

说明书

发明名称: 波纹板及具有其的液化气体储存容器

[0001] 本申请要求于2025年2月28日提交的中国专利申请CN202510228284 .8的优先权，其内容以引用的方式并入本文中。

技术领域

[0002] 本发明涉及海洋工程装备特别是船舶等海洋装备的液化气体储存容器的领域，尤其涉及一种波纹板以及具有该波纹板的用于运输设备尤其是船舶等海洋装备的液化气体储存容器。该储存容器特别地是船舶等海洋装备的液化气体储存舱，其中液化气体例如液化天然气、液氮、液氧、液氢以及液氦等。

背景技术

[0003] 液化天然气（LNG）以其绿色、环保、高效的优势一直作为石油替代的首选能源，成为全球发展最迅猛的能源行业之一。随着我国经济的快速发展和对环境治理要求的不断提高，LNG的应用与开发越来越受到各方的重视，特别是在雾霾天气频发的情况下，LNG的重要性愈发凸显，从而引发了社会对清洁能源需求的快速增长。未来中国清洁能源发展的重点方向之一，就是LNG。

[0004] LNG通常需要依靠运输设备，例如船舶等海洋装备来实现运输。LNG接收站中的主要构成为码头卸料、LNG储存、工艺处理及外输，而这其中承担储存任务的LNG储罐在工程建设过程中工期最长、技术最先进、难点也最多，一直都作为整个工程的关键路径进行管理。而且LNG储罐的构造形式和科技创业也是国内国际同行业人士的关注重点。

[0005] 在LNG储罐中，用于构成密封层的波纹板需要能够在各种使用条件下能保持良好的密封性和稳定性，因而波纹板的构型、质量尤其重要，因而对生产制造波纹板的工艺的要求也较高。现有的波纹板在波纹处、尤其是在横纵向波纹的交汇处的材料均匀度、流畅度、强度都有待加强。

[0006] 因而，需要提供一种波纹板以及具有该波纹板的储存容器，以至少部分地解决上述问题。

发明内容

- [0007] 为至少部分地实现上述目的，本发明提供了一种用于液化气体储存容器的波纹板，所述波纹板包括板主体、第一波纹和第二波纹，其中，所述第一波纹沿垂直于所述板主体的高度方向相对于所述板主体凸出第一高度并沿平行于所述板主体的第一方向延伸，所述第二波纹沿所述高度方向相对于所述板主体凸出第二高度并沿平行于所述板主体的第二方向延伸，所述第一高度大于所述第二高度，所述第一波纹在垂直于所述第一方向上的最大宽度大于所述第二波纹在垂直于所述第二方向上的最大宽度，所述第一波纹和所述第二波纹正交并在交汇位置形成交汇结构，所述交汇结构包括：
- [0008] 顶部，所述顶部位于所述交汇位置的中心，所述顶部相对于所述板主体沿所述高度方向的凸出高度大于所述第一高度，
- [0009] 脊，所述脊包括四个，每个所述脊位于第一波纹的第一波峰和所述第二波纹的第二波峰正交所形成的四个象限中的一个内、从所述顶部朝向所述板主体延伸，所述脊的总体延伸方向分别与所述第一方向、所述第二方向和所述高度方向交叉；和
- [0010] 凹坑部，所述凹坑部包括四个，每个所述凹坑部位于所述四个象限中的一个内、形成于所述第一波纹的外侧面上并夹在所述第一波纹的第一波峰与所述脊之间，所述凹坑部相对于所述第一波纹的外侧面向内凹入。
- [0011] 在部分实施方式中，所述脊终止于所述第一波纹的外侧面。
- [0012] 在部分实施方式中，所述脊与所述第一波纹的外侧面平滑地连接过渡。
- [0013] 在部分实施方式中，所述凹坑部具有凹坑边沿，所述凹坑边沿由所述第一波纹的外侧面的从外凸或平齐转为内凹的转换部分限定，所述凹坑边沿与所述脊平滑地连接过渡。
- [0014] 在部分实施方式中，所述凹坑边沿从所述脊延伸至所述第一波纹的第一波峰，使得所述凹坑部由所述脊、所述凹坑边沿和所述第一波纹的第一波峰围成。
- [0015] 在部分实施方式中，在垂直于所述高度方向的平面中，所述凹坑边沿的投影为外凸的曲线，所述脊的投影相对于所述第一方向的夹角大于所述凹坑边沿的投

影的切线相对于所述第一方向的夹角，并且所述脊的投影在所述第一方向上的长度分量小于所述凹坑边沿的投影在所述第一方向上的长度分量。

- [0016] 在部分实施方式中，从所述脊开始随着所述凹坑边沿的延伸，所述凹坑边沿在垂直于所述高度方向的平面中的投影的切线相对于所述第一方向的夹角逐渐增大。
- [0017] 在部分实施方式中，所述凹坑部相对于所述第一波纹的外侧面的凹入深度沿着从所述凹坑部的边沿到所述凹坑部的中心的方向逐渐增加。
- [0018] 在部分实施方式中，沿着所述高度方向观察，所述脊和所述凹坑部相对于所述第一波纹的第一波峰和/或所述第二波纹的第二波峰对称。
- [0019] 在部分实施方式中，所述第一波纹的形成所述凹坑部位置处的第一波峰的高度与所述第一波纹的其他位置处的第一波峰的高度平齐。
- [0020] 在部分实施方式中，位于所述第一波纹的同一侧的两个脊之间形成位于所述第二波纹上方的沟槽部，所述沟槽部的沟槽底部垂直于所述板主体延伸。
- [0021] 根据本发明的另一方面，还提供一种液化气体的储存容器，所述储存容器的壁包括基层和位于所述基层的内侧的密封层，其中，所述密封层包括根据前述任一项的波纹板。
- [0022] 根据本发明的方案，交汇结构可以在形成第二波纹时使波纹板在交汇位置处的上下表面具有均一的线长度，因而能够实现均一的厚度，避免过度增厚或减薄，并且可以实现更好的结构强度以及抗疲劳特性。

附图说明

- [0023] 为了更好地理解本发明的上述及其他目的、特征、优点和功能，可以参考附图中所所示的优选实施方式。附图中相同的附图标记指代相同的部件。本领域技术人员应该理解，附图旨在示意性地阐明本发明的优选实施方式，对本发明的范围没有任何限制作用，图中各个部件并非按比例绘制。
- [0024] 图1为根据本发明的优选实施方式的波纹板的立体视图；
- [0025] 图2为图1所示的波纹板沿高度方向观察的俯视图；
- [0026] 图3为图1所示的波纹板沿第二方向观察的侧视图；
- [0027] 图4为图1所示的波纹板沿第一方向观察的侧视图；

- [0028] 图5为沿着图3中的A-A线截取的剖视图；
- [0029] 图6为用于加工根据本发明的波纹板的加工装置的示意图。
- [0030] 附图标记说明：
- [0031] 1、波纹板；
- [0032] 11、板主体；
- [0033] 12、第一波纹；
- [0034] 121、第一波峰；
- [0035] 13、第二波纹；
- [0036] 131、第二波峰；
- [0037] 14、交汇结构；
- [0038] 141、顶部；
- [0039] 142、脊；
- [0040] 143、凹坑部；
- [0041] 144、凹坑边沿；
- [0042] 145、沟槽部；
- [0043] 146、沟槽底部；
- [0044] 2、加工装置；
- [0045] 21、第一模具；
- [0046] 211、避让凹槽；
- [0047] 212、塑形凹槽；
- [0048] 22、压料板；
- [0049] 23、第二模具；
- [0050] 231、塑形凸起；
- [0051] 24、辅助塑形构件；
- [0052] 241、辅助塑形凸起；
- [0053] 242、缺口部；
- [0054] D1、高度方向；
- [0055] D2、第一方向；

[0056] D3、第二方向。

具体实施方式

[0057] 现在参考附图，详细描述本发明的具体实施方式。这里所描述的仅仅是根据本发明的优选实施方式，本领域技术人员可以在所述优选实施方式的基础上想到能够实现本发明的其他方式，所述其他方式同样落入本发明的范围。

[0058] 本发明提供了一种波纹板，该波纹板优选地使用金属材料（例如钢）制成，且适用于制造储存容器，尤其是能够用于海洋工程装备或者陆用工程装备的用于储存液化天然气（LNG）、液氮、液氧、液氢及液氦等的液化气体的储存容器。下面结合图1至图5对波纹板的优选实施方式进行介绍。

[0059] 如图1所示，波纹板1由平坦的金属板加工而成，包括板主体11、第一波纹12和第二波纹13。其中，第一波纹12和第二波纹13均相对于板主体11沿大致垂直于板主体11所在平面的方向向外凸出。凸出方向可以称为高度方向D1。第一波纹12相对于板主体11的凸出高度（第一高度）大于第二波纹13相对于板主体11的凸出高度（第二高度）。此处的凸出高度指的是第一波纹12和第二波纹13各自相对于板主体11向外凸出的最大距离，也即波峰的高度。此外，第一波纹12在板主体11上沿第一方向D2延伸。第二波纹13在板主体11上沿第二方向D3延伸。第一方向D2和第二方向D3大致垂直。也即，第一波纹12和第二波纹13两者基本上正交。

[0060] 在部分实施方式中，第一波纹12和第二波纹13可以均构造为圆弧形波纹。例如，参考图3和图4，第一波纹12和第二波纹13在沿着各自的延伸方向观察时，其投影轮廓形成为圆弧形，其各自的顶端形成为圆弧而不具棱角。当然，可以理解，在其他实施方式中，第一波纹和第二波纹中的至少一个可以形成为三角波纹，例如沿着其延伸方向观察时，该波纹的投影轮廓形成为一个大致三角形，其顶端处可以具有棱角。其中，第一波纹12在垂直于其延伸方向（第一方向D2）的最大宽度大于第二波纹13在垂直于其延伸方向（第二方向D3）的最大宽度。参考高度和宽度等特征，第一波纹12也可以称为大波纹，第二波纹13也可以称为小波纹。

- [0061] 第一波纹12和第二波纹13两者延伸并相交，在交汇位置处形成有交汇结构14。交汇结构14能够增强波纹板1在交汇位置处的结构强度，有利于延长其使用寿命。
- [0062] 交汇结构14包括顶部141，其从交汇位置的中心相对于板主体11沿高度方向D1向外凸出。顶部141的凸出高度大于第一波纹12的凸出高度。参考图2可以看到，第一波纹12与第二波纹13正交，因此可以将第一波纹12的第一波峰121和第二波纹13的第二波峰131看作两个正交的坐标轴，其将周围的板主体11划分为四个象限。顶部141可以看作坐标轴的原点。四个脊142从顶部141朝向板主体11延伸。每个象限中分布有一个脊142。从图2可以看到，每个脊142的延伸方向与第一方向D2和第二方向D3交叉。而从图3可以看到，脊142的延伸方向还与高度方向D1交叉。脊在交汇位置形成的过程中由波纹板的板材弯折并向外凸出而形成。
- [0063] 根据本发明，交汇结构14还形成有凹坑部143。与脊142类似，凹坑部143包括四个，并分别位于每个象限中。特别地，凹坑部143设置在第一波纹12的外侧面上，其位于脊142与第一波纹12的第一波峰121之间。凹坑部143构造为相对于第一波纹12的外侧面向内凹入。也即，对于第一波纹12而言，凹坑部143分别设置在其第一波峰121的两侧。而第一波峰121的结构不变，始终保持外凸的形状。也即，第一波纹12在交汇结构14中的第一波峰121的高度与第一波纹12在其他位置处的第一波峰121的高度是平齐的，因而可以保持第一波纹12的结构强度不受影响。优选地，从凹坑部143的外沿向其内部，其凹入深度逐渐增加。
- [0064] 可以理解，在形成波纹的过程中，板材在部分位置处会产生材料积聚，而在部分位置处会产生材料拉伸，使得板材出现薄厚不一的情况，这对于板材的强度具有不利影响。通过设置顶部141、脊142以及凹坑部143，交汇结构14可以吸收形成波纹时在交汇位置处产生的材料的积聚，并且使积聚的材料优先向板材被拉伸的位置分布，以此方式可以使波纹板在交汇位置处的上下表面具有均一的线长度，因而能够实现均一的厚度，避免过度增厚或减薄。经过金相分析检测，该交汇结构能够实现最大减薄率低于5%，确保了材料的厚度一致性，产品性能稳定。此外，相比常规的在波峰处形成沟壑的波纹板，根据本发明的方案还可以实现更好的结构强度以及抗疲劳特性。经过有限元分析，该交汇结构

在极端工况下，最大应变为2%，远远低于对大部分金属材料造成结构损坏的极限应变（例如，对不锈钢造成结构损坏的单次拉伸极限应变通常要达到40%以上），确保了交汇结构以及波纹板整体在使用期间的安全性。

- [0065] 脊142从顶部141朝向板主体11延伸，其优选地延伸至第一波纹12的外侧面上即终止，而不会延伸至板主体11。这样有利于保持板主体11的完整结构。同时脊142和第一波纹12之间的平滑连接在增加结构强度的同时可以避免产生应力集中。
- [0066] 可以理解，在第一波纹12的外侧面上形成凹坑部143，该外侧面会产生从外凸或平齐向凹入转变的位置，该位置限定凹坑部143的凹坑边沿144。其本质上是在第一波纹12的外侧面上形成一个小的不太明显的脊。通过这种外凸和内凹的交替变化，可以进一步增加波纹板1在交汇结构14处的结构强度。
- [0067] 优选地，该凹坑边沿144与脊142在第一波纹12的外侧面以平滑的方式连接过渡。也就是说，在凹坑边沿144和脊142之间实际上不会形成明显的连接位置，因而不会有急剧的形状变化，这有利于避免出现应力集中。为了便于说明的目的，在图2和图3中将凹坑边沿144以弯曲的点划线象征性地示出，将脊142以大致为直线的点划线象征性地示出。可以理解，这些点划线仅用于表示凹坑边沿144和脊142的大致走向，而不适用于表现其实际形状。从图2和图3可以看到，凹坑边沿144除了在一端与脊142平滑连接之外，其另一端朝向第一波纹12的第一波峰121延伸。不论是从图2中沿着高度方向D1观察，还是从图3中沿着第二方向D3观察，凹坑边沿144在相应平面中的投影均构造为外凸的曲线。
- [0068] 优选地，如图2所示，在部分实施方式中，对于凹坑边沿144在垂直于高度方向D1的平面中的投影曲线段，其切线相对于第一方向D2的夹角小于脊142的投影相对于第一方向D2的夹角。并且，随着凹坑边沿144朝向第一波纹12的第一波峰121延伸，其投影曲线段的切线相对于第一方向D2的夹角逐渐增大。此外，凹坑边沿144的投影曲线段的两端之间沿第一方向D2的尺寸大于脊142的投影的两端之间沿第一方向D2的尺寸（对应于凹坑边沿144和脊142两者的连接处与顶部141之间沿第一方向D2的距离）。
- [0069] 以此方式，对于凹坑边沿144与脊142所形成的连续的凸起结构而言，随着脊142的延伸，其与第一波纹12的第一波峰121之间沿第二方向D3的距离逐渐增加，

并在凹坑边沿144与脊142的连接处达到最大距离。进一步地，随着凹坑边沿144朝向第一波峰121延伸，该连续的凸起结构与第一波峰121之间沿第二方向D3的距离逐渐收敛减小，并在凹坑边沿144的远离脊142的末端收敛至最小。其中，脊142沿第一方向D2的延伸分量小于凹坑边沿144沿第一方向D2的延伸分量。因此，在第二波纹13的同一侧，当沿着高度方向D1观察时，位于第一波纹12的两侧的脊142和对应的凹坑边沿144形成为大致心形图案的结构。优选地，交汇结构14在每个象限中可以具有大致相同的形状，使得其形成为相对于第一波纹12的第一波峰121和/或第二波纹13的第二波峰131对称的结构。优选地，凹坑边沿144延伸至第一波纹12的第一波峰121，使得每个凹坑部143由对应的脊142、凹坑边沿144及第一波纹12的第一波峰121围绕而成。

[0070] 参考图3，在第一波纹12的同一侧，位于第二波纹13的两侧的两个脊142之间在第二波纹13的上方形成沟槽部145。进一步地，从图4和图5可以看到，该沟槽部145的沟槽底部146大致沿高度方向D1延伸（也即大致垂直于板主体11）。这一构造有利于使脊142和顶部141具有更好的强度，提升其抵抗垂直于板主体11的载荷冲击的能力。

[0071] 图6示出了用于加工根据本发明的波纹板——尤其是加工其交汇结构——的加工装置2，其包括第一模具21、压料板22、第二模具23和辅助塑形构件24。可以理解，第一波纹12和第二波纹13可以由两个独立的工序分别加工成型。加工装置2用于对已经预加工第一波纹12的板材作进一步加工。针对此，第一模具21设置有避让凹槽211。在加工时，可以将预加工的第一波纹12放置在避让凹槽211中，使板主体11贴靠在第一模具21的上表面。然后将压料板22附接至第一模具21。优选地，压料板22上设置有压料凸起，其伸入第一波纹12将其压紧在避让凹槽211中。

[0072] 第一模具21还设置有助于形成第二波纹13的塑形凹槽212。相应地，第二模具23设置有塑形凸起231。在板材被压紧在第一模具21上时，第二模具23朝向第一模具21运动，其塑形凸起231将板材压入塑形凹槽212中，形成第二波纹13。在塑形凸起231的中部，还设置有在弹性力（例如由弹簧施加）的作用下向外凸出的卡舌（未示出），其相对于塑形凸起231的凸出距离更大，卡舌挤压第一波纹12和

第二波纹13的交汇位置，在塑形凹槽212内的对应形状的配合下，形成交汇结构14的顶部141、脊142以及沟槽部145。

[0073] 另外，辅助塑形构件24设置在第一模具21的与第二模具23相反的一侧，其具有两个辅助塑形凸起241，分别位于第二模具23的塑形凸起231的两侧。每个辅助塑形凸起241在与第一波纹12的波峰对应的位置有缺口部242。辅助塑形构件24与第二模具23同步地挤压板材。其中，缺口部242对第一波纹12的第一波峰121产生避让，而缺口部242的两个端点在第一波峰121的两侧挤压第一波纹12的外侧面，使得在第一波纹12的第一波峰121的两侧形成两个凹坑部143及对应的凹坑边沿144。以此方式，波纹板加工完成。

[0074] 根据本发明的波纹板可以用于构成储存容器的壁的一部分。在部分实施方式中，储存容器的壁从外侧到内侧依次包括：次绝缘层、次密封层、主绝缘层和主密封层。也即，主密封层位于容器壁的最内侧，与储存容器中的内容物（例如LNG）接触，次绝缘层位于最外侧。其中，次密封层和主密封层均可以由根据本发明的波纹板构成。而次绝缘层和主绝缘层均由隔热材料制成的绝缘板（例如胶合板）排布组成。次绝缘层和主绝缘层也可以称为基层。

[0075] 本发明的多种实施方式的以上描述出于描述的目的提供给相关领域的一个普通技术人员。不意图将本发明排他或局限于单个公开的实施方式。如上，以上教导的领域中的普通技术人员将明白本发明的多种替代和变型。因此，虽然具体描述了一些替代实施方式，本领域普通技术人员将明白或相对容易地开发其他实施方式。本发明旨在包括这里描述的本发明的所有替代、改型和变型，以及落入以上描述的本发明的精神和范围内的其他实施方式。

权利要求书

- [权利要求 1]

一种用于液化气体储存容器的波纹板，所述波纹板包括板主体（11）、第一波纹（12）和第二波纹（13），其中，所述第一波纹（12）沿垂直于所述板主体（11）的高度方向（D1）相对于所述板主体（11）凸出第一高度并沿平行于所述板主体（11）的第一方向（D2）延伸，所述第二波纹（13）沿所述高度方向（D1）相对于所述板主体（11）凸出第二高度并沿平行于所述板主体（11）的第二方向（D3）延伸，所述第一高度大于所述第二高度，所述第一波纹（12）在垂直于所述第一方向（D2）上的最大宽度大于所述第二波纹（13）在垂直于所述第二方向（D3）上的最大宽度，所述第一波纹（12）和所述第二波纹（13）正交并在交汇位置形成交汇结构（14），其特征在于，所述交汇结构（14）包括：

顶部（141），所述顶部（141）位于所述交汇位置的中心，所述顶部（141）相对于所述板主体（11）沿所述高度方向（D1）的凸出高度大于所述第一高度，

脊（142），所述脊（142）包括四个，每个所述脊（142）位于第一波纹（12）的第一波峰（121）和所述第二波纹（13）的第二波峰（131）正交所形成的四个象限中的一个内、从所述顶部（141）朝向所述板主体（11）延伸，所述脊（142）的总体延伸方向分别与所述第一方向（D2）、所述第二方向（D3）和所述高度方向（D1）交叉；和

凹坑部（143），所述凹坑部（143）包括四个，每个所述凹坑部（143）位于所述四个象限中的一个内、形成于所述第一波纹（12）的外侧面上并夹在所述第一波纹（12）的第一波峰（121）与所述脊（142）之间，所述凹坑部（143）相对于所述第一波纹（12）的外侧面向内凹入。
- [权利要求 2]

根据权利要求1所述的波纹板，其特征在于，所述脊（142）终止于所述第一波纹（12）的外侧面。

- [权利要求 3] 根据权利要求2所述的波纹板，其特征在于，所述脊（142）与所述第一波纹（12）的外侧面平滑地连接过渡。
- [权利要求 4] 根据权利要求3所述的波纹板，其特征在于，所述凹坑部（143）具有凹坑边沿（144），所述凹坑边沿（144）由所述第一波纹（12）的外侧面的从外凸或平齐转为内凹的转换部分限定，所述凹坑边沿（144）与所述脊（142）平滑地连接过渡。
- [权利要求 5] 根据权利要求4所述的波纹板，其特征在于，所述凹坑边沿（144）从所述脊（142）延伸至所述第一波纹（12）的第一波峰（121），使得所述凹坑部（143）由所述脊（142）、所述凹坑边沿（144）和所述第一波纹（12）的第一波峰（121）围成。
- [权利要求 6] 根据权利要求4所述的波纹板，其特征在于，在垂直于所述高度方向（D1）的平面中，所述凹坑边沿（144）的投影为外凸的曲线，所述脊（142）的投影相对于所述第一方向（D2）的夹角大于所述凹坑边沿（144）的投影的切线相对于所述第一方向（D2）的夹角，并且所述脊（142）的投影在所述第一方向（D2）上的长度分量小于所述凹坑边沿（144）的投影在所述第一方向（D2）上的长度分量。
- [权利要求 7] 根据权利要求6所述的波纹板，其特征在于，从所述脊（142）开始随着所述凹坑边沿（144）的延伸，所述凹坑边沿（144）在垂直于所述高度方向（D1）的平面中的投影的切线相对于所述第一方向（D2）的夹角逐渐增大。
- [权利要求 8] 根据权利要求1所述的波纹板，其特征在于，所述凹坑部（143）相对于所述第一波纹（12）的外侧面的凹入深度沿着从所述凹坑部（143）的边沿到所述凹坑部（143）的中心的方向逐渐增加。
- [权利要求 9] 根据权利要求1所述的波纹板，其特征在于，沿着所述高度方向（D1）观察，所述脊（142）和所述凹坑部（143）相对于所述第一波纹（12）的第一波峰（121）和/或所述第二波纹（13）的第二波峰（131）对称。

- [权利要求 10] 根据权利要求1所述的波纹板，其特征在于，所述第一波纹（12）的形成所述凹坑部（143）位置处的第一波峰（121）的高度与所述第一波纹（12）的其他位置处的第一波峰（121）的高度平齐。
- [权利要求 11] 根据权利要求1所述的波纹板，其特征在于，位于所述第一波纹（12）的同一侧的两个脊（142）之间形成位于所述第二波纹（13）上方的沟槽部（145），所述沟槽部（145）的沟槽底部（146）垂直于所述板主体（11）延伸。
- [权利要求 12] 一种液化气体的储存容器，所述储存容器的壁包括基层和位于所述基层的内侧的密封层，其特征在于，所述密封层包括根据权利要求1-11中任一项所述的波纹板。