表示所述两组双层结构中的阻隔层， H_1 和 H_2 分别表示所述两组双层结构中的增强层；

若所述管体包括至少三组所述双层结构，根据下述公式确定每组双层结构中阻隔层和增强层的壁厚：

$$\frac{\delta_{P_1} \sigma_{P_1}}{\delta_{H_1} \sigma_{H_1}} = \frac{\delta_{P_2} \sigma_{P_2}}{\delta_{H_2} \sigma_{H_2}} = \dots = \frac{\delta_{P_n} \sigma_{P_n}}{\delta_{H_n} \sigma_{H_n}}$$

其中， P_1 、 P_2 …… P_n 分别表示所述至少三组双层结构中的阻隔层， H_1 、 H_2 …… H_n 分别表示所述至少三组双层结构中的增强层；

其中， δ 为所述阻隔层或增强层的壁厚， σ 为所述阻隔层或增强层的计算强度。

[15] 可选的，所述阻隔层和增强层的壁厚满足如下公式： $1 < \frac{\delta_{P_1}}{\delta_{P_2}} = \frac{\delta_{H_1}}{\delta_{H_2}} < 9$ 。

[16] 可选的，所述对复合管的强度进行校核包括：对复合管的总强度以及每组双层结构的强度进行校核，复合管的爆破压力大于所述氢气压力值的三倍并且每组双层结构的爆破压力大于对应的双层结构所承受的氢分压的三倍则判定该复合管合格。

[17] 本公开的这些特点和优点将会在下方的具体实施方式以及附图中进行详细的揭露。本公开最佳的实施方式或手段将结合附图来详尽表现，但并非是对本公开技术方案的限制。另外，在每个下文和附图中出现的这些特征、要素和组件是具有多个，并且为了表示方便而标记了不同的符号或数字，但均表示相同或相似构造或功能的部件。

附图说明

[18] 下面结合附图对本公开作进一步说明：

[19] 图 1 为本公开实施例提供的一种防止氢渗透鼓包的复合管的截面剖视图。

[20] 其中，1.内阻隔层，2.内增强层，3.外阻隔层，4.外增强层。

具体实施方式

[21] 下面详细描述本公开的实施例，所述实施例的示例在附图中示出，其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。基于实施方式中的实施例，旨在用于解释本公开，而不能理解为对本公开的限制。

[22] 在本说明书中引用的“一个实施例”或“实例”或“例子”意指结合实施例本身描述的特征、结构或特性可被包括在本公开的至少一个实施例中。短语“在一个实施例中”在说明书中的各位置的出现不必都是指同一个实施例。

[23] 近年来随着氢能的开发利用，管道输送作为实现氢气长距离、大规模输送最经济、最节能的方式也被应用于氢气的输送。目前管道输氢的主流研究方向有两种，一种是利用现有天然气管网掺氢输送，一种是铺设纯氢管道。长距离纯氢输送管道目前主要采用钢管，而研究表明在高压气态氢输送过程中，氢会逐步侵入并渗透钢材，并由氢渗透进

入钢材引起氢脆，导致钢材力学性能下降、氢致裂纹等现象。除了会发生氢脆外，钢管本身也会受到外部环境的腐蚀，并且钢管柔性较差，不但在生产、运输、施工过程中较为不便，而且难以有效抵抗由地震、泥石流等自然灾害引起的过度变形导致的破坏。而纯聚乙烯管道虽然能够防止氢对管道材料的腐蚀和渗透，但其强度较低，无法满足高压氢气输送的要求。

[24]为解决上述问题，相关技术中提出采用复合管来长距离输送高压气态氢，例如中国公开专利 CN114396512A 公开了一种抗氢脆金属丝增强复合管用于长距离输送高压氢气的方法，其重点在于对复合管的增强层进行设计使其能够抵抗氢渗透腐蚀。但在实际应用时发现上述方案会在管体局部出现鼓包现象，进而使得管体存在较大的泄露风险，这成为了目前复合管亟待解决的问题。

[25] 本公开旨在一定程度上解决相关技术中的技术问题之一。为此，本公开提供了一种防止氢渗透鼓包的复合管及其制造方法、输氢管网。

[26]实施例：本实施例提供了一种防止氢渗透鼓包的复合管，该复合管包括管体，该管体包括在管体的径向上由内向外依次布置的两组双层结构，所述的双层结构包括阻隔层和增强层，每组双层结构中的增强层均设置于阻隔层的外部。如图1中所示，为便于描述，本实施例中两组双层结构中靠近管体内部的双层结构的阻隔层和增强层分别称之为内阻隔层1和内增强层2；两组双层结构中靠近管体外部的双层结构的阻隔层和增强层分别称之为外阻隔层3和外增强层4。本实施例中的阻隔层采用聚乙烯材质，增强层采用网格状的钢丝，并且在钢丝外部包覆有PVC材质的包覆层。可以理解的是，在其它的实施方式中，阻隔层还可以采用尼龙材质或其他热塑性塑料材质，包覆层也可以采用PE材质或其他热塑性塑料材质。另外，在制造该复合管时，增强层外包覆有包覆层，包覆层再通过热熔胶粘接剂与阻隔层的外表面粘接固定。

[27]发明人对现有的复合管进行研究发现，由于氢分子小易渗透的特性，相关技术中的复合管在长期输送氢气过程中，氢气会渗透进入复合管内部。以相关技术中的复合管（具有内外两层聚乙烯塑料层以及在两层聚乙烯塑料层之间设置钢丝缠绕层）为例，使用较长时间后，氢气会渗透进入到两层聚乙烯塑料层之间，因此氢气会在外层的聚乙烯塑料层与钢丝缠绕层之间聚集，外层的聚乙烯塑料层直接承受了压力，由此，会在外层的聚乙烯塑料层表面形成鼓包现象。发明人在发现该原因后，提出本实施例所提供的复合管的方案：在外层的阻隔层之外继续设置一层增强层，通过增强层的保护（与外层的阻隔层共同承压）来防止位于外层的阻隔层因渗透氢气的压力作用而出现鼓包的现象。

[28]相关技术中对于复合管中位于内层的阻隔层和位于外层的阻隔层的厚度并无特意设

计，一般经验做法是位于内层的阻隔层的厚度大于或等于位于外层的阻隔层的厚度，并且出于抗压强度的考量，两者的厚度均会设计为大于 3mm。由于前述本公开申请人研究发现的原因，由于外层的阻隔层承受了渗透出的氢气的压力，相关技术中的这种复合管在长期使用后就会在外表面出现鼓包现象。本实施例提供的该复合管的进一步改进在于，通过分析渗透氢气压力的特点，相应的对内阻隔层 1、内增强层 2、外阻隔层 3 和外增强层 4 的厚度进行设计，以使得各层结构的厚度能够保证可承受对应的渗透氢气的压力且不必过厚（也即保证安全且可以控制成本）。具体的，设定内阻隔层 1 表示为 P_1 、外阻隔层 3 表示为 P_2 ，内增强层 2 表示为 H_1 、外增强层 4 表示为 H_2 ，则各层结构的厚度满足以下要求：

$$\frac{\delta_{P_1} \sigma_{P_1}}{\delta_{H_1} \sigma_{H_1}} = \frac{\delta_{P_2} \sigma_{P_2}}{\delta_{H_2} \sigma_{H_2}}$$

[29] 其中， δ 为阻隔层或增强层的壁厚， σ 为阻隔层或增强层的计算强度。

[30] 复合管内部积聚的氢气引起的氢分压会从内向外逐渐降低，对复合管的各组双层结构中的阻隔层及增强层的厚度进行设计，增强层厚度与阻隔层厚度有一定比例关系，通过上述厚度的设计，可使得每层阻隔层承受的氢分压与厚度成正比（较厚的阻隔层承受更多的氢分压、较薄的阻隔层承受较少的氢分压），也即其壁厚被设计的与氢分压由内向外逐渐降低的实际特性相适配。

[31] 更进一步的，管体包括两组双层结构，每组双层结构中的阻隔层和增强层的壁厚满足如下公式： $1 < \frac{\delta_{P_1}}{\delta_{P_2}} = \frac{\delta_{H_1}}{\delta_{H_2}} < 9$ 。

$$1 < \frac{\delta_{P_1}}{\delta_{P_2}} = \frac{\delta_{H_1}}{\delta_{H_2}} < 9$$

[32] 当管体包括两组双层结构时，各组双层结构中的阻隔层和增强层的壁厚之间的比例关系是依据经验设计得到的。需要位于内侧的双层结构的阻隔层（内阻隔层）比位于外侧的双层结构的阻隔层（外阻隔层）厚，因此两者之间的厚度比值需要大于 1；同时，当外阻隔层过薄时将失去对于氢气的阻隔作用，因此内阻隔层的厚度与外阻隔层的厚度的比值需要小于 9 以避免出现外阻隔层太薄的情况。

[33] 下面以为某城镇设计输氢管网为例对设计本实施例提供的该复合管的设计过程进行说明，一般在设计时会包括以下步骤 S1 至 S5。

[34] S1：根据该复合管的设计目标确定其在使用时的氢气压力值以及复合管的公称直径；也即根据项目要求的输送氢气的压力值来确定所述氢气压力值和公称直径。在本次设计中，氢气压力值为 2Mpa，相应的将复合管的公称压力 PN 设计为 2MPa、公称直径设计为 160mm。

[35]S2: 根据所述氢气压力值和所述公称直径确定复合管中双层结构的组数及材料; 本次设计中将双层结构的组数设计为两组, 也即该复合管包括内阻隔层 1、内增强层 2、外阻隔层 3 和外增强层 4。另外, 本次设计中内阻隔层 1 和外阻隔层 3 均采用 PE100 的高密度聚乙烯材质, 而内增强层 2 和外增强层 4 均为由高强度钢丝缠绕成型的网格状增强层, 并且在缠绕前钢丝外部还包覆有具有热熔粘接性能和阻水作用的聚乙烯材质的包覆层。

[36]S3: 根据氢气压力值及双层结构的组数以及双层结构的各层的材料, 初步确定每组双层结构中阻隔层和增强层的壁厚; 在本次设计中, 初步将内阻隔层 1 的壁厚设计为 15mm, 外阻隔层 3 的壁厚设计为 5mm, 内增强层 2 的壁厚设计为 3mm, 外增强层 4 的壁厚设计为 1mm。在初步设计时, 一方面从经验出发为复合管先确定一个总壁厚的大致范围, 再从中选择一个数值作为复合管的总壁厚, 再依据前述的公式:

$$\frac{\delta_{P_1} \sigma_{P_1}}{\delta_{H_1} \sigma_{H_1}} = \frac{\delta_{P_2} \sigma_{P_2}}{\delta_{H_2} \sigma_{H_2}}$$

$$1 < \frac{\delta_{P_1}}{\delta_{P_2}} = \frac{\delta_{H_1}}{\delta_{H_2}} < 9$$

来大致确定每层结构的尺寸 (后面可通过校核来确认该壁厚是否可以)。

[37]例如在本次设计中, 可以先假设复合管整体全部采用 PE100 的高密度聚乙烯材质, 那么在这种情况下, 根据公式:

$$t = \frac{pD}{2\sigma}$$

就可以计算出壁厚, 其中, t 是壁厚, p 是管道工作时的内压 (也即公称压力 PN), D 是管道内径 (此时可用公称直径代替), σ 是材料的计算强度。本实施例中计算得到假定全部采用聚乙烯材质制造出的复合管的壁厚至少要 6.4mm, 再根据压力管道的许用压力应为极限强度的三倍这一规定, 可计算得到假定全部采用聚乙烯材质制造出的复合管的壁厚大致为 19.2mm。据此, 可初步将内阻隔层和外阻隔层的厚度之和设计为 20mm, 再根据公式将该尺寸中的 15mm 分配给内阻隔层、5mm 分配给外阻隔层, 相应的再将内增强层的壁厚初步设计为 3mm, 外增强层 4 的壁厚初步设计为 1mm。

[38]在该步骤中, 由于 σ 相同, 因此可满足下述公式 (等式的两侧均等于 5):

$$\frac{\delta_{P_1} \sigma_{P_1}}{\delta_{H_1} \sigma_{H_1}} = \frac{\delta_{P_2} \sigma_{P_2}}{\delta_{H_2} \sigma_{H_2}}$$

进一步的, 也满足下述公式 (厚度比均为 3):

$$1 < \frac{\delta_{P_1}}{\delta_{P_2}} = \frac{\delta_{H_1}}{\delta_{H_2}} < 9$$

[39]S4: 对复合管的强度进行校核, 根据校核结果确定复合管是否合格, 若合格则完成设计, 若不合格则进行步骤 S5;

[40]S5: 根据校核结果及在进行本步骤之前所确定的每组双层结构中阻隔层和增强层的壁厚, 增加每组双层结构中阻隔层和增强层的壁厚, 并再次进行步骤 S4。

[41]具体的, 步骤 S4 中的校核过程说明如下: 对复合管的总强度以及每组双层结构的强度进行校核, 若复合管的爆破压力 (可表征复合管的抗压强度) 大于氢气压力值的三倍并且每组双层结构的爆破压力大于对应的双层结构所承受的氢分压的三倍则判定该复合管合格, 反之则认为不合格。

[42]复合管的爆破压力可采用如下公式计算:

$$p_B^z = \frac{Nd^2(\sigma_{bg} \cos^2 \alpha - \sigma_{bp})}{4r_i^2 \cos \alpha} + \sigma_{bp}(K^2 - 1)$$

$$p_B^\theta = \frac{Nd^2(\sigma_{bg} \sin^2 \alpha - \sigma_{bp})}{4r_i(r_i + r_o) \cos \alpha} + \sigma_{bp}(K - 1)$$

其中, d 为钢丝直径, N 为缠绕钢丝总根数, r_i 为复合管内半径, r_o 为复合管外半径, α 为钢丝缠绕方向与轴向夹角, K 为一系数 ($K = r_i/r_o$), σ_{bg} 为钢丝 (增强层材料) 强度极限, σ_{bp} 为聚乙烯 (阻隔层材料) 计算强度, p_B^z 为轴向爆破压力, p_B^θ 为环向爆破压力。其中, 复合管的爆破压力为环向爆破压力与轴向爆破压力中的最小值。

[43]各组双层结构对应的氢分压的计算过程说明如下: 当复合管长期传输氢气达到稳定状态后, 氢气的压力由内向外逐渐减小。因此, 可认为复合管最内侧压力为管道输送氢气的压力, 复合管最外层压力为 0。增强层对氢气没有阻隔作用, 因此增强层两侧的氢气压力一致; 阻隔层对氢气有阻隔作用, 因此阻隔层两侧氢气压力不一致。由此, 结合图 1 中所示, 靠近复合管内部的双层结构的两侧表面 (也即内阻隔层 1 的内表面与内增强层 2 的外表面) 之间会有压差; 靠近复合管外部的双层结构的两侧表面 (也即外阻隔层 3 的内表面与外增强层 4 的外表面) 之间会有压差。计算氢分压大小时需要考虑阻隔层材料的渗透系数和其厚度, 在本设计中内外两层阻隔层的材料相同, 也即材料渗透系数相同。那么氢气会沿着复合管径向均匀渗透, 也即由内向外氢气压力可认为是由内部的 2MPa (公称压力 PN) 均匀下降为 0。那么, 可假定两组双层结构之间 (也即内增强层 2 的外表面与外阻隔层 3 的内表面之间) 的渗透氢气的压力值为 F , 则公称压力 FN 、

两组双层结构之间的渗透氢气的压力值 F 、内阻隔层 1 的厚度 δ_{P_1} ，以及外阻隔层 3 的厚度 δ_{P_2} 之间满足下述关系：

$$\frac{FN - F}{\delta_{P_1}} = \frac{F}{\delta_{P_2}}$$

[44] 代入具体数值可计算得到 F 为 0.5MPa，由此可得知靠近复合管内部的双层结构所受到的氢分压为 1.5MPa，靠近复合管外部的双层结构所受到的氢分压为 0.5MPa。

[45] 本实施例中经过计算得到复合管的爆破压力为 6.26MPa，在公称压力（2MPa）的三倍以上；靠近复合管内部的双层结构的爆破压力为 4.85MPa，其对应的氢分压为 1.5MPa，靠近复合管内部的双层结构的爆破压力在对应的氢分压的三倍以上；靠近复合管外部的双层结构的爆破压力为 1.63MPa，其对应的氢分压为 0.5MPa，靠近复合管外部的双层结构的爆破压力在对应的氢分压的三倍以上。因此，上述对于复合管的各层厚度的设计满足要求，通过校核。最终将由内向外的四层的厚度依次设计为 15mm、3mm、5mm、1mm。该复合管能够满足长期管道高压输氢的需求，不会因氢渗透发生鼓泡失效现象。

[46] 另外，在不同的项目要求下，例如在另一个实施方式中，复合管要用于建设更大规模、更长距离的输氢管网，该种情况下将复合管的公称压力设计为 2MPa，将其公称直径设计为 355mm。双层结构依旧设计为两组，但位于内部的阻隔层选用 PE100 的高密度聚乙烯材质（计算强度大致为 25MPa），位于外部的阻隔层选用 PA66 材质（计算强度大致为 75MPa），增强层的材质不变。这种情况下，为了使得其满足公式：

$$\frac{\delta_{P_1} \sigma_{P_1}}{\delta_{H_2} \sigma_{H_2}} = \frac{\delta_{P_2} \sigma_{P_2}}{\delta_{H_1} \sigma_{H_1}}$$

在步骤 S3 中初步设计厚度时就将内阻隔层 1 的壁厚设计为 12mm，外阻隔层 3 的壁厚设计为 4mm，内增强层 2 的壁厚设计为 2mm，外增强层 4 的壁厚设计为 2mm。

[47] 采用前述的方法进行校核，本实施例中经过计算得到复合管的爆破压力为 7.96MPa，在公称压力（2MPa）的三倍以上；靠近复合管内部的双层结构的爆破压力为 4.6MPa，其对应的氢分压为 1.2MPa，靠近复合管内部的双层结构的爆破压力在对应的氢分压的三倍以上；靠近复合管外部的双层结构的爆破压力为 4.44MPa，其对应的氢分压为 0.8MPa，靠近复合管外部的双层结构的爆破压力在对应的氢分压的三倍以上。因此，上述对于复合管的各层厚度的设计满足要求，通过校核。最终将由内向外的四层的厚度依次设计为 12mm、2mm、4mm、2mm。该复合管能够满足长期管道高压输氢的需求，不会因氢渗透发生鼓泡失效现象。

[48] 另外，在其它的实施方式中，复合管可以包括至少三组双层结构，如此，沿复合管

的径向由内向外的方向上，阻隔层分别表示为 P_1 、 P_2 P_n ，增强层分别表示为 H_1 、 H_2 H_n ，则：

$$\frac{\delta_{P_1} \sigma_{P_1}}{\delta_{H_1} \sigma_{H_1}} = \frac{\delta_{P_2} \sigma_{P_2}}{\delta_{H_2} \sigma_{H_2}} = \dots = \frac{\delta_{P_n} \sigma_{P_n}}{\delta_{H_n} \sigma_{H_n}}$$

其中， δ 为阻隔层或增强层的壁厚， σ 为阻隔层或增强层的计算强度。

[49]以上，仅为本公开的具体实施方式，但本公开的保护范围并不局限于此，熟悉该本领域的技术人员应该明白本公开包括但不限于附图和上面具体实施方式中描述的内容。任何不偏离本公开的功能和结构原理的修改都将包括在权利要求书的范围中。

权利要求书

1、一种防止氢渗透鼓包的复合管，包括管体，所述管体包括在所述管体的径向上由内向外依次布置的至少两组双层结构，所述至少两组双层结构的每组包括阻隔层和增强层，每组所述双层结构中的所述增强层均设置于所述阻隔层的外部。

2、如权利要求 1 所述的防止氢渗透鼓包的复合管，其特征在于，所述管体包括两组所述双层结构， P_1 和 P_2 分别表示所述两组双层结构中的阻隔层， H_1 和 H_2 分别表示所述两组双层结构中的增强层，则：

$$\frac{\delta_{P_1} \sigma_{P_1}}{\delta_{H_1} \sigma_{H_1}} = \frac{\delta_{P_2} \sigma_{P_2}}{\delta_{H_2} \sigma_{H_2}};$$

或，所述管体包括至少三组所述双层结构， P_1 、 P_2 …… P_n 分别表示所述至少三组双层结构中的阻隔层， H_1 、 H_2 …… H_n 分别表示所述至少三组双层结构中的增强层，则：

$$\frac{\delta_{P_1} \sigma_{P_1}}{\delta_{H_1} \sigma_{H_1}} = \frac{\delta_{P_2} \sigma_{P_2}}{\delta_{H_2} \sigma_{H_2}} = \dots = \frac{\delta_{P_n} \sigma_{P_n}}{\delta_{H_n} \sigma_{H_n}};$$

其中， δ 为所述阻隔层或所述增强层的壁厚， σ 为所述阻隔层或所述增强层的计算强度。

3、如权利要求 2 所述的防止氢渗透鼓包的复合管，其特征在于，两组所述双层结构中的阻隔层的材料相同，并且两组所述双层结构中的增强层的材料相同，两组所述双层结构中的每组所述双层结构中的阻隔层和增强层的壁厚满足如下公式：

$$1 < \frac{\delta_{P_1}}{\delta_{P_2}} = \frac{\delta_{H_1}}{\delta_{H_2}} < 9。$$

4、如权利要求 1 至 3 中任一项所述的防止氢渗透鼓包的复合管，其特征在于，所述阻隔层采用热塑性塑料材质。

5、如权利要求 1 至 3 中任一项所述的防止氢渗透鼓包的复合管，其特征在于，所述增强层采用钢丝且呈网格状，并且所述钢丝外具有包覆层，所述包覆层采用热塑性塑料材质。

6、一种输氢管网，其特征在于，包括多根密封连通的如权利要求 1 至 5 中任一项所述的防止氢渗透鼓包的复合管。

7、一种防止氢渗透鼓包的复合管的设计方法，其特征在于，所述复合管包括管体，所述管体包括在所述管体的径向上由内向外依次布置的至少两组双层结构，至少两组所述双层结构中的每组包括阻隔层和增强层，每组所述双层结构中的增强层均设置于阻隔

层的外部;

该设计方法包括:

根据该复合管的设计目标确定其在使用时的氢气压力值以及复合管的公称直径;

根据所述氢气压力值和所述公称直径确定复合管中双层结构的组数以及所述双层结构的各层的材料;

根据所述氢气压力值及所述双层结构的组数以及所述双层结构的各层的材料,初步确定每组双层结构中阻隔层和增强层的壁厚;

对复合管的强度进行校核,根据校核结果确定复合管是否合格,若合格则完成设计;

若不合格,根据校核结果及所确定的每组双层结构中阻隔层和增强层的壁厚,增加每组双层结构中阻隔层和增强层的壁厚,并再次对复合管的强度进行校核。

8、如权利要求 7 所述的防止氢渗透鼓包的复合管的设计方法,其特征在于,若所述管体包括两组所述双层结构,根据下述公式确定每组双层结构中阻隔层和增强层的壁厚:

$$\frac{\delta_{P_1} \sigma_{P_1}}{\delta_{H_1} \sigma_{H_1}} = \frac{\delta_{P_2} \sigma_{P_2}}{\delta_{H_2} \sigma_{H_2}}$$

其中, P_1 和 P_2 分别表示所述两组双层结构中的阻隔层, H_1 和 H_2 分别表示所述两组双层结构中的增强层;

若所述管体包括至少三组所述双层结构,根据下述公式确定每组双层结构中阻隔层和增强层的壁厚:

$$\frac{\delta_{P_1} \sigma_{P_1}}{\delta_{H_1} \sigma_{H_1}} = \frac{\delta_{P_2} \sigma_{P_2}}{\delta_{H_2} \sigma_{H_2}} = \dots = \frac{\delta_{P_n} \sigma_{P_n}}{\delta_{H_n} \sigma_{H_n}}$$

其中, P_1 、 P_2 P_n 分别表示所述至少三组双层结构中的阻隔层, H_1 、 H_2 H_n 分别表示所述至少三组双层结构中的增强层;

其中, δ 为所述阻隔层或增强层的壁厚, σ 为所述阻隔层或增强层的计算强度。

9、如权利要求 8 所述的防止氢渗透鼓包的复合管的设计方法,其特征在于,所述阻隔层和增强层的壁厚满足如下公式: $1 < \frac{\delta_{P_1}}{\delta_{P_2}} = \frac{\delta_{H_1}}{\delta_{H_2}} < 9$ 。

10、如权利要求 7 所述的防止氢渗透鼓包的复合管的设计方法,其特征在于,所述对复合管的强度进行校核包括:对复合管的总强度以及每组双层结构的强度进行校核,复合管的爆破压力大于所述氢气压力值的三倍并且每组双层结构的爆破压力大于对应

的双层结构所承受的氢分压的三倍则判定该复合管合格。

11、如权利要求 7 所述的防止氢渗透鼓包的复合管的设计方法，其特征在于，所述阻隔层采用热塑性塑料材质。

12、如权利要求 7 所述的防止氢渗透鼓包的复合管的设计方法，其特征在于，所述增强层采用钢丝且呈网格状，并且所述钢丝外具有包覆层，所述包覆层采用热塑性塑料材质。

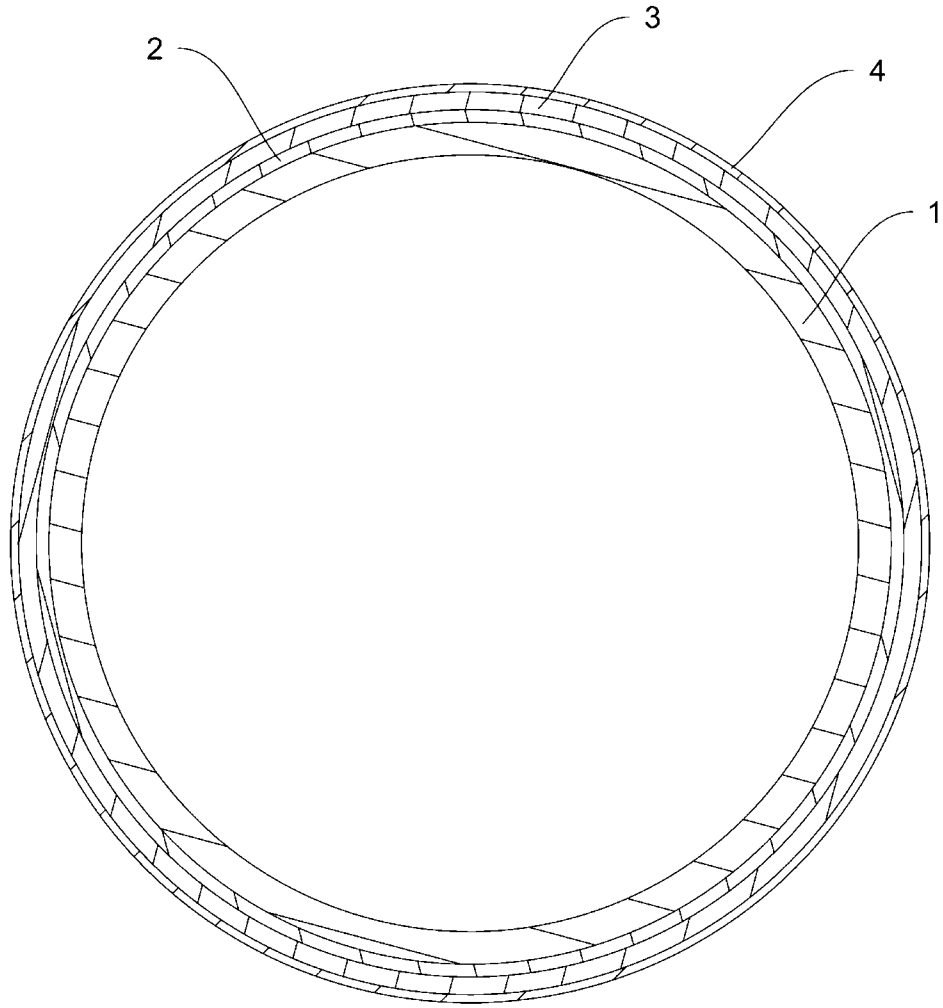


图 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/139013

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F16L9/147(2006.01)i; B32B1/08(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)

IPC:F16L,G06F,B32B,B29C

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, ENTXT, VEN, CJFD, ENTXTC: 复合管, 阻隔, 增强, 加强, composite pipe, barrier, blocked, enhanc+, strengthen+, reinforc+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 116753368 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 15 September 2023 (2023-09-15) description, paragraphs 25-50, and figure 1	1-12
X	CN 200952612 Y (ZIBO HENGHE PLASTIC CO., LTD.) 26 September 2007 (2007-09-26) description, specific embodiments, and figures 1-3	1, 4-5
Y	CN 200952612 Y (ZIBO HENGHE PLASTIC CO., LTD.) 26 September 2007 (2007-09-26) description, specific embodiments, and figures 1-3	6
Y	CN 114962804 A (NINGXIA QINGLONG PLASTIC PIPE CO., LTD.) 30 August 2022 (2022-08-30) description, paragraph 2, and figures 1 and 2	6
A	CN 115823366 A (FUJIAN LONBON PIPE CO., LTD.) 21 March 2023 (2023-03-21) entire document	1-12
A	RU 204545 U1 (POPOV, A. M.) 31 May 2021 (2021-05-31) entire document	1-12

 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

“D” document cited by the applicant in the international application

“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

07 April 2024

Date of mailing of the international search report

21 April 2024

Name and mailing address of the ISA/CN

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/139013

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 116753368 A	15 September 2023	None	
CN 200952612 Y	26 September 2007	None	
CN 114962804 A	30 August 2022	None	
CN 115823366 A	21 March 2023	None	
RU 204545 U1	31 May 2021	None	

<p>A. 主题的分类</p> <p>F16L9/147(2006.01)i; B32B1/08(2006.01)i</p> <p>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</p>																							
<p>B. 检索领域</p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>IPC:F16L,G06F,B32B,B29C</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>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))</p> <p>CNTEXT, ENTXT, VEN, CJFD, ENTXTC: 复合管, 阻隔, 增强, 加强, composite pipe, barrier, blocked, enhanc+, streng-then+, reinforc+</p>																							
<p>C. 相关文件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 116753368 A (浙江大学) 2023年9月15日 (2023 - 09 - 15) 说明书第25-50段、附图1</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 200952612 Y (淄博恒和塑胶有限公司) 2007年9月26日 (2007 - 09 - 26) 说明书具体实施方式部分、附图1-3</td> <td>1,4-5</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 200952612 Y (淄博恒和塑胶有限公司) 2007年9月26日 (2007 - 09 - 26) 说明书具体实施方式部分、附图1-3</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 114962804 A (宁夏青龙塑料管材有限公司) 2022年8月30日 (2022 - 08 - 30) 说明书第2段、附图1-2</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 115823366 A (福建乐邦管业有限公司) 2023年3月21日 (2023 - 03 - 21) 全文</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>RU 204545 U1 (POPOV M A) 2021年5月31日 (2021 - 05 - 31) 全文</td> <td>1-12</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p> <p>* 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 “D” 申请人在国际申请中引证的文件 “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</p>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 116753368 A (浙江大学) 2023年9月15日 (2023 - 09 - 15) 说明书第25-50段、附图1	1-12	X	CN 200952612 Y (淄博恒和塑胶有限公司) 2007年9月26日 (2007 - 09 - 26) 说明书具体实施方式部分、附图1-3	1,4-5	Y	CN 200952612 Y (淄博恒和塑胶有限公司) 2007年9月26日 (2007 - 09 - 26) 说明书具体实施方式部分、附图1-3	6	Y	CN 114962804 A (宁夏青龙塑料管材有限公司) 2022年8月30日 (2022 - 08 - 30) 说明书第2段、附图1-2	6	A	CN 115823366 A (福建乐邦管业有限公司) 2023年3月21日 (2023 - 03 - 21) 全文	1-12	A	RU 204545 U1 (POPOV M A) 2021年5月31日 (2021 - 05 - 31) 全文	1-12
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
PX	CN 116753368 A (浙江大学) 2023年9月15日 (2023 - 09 - 15) 说明书第25-50段、附图1	1-12																					
X	CN 200952612 Y (淄博恒和塑胶有限公司) 2007年9月26日 (2007 - 09 - 26) 说明书具体实施方式部分、附图1-3	1,4-5																					
Y	CN 200952612 Y (淄博恒和塑胶有限公司) 2007年9月26日 (2007 - 09 - 26) 说明书具体实施方式部分、附图1-3	6																					
Y	CN 114962804 A (宁夏青龙塑料管材有限公司) 2022年8月30日 (2022 - 08 - 30) 说明书第2段、附图1-2	6																					
A	CN 115823366 A (福建乐邦管业有限公司) 2023年3月21日 (2023 - 03 - 21) 全文	1-12																					
A	RU 204545 U1 (POPOV M A) 2021年5月31日 (2021 - 05 - 31) 全文	1-12																					
国际检索实际完成的日期	2024年4月7日	国际检索报告邮寄日期	2024年4月21日																				
ISA/CN的名称和邮寄地址	中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088																						
	授权官员 孙迎春 电话号码 (+86) 010-62085459																						

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/139013

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 116753368 A	2023年9月15日	无	
CN 200952612 Y	2007年9月26日	无	
CN 114962804 A	2022年8月30日	无	
CN 115823366 A	2023年3月21日	无	
RU 204545 U1	2021年5月31日	无	