



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108267071 B

(45)授权公告日 2020.01.21

(21)申请号 201711464369.8

(22)申请日 2017.01.20

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 108267071 A

(43)申请公布日 2018.07.10

(62)分案原申请数据  
201710048824.X 2017.01.20

(73)专利权人 中国核工业第五建设有限公司  
地址 201512 上海市金山区龙胜路1070号

(72)发明人 袁波 王朝晖 吴涛 居海兵  
尹付军

(74)专利代理机构 北京市邦道律师事务所  
11437  
代理人 段君峰 刘玲

(51)Int.Cl.

G01B 5/30(2006.01)

(56)对比文件

CN 104142367 A, 2014.11.12,  
CN 103868985 A, 2014.06.18,  
CN 203642905 U, 2014.06.11,  
CN 104074365 A, 2014.10.01,  
CN 104677252 A, 2015.06.03,  
US 2011267590 A1, 2011.11.03,  
RU 2592472 C1, 2016.07.20,  
张际斌. 核电站安全壳结构检测评估技术综述.《工业建筑》.2014, 全文.

审查员 刘兵

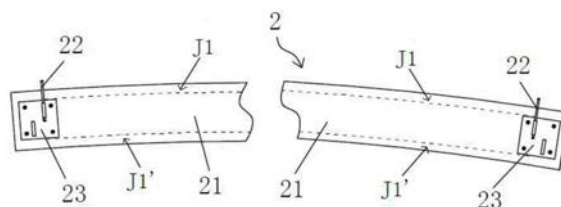
权利要求书3页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

AP1000核电站安全壳形变检测方法

(57)摘要

本发明属于核电设备检测领域,具体涉及一种AP1000核电站安全壳的形变检测方法。为了解决通过全站仪进行形变检测时,全站仪在采集数据的过程中容易受到干扰影响数据采集的准确性,以及数据采集过程对施工进度有影响的问题,本发明公开了一种全新的AP1000核电站安全壳形变检测方法。该检测方法通过预先设置与理论曲率相同的基准线,并将该基准线刻画到检测板上,然后通过基准线与弧形钢板表面的实际曲率之间进行直接对比检测,从而快速获得安全壳表面形变情况。通过采用本发明的AP1000核电站安全壳的形变检测方法,不仅可以对AP1000核电站安全壳进行准确的形变检测,而且在检测过程中不对其他施工产生影响,提高了检测效率,保证了整个安全壳施工的进度。



1. 一种AP1000核电站安全壳形变检测方法,其特征在于,该检测方法包括以下步骤:

第一步,设置基准线;根据待检测弧形钢板的设计曲率,选取适当长度的弧线作为检测弧形钢板的基准线,所述基准线的曲率与待检测弧形钢板的设计曲率相同;其中,所述基准线刻画在检测板上,所述检测板包括弧形板,支腿以及安装座,将所述基准线刻画在所述弧形板的表面上,所述安装座位于所述弧形板的两个端部,所述支腿与所述安装座活动连接,并沿所述基准线的曲率半径方向可以自由伸缩和固定;

第二步,采集数据;首先,通过所述支腿将所述检测板支撑在待检测弧形钢板的表面,其中所述基准线与待检测弧形钢板的设计曲率半径位于同一平面内;然后,通过直尺测量所述基准线与待检测弧形钢板的表面之间的最大距离值和最小距离值,其中所述直尺贴平放置在所述检测板的表面,并沿所述基准线的径向伸出至待检测弧形钢板的表面;

第三步,处理和分析数据;将采集到的数据减去支腿的伸出长度,获得处理后的数据,该处理后的数据即为待检测弧形钢板的形变量;其中,如果处理后的数据值为正值,则该待检测弧形板发生相对检查面的凹陷变形;如果处理后的数据值为负值,则该待检测弧形板发生相对检测面的凸起变形;

所述基准线刻画到所述检测板上的步骤为:

步骤S1,在AutoCAD软件中,根据待检测弧形钢板的设计曲率,绘制出一段与所述设计曲率相同的弧线,并在所述弧线上选取A点和B点,所述A点和所述B点之间的弧线段即为所述基准线,所述A点和所述B点即为所述基准线的两个端点;

步骤S2,在AutoCAD软件中,通过直线段连接所述A点和所述B点,形成所述基准线的弦长线;沿A点指向B点的方向,对所述基准线的弦长线进行n等分,每段长度为a;以距离A点的第m个等分点为起始点,作垂直于所述弦长线并止于所述基准线的直线段,测量该直线段的长度为 $b_m$ 值,其中 $1 \leq m \leq n$ ;记录m为不同数值时的坐标点 $(a*m, b_m)$ ;

步骤S3,在所述弧形板上,选取C点和D点,其中所述C点和所述D点之间的直线段长度与所述A点和所述B点之间的直线段长度相等;在所述弧形板表面所在的平面上,以C点为原点建立直角坐标系,其中沿C点到D点的方向为x轴,垂直于x轴的为y轴;在该直角坐标系内确定坐标点 $(a*m, b_m)$ 并刻画在所述弧形板的表面上,其中 $1 \leq m \leq n$ ;通过直线段依次连接相邻的坐标点 $(a*m, b_m)$ ;

具体针对所述安全壳中筒体的形变量检测步骤为:

步骤Y1,根据所述筒体中弧形钢板的曲率值,设置相对应的基准线;其中,所述基准线的弧长小于所述筒体中单个弧形钢板的弧长;

步骤Y2,对所述筒体中的弧形钢板依次进行形变量的数据采集;首先,调整所述检测板上两个支腿的伸出长度,其中两个支腿的伸出长度相等,且支设在待检测弧形钢板的表面上;然后,对所述筒体中每一个弧形钢板的形变量进行数据采集和记录,其中数据采集的位置包括:第一位置,与待检测弧形钢板的环向焊缝平行,且距离环向焊缝3~5mm的位置;第二位置,与待检测弧形钢板的环向焊缝平行,位于待检测弧形钢板高度方向的中间位置;第三位置,连接相邻两个待检测弧形钢板纵向焊缝的两侧水平方向位置;第四位置,所述筒体中上、下两个边缘内侧的水平方向位置;

步骤Y3,将记录的数据值分别减去相对应的所述支腿长度,获得处理后的数据;该处理后的数据即为待检测弧形钢板的形变量;其中,如果处理后的数据值为正值,则该待检测弧

形板发生内凹变形;如果处理后的数据值为负值,则该待检测弧形板发生外凸变形。

2. 根据权利要求1所述的AP1000核电站安全壳形变检测方法,其特征在于,具体针对所述安全壳中底封头或顶封头的形变量检测步骤为:

步骤T1,根据所述底封头或顶封头中不同区域的不同曲率值,设置多个相对应的基准线;其中,每一个基准线对应一个单独的检测板,且每一个基准线的弧长与对应区域的弧长相等;

步骤T2,对位于同一区域的弧形钢板依次进行形变量的数据采集;首先,选用与待检测区域相对应的检测板,调整所述检测板上两个支腿的伸出长度,并通过所述支腿将所述检测板支撑在待检测区域中的一个弧形钢板的表面;其中,两个支腿的伸出长度相等,且支设在同一个待检测弧形钢板的表面上;所述检测板与待检测弧形钢板上的纵向焊缝平行设置,且与该纵向焊缝之间的距离为3~5mm;其次,通过直尺测量所述基准线与所述待检测弧形钢板表面之间的最大距离值和最小距离值;其中,所述直尺贴平放置在所述检测板的表面,并沿所述基准线的径向伸出至待检测弧形钢板的表面;然后,移动该检测板至该待检测区域中其他弧形钢板的表面上,对下一条纵向焊缝附近的弧形钢板表面进行形变量的数据采集,依次完成对该待检测区域中所有纵向焊缝附近弧形钢板的表面形变量的数据采集;

步骤T3,采用与所述步骤T2相同的方法,完成位于所述底封头或顶封头中其他区域的弧形钢板形变量的数据采集,并分别记录所有数据;

步骤T4,将记录的数据值分别减去相对应的所述支腿长度,获得处理后的数据;该处理后的数据即为待检测弧形钢板的形变量;其中,如果处理后的数据值为正值,则该待检测弧形板发生内凹变形;如果处理后的数据值为负值,则该待检测弧形板发生外凸变形。

3. 根据权利要求2所述的AP1000核电站安全壳形变检测方法,其特征在于,对所述安全壳中底封头或顶封头进行形变量的数据采集时,以所述底封头或顶封头中最边缘的一圈水平区域作为形变量数据采集的起始区域,并逐圈进行数据采集直至所述底封头的底部或所述顶封头的顶部;其中对每一个区域的所有纵向焊缝进行顺时针编号,以便于后续复测。

4. 根据权利要求1所述的AP1000核电站安全壳形变检测方法,其特征在于,对所述安全壳中筒体进行形变量的数据采集时,以所述筒体中最上边缘的一圈弧形钢板作为形变量数据采集的起始圈,然后沿所述筒体高度方向由上向下逐圈对弧形钢板进行形变量的数据采集,并且对每一层的数据采集区域进行顺时针编号,以便于后续复测。

5. 根据权利要求2所述的AP1000核电站安全壳形变检测方法,其特征在于,用于检测所述底封头或顶封头表面形变量的检测板中弧形板的弧长尺寸为固定值,该固定值约为所述底封头或顶封头单边弧线长度的1/5。

6. 根据权利要求5所述的AP1000核电站安全壳形变检测方法,其特征在于,针对所述安全壳中底封头或顶封头的形变量进行基准线的设置时,首先,将第一检测板中弧形板的起始端与所述底封头或顶封头中最边缘的弧形钢板的自由端对齐;然后,将所述底封头或顶封头中最边缘的弧形钢板上的设计弧线刻画在所述弧形板上;如果所述弧形板的弧长小于所述最边缘的弧形钢板上的设计弧线长度,则在第二检测板的弧形板上继续刻画所述最边缘的弧形钢板上的弧线;如果所述弧形板的弧长大于所述最边缘的弧形钢板上的弧线长度,则在第一检测板的弧形板上继续刻画与所述最边缘的弧形钢板相邻的弧形钢板上的弧线,直至将所述底封头或顶封头的整个单边弧线刻画到多个相同尺寸的检测板上。

7. 根据权利要求6所述的AP1000核电站安全壳形变检测方法,其特征在于,在将所述底封头或所述顶封头的整个单边弧线连续刻画到所述检测板上时,在环向焊缝对应的位置预留5mm的间隙或延长5mm的弧线。

## AP1000核电站安全壳形变检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于核电设备检测领域,具体涉及一种AP1000核电站安全壳的形变检测方法。

### 背景技术

[0002] 钢制安全壳是AP1000核电站重要的核级模块,是非能动功能实现的主要途径。并且钢制安全壳作为一种压力容器,包容着反应堆、蒸汽发生器等主工艺系统设备,在事故工况下能有效防止放射性物质外泄。根据国内外对压力容器的设计规范要求,压力容器壳体的局部表面形变将是影响压力容器失稳的重要因素。

[0003] AP1000核电站安全壳主要由底封头、顶封头以及筒体三部分组成,并且每一部分都是由平均厚度约为44毫米的弧形钢板焊接而成。其中,底封头和顶封头是分别由包括五个不同曲率值的四种尺寸的弧形钢板组成,并共计64块弧形钢板;筒体是由同一个曲率值的132块弧形钢板组成。由于焊接工艺水平的差异以及现场环境的影响,在弧形钢板的焊接过程中可能会引起弧形钢板的角变形和线变形,进而引起安全壳的表面形变。因此,在AP1000安全壳完成弧形钢板的拼接后,对其进行表面形变检测显得至关重要。

[0004] 目前,主要是通过全站仪对AP1000安全壳进行形变检测,其方法为:首先借助全站仪对完成施工操作的安全壳的内圆弧或外圆弧进行数据采集;然后将采集的数据传输至计算机设备,并通过软件对采集的数据进行处理和分析,从而获知安全壳的形变情况。然而,在现场进行检测时发现,采用全站仪进行AP1000安全壳的形变检测存在以下问题:1、由于全站仪属于高精度仪器,灵敏度较高,而且安全壳施工现场环境复杂存在不同的施工操作,因此在通过全站仪进行数据的采集过程中,全站仪极易受到外界环境的影响和干扰,而导致采集数据的不准确。2、为了保证全站仪采集到全部数据,因此数据采集过程中需要其他施工操作暂时停止,从而避免在全站仪和安全壳表面之间有遮挡和干涉,这样无形中影响了整体的施工进度,降低了施工效率。3、由于全站仪采集的数据都是点数据,因此为了保证检测的准确性,需要适当增加数据的采集量。目前在对安全壳的底封头和顶封头进行形变检测时,需要采集1500多组数据进行形变量的检测分析,这样又大大增加了前期对数据采集的时间以及后期对数据进行处理和分析的时间。

### 发明内容

[0005] 为了解决目前通过全站仪对AP1000核电站安全壳进行形变检测时,在数据采集的过程中全站仪容易受到干扰影响数据采集的准确性,以及需要提高数据的采集量来保证检测精度而导致检测效率下降的问题,本发明提出了一种全新的AP1000核电站安全壳形变检测方法。该AP1000安全壳形变检测方法包括以下步骤:

[0006] 第一步,设置基准线;根据待测检测弧形钢板的设计曲率,选取适当长度的弧线作为检测弧形钢板的基准线,所述基准线的曲率与待检测弧形钢板的设计曲率相同;其中,所述基准线刻画在检测板上,所述检测板包括弧形板,支腿以及安装座,将所述基准线刻画在

所述弧形板的表面上,所述安装座位于所述弧形板的两个端部,所述支腿与所述安装座活动连接,并沿所述基准线的曲率半径方向可以自由伸缩和固定;

[0007] 第二步,采集数据;首先,通过所述支腿将所述检测板支撑在待检测弧形钢板的表面,其中所述基准线与待检测弧形钢板的设计曲率半径位于同一平面内;然后,通过直尺测量所述基准线与待检测弧形钢板的表面之间的最大距离值和最小距离值,其中所述直尺贴平放置在所述检测板的表面,并沿所述基准线的径向伸出至待检测弧形钢板的表面;

[0008] 第三步,处理和分析数据;将采集到的数据减去支腿的伸出长度,获得处理后的数据,该处理后的数据即为待检测弧形钢板的形变量;其中,如果处理后的数据值为正值,则该待检测弧形板发生相对检查面的凹陷变形;如果处理后的数据值为负值,则该待检测弧形板发生相对检测面的凸起变形。

[0009] 优选的,所述基准线刻画到所述检测板上的步骤为:

[0010] 步骤S1,在AutoCAD软件中,根据待测检测弧形钢板的设计曲率,绘制出一段与所述设计曲率相同的弧线,并在所述弧线上选取A点和B点,所述A点和所述B点之间的弧线段即为所述基准线,所述A点和所述B点即为所述基准线的两个端点;

[0011] 步骤S2,在AutoCAD软件中,通过直线段连接所述A点和所述B点,形成所述基准线的弦长线;沿A点指向B点的方向,对所述基准线的弦长线进行n等分,每段长度为a;以距离A点的第m个等分点为起始点,作垂直于所述弦长线并止于所述基准线的直线段,测量该直线段的长度为 $b_m$ 值,其中 $1 \leq m \leq n$ ;记录m为不同数值时的坐标点 $(a * m, b_m)$ ;

[0012] 步骤S3,在所述弧形板上,选取C点和D点,其中所述C点和所述D点之间的直线段长度与所述A点和所述B点之间的直线段长度相等;在所述弧形板表面所在的平面上,以C点为原点建立直角坐标系,其中沿C点到D点的方向为x轴,垂直于x轴的为y轴;在该直角坐标系内确定坐标点 $(a * m, b_m)$ 并刻画在所述弧形板的表面上,其中 $1 \leq m \leq n$ ;通过直线段依次连接相邻的坐标点 $(a * m, b_m)$ 。

[0013] 优选的,具体针对所述安全壳中底封头或顶封头的形变量检测步骤为:

[0014] 步骤T1,根据所述底封头或顶封头中不同区域的不同曲率值,设置多个相对应的基准线;其中,每一个基准线对应一个单独的检测板,且每一个基准线的弧长与对应区域的弧长相等;

[0015] 步骤T2,对位于同一区域的弧形钢板依次进行形变量的数据采集;首先,选用与待检测区域相对应的检测板,调整所述检测板上两个支腿的伸出长度,并通过所述支腿将所述检测板支撑在待检测区域中的一个弧形钢板的表面;其中,两个支腿的伸出长度相等,且支设在同一个待检测弧形钢板的表面上;所述检测板与待检测弧形钢板上的纵向焊缝平行设置,且与该纵向焊缝之间的距离为3~5mm;其次,通过直尺测量所述基准线与所述待检测弧形钢板表面之间的最大距离值和最小距离值;其中,所述直尺贴平放置在所述检测板的表面,并沿所述基准线的径向伸出至待检测弧形钢板的表面;然后,移动该检测板至该待检测区域中其他弧形钢板的表面上,对下一条纵向焊缝附近的弧形钢板表面进行形变量的数据采集,依次完成对该待检测区域中所用纵向焊缝附近弧形钢板的表面形变量的数据采集;

[0016] 步骤T3,采用与所述步骤T2相同的方法,完成位于所述底封头或顶封头中其他区域的弧形钢板形变量的数据采集,并分别记录所有数据;

[0017] 步骤T4,将记录的数据值分别减去相对应的所述支腿长度,获得处理后的数据;该处理后的数据即为待检测弧形钢板的形变量;其中,如果处理后的数据值为正值,则该待检测弧形板发生内凹变形;如果处理后的数据值为负值,则该待检测弧形板发生外凸变形。

[0018] 进一步优选的,对所述安全壳中底封头或顶封头进行形变量的数据采集时,以所述底封头或顶封头中最边缘的一圈水平区域作为形变量数据采集的起始区域,并逐圈进行数据采集直至所述底封头的底部或所述顶封头的顶部;其中对每一个区域的所有纵向焊缝进行顺时针编号,以便于后续复测。

[0019] 优选的,具体针对所述安全壳中筒体的形变量检测步骤为:

[0020] 步骤Y1,根据所述筒体中弧形钢板的曲率值,设置相对应的基准线;其中,所述基准线的弧长小于所述筒体中单个弧形钢板的弧长;

[0021] 步骤Y2,对所述筒体中的弧形钢板依次进行形变量的数据采集;首先,调整所述检测板上两个支腿的伸出长度,其中两个支腿的伸出长度相等,且支设在待检测弧形钢板的表面上;然后,对所述筒体中每一个弧形钢板的形变量进行数据采集和记录,其中数据采集的位置包括:第一位置,与待检测弧形钢板的环向焊缝平行,且距离环向焊缝3~5mm的位置;第二位置,与待检测弧形钢板的环向焊缝平行,位于待检测弧形钢板高度方向的中间位置;第三位置,连接相邻两个待检测弧形钢板纵向焊缝的两侧水平方向位置;第四位置,所述筒体中上、下两个边缘内侧的水平方向位置;

[0022] 步骤Y3,将记录的数据值分别减去相对应的所述支腿长度,获得处理后的数据;该处理后的数据即为待检测弧形钢板的形变量;其中,如果处理后的数据值为正值,则该待检测弧形板发生内凹变形;如果处理后的数据值为负值,则该待检测弧形板发生外凸变形。

[0023] 进一步优选的,对所述安全壳中筒体进行形变量的数据采集时,以所述筒体中最上边缘的一圈弧形钢板作为形变量数据采集的起始圈,然后沿所述筒体高度方向由上向下逐圈对弧形钢板进行形变量的数据采集,并且对每一层的数据采集区域进行顺时针编号,以便于后续复测。

[0024] 优选的,用于检测所述底封头或顶封头表面形变量的检测板中弧形板的弧长尺寸为固定值,该固定值约为所述底封头或顶封头单边弧线长度的1/5。

[0025] 进一步优选的,针对所述安全壳中底封头或顶封头的形变量进行基准线的设置时,首先,将第一检测板中弧形板的起始端与所述底封头或顶封头中最边缘的弧形钢板的自由端对齐;然后,将所述底封头或顶封头中最边缘的弧形钢板上的设计弧线刻画在所述弧形板上;如果所述弧形板的弧长小于所述最边缘的弧形钢板上的设计弧线长度,则在第二检测板的弧形板上继续刻画所述最边缘的弧形钢板上的弧线;如果所述弧形板的弧长大于所述最边缘的弧形钢板上的弧线长度,则在第一检测板的弧形板上继续刻画与所述最边缘的弧形钢板相邻的弧形钢板上的弧线,直至将所述底封头或顶封头的整个单边弧线刻画到多个相同尺寸的检测板上。

[0026] 进一步优选的,在将所述底封头或所述顶封头的整个单边弧线连续刻画到所述检测板上时,在环向焊缝对应的位置预留5mm的间隙或延长5mm的弧线。

[0027] 采用本发明AP1000核电站安全壳形变检测方法,对AP1000核电站安全壳进行形变检测,具有以下有益效果:

[0028] 1、在本发明中,通过预先设置与安全壳中的弧形钢板的设计曲率相同的基准线,

并将该基准线刻画到检测板上,然后通过检测板上的设计曲率与弧形钢板表面的实际曲率之间直接进行对比检测,从而快速获取安全壳表面形变情况。这样不仅省去了采用全站仪时需要进行仪器架设固定以及现场采集数据后台处理数据的复杂过程,缩短了整个检测用时,提高了检测效率。而且在整个检测过程中,安全壳中其他施工操作无需暂停对全站仪的数据采集进行避让,而是可以同步进行操作,从而保证了安全壳的整个施工进度。

[0029] 2、本发明通过检测板对弧形钢板的表面进行形变检测是一种线与线的直接对比检测,可以一次完成对整个基准线范围内的形变检测。这样通过在检测区域内进行无间断的连续性检测,提高了检测结果的准确性和精度;而且减少了数据的采集量,每个检测板中只需要记录最大距离值和最小距离值即可,大约只有全站仪点数据采集量的十分之一,这样大大降低了后期对数据的处理量。这样,本发明的检测方法可以提前应用于施工过程中,施工人员可以边施工边检测,从而可以在早期发现形变问题并及时处理。

[0030] 3、本发明根据AP1000核电站安全壳中底封头、顶封头和筒体的整体结构不同以及各自结构中单个弧形钢板的结构差异,对底封头和顶封头中纵向焊缝引起的角变形,以及筒体中纵向焊缝和环向焊缝引起角变形和环形焊缝引起的线变形分别进行了有针对性的不同区域数据采集,从而提高了数据采集的有效性,降低了数据的采集量,达到提高检测效率的目的。

## 附图说明

[0031] 图1为AP1000核电站安全壳中底封头的外形结构示意图;

[0032] 图2为本发明中检测板的结构示意图;

[0033] 图3为在AutoCAD软件中,对图1中弧线段H1进行划分的示意图;

[0034] 图4为将图3中弧线段L1刻画到检测板上的示意图;

[0035] 图5为本发明中对AP1000核电站安全壳中底封头的内表面进行形变量数据采集时,沿图1中P方向观察检测板的位置分布示意图;

[0036] 图6为图5中检测板与底封头中一号弧形钢板之间的位置示意图;

[0037] 图7为本发明的方法对AP1000核电站安全壳中筒体的内表面进行形变量数据采集时的俯视图;

[0038] 图8为图7中F方向的局部放大示意图。

## 具体实施方式

[0039] 下面结合附图对本发明中的技术方案进行详细介绍。

[0040] 结合图1所示,采用本发明的形变检测方法,对AP1000核电站安全壳中的底封头1进行表面形变检测。其中,在AP1000中,沿底封头1边缘至底封头1低部的方向,底封头1的整个单边弧线依次包括的五个弧线段分别为:弧线段H1,弧长约为3.65米,曲率半径约为6.95米;弧线段H2,弧长约为5.88米,曲率半径约为12.13米;弧线段H3,弧长约为8.58米,曲率半径约为23.90米;弧线段H4,弧长约为3.44米,曲率半径约为31.90米;弧线段H5,弧长约为3.45米,曲率半径约为34.05米。并且,弧线段H1和弧线段H2同时位于一号弧形钢板11上。

[0041] 接下来,以检测底封头1中一号弧形钢板11上的弧线段H1所对应区域的表面形变量为例,对本发明的方案进行具体介绍,具体方法为:



[0042] 第一步,设置基准线。结合图2所示,根据一号弧形钢板11中弧线段H1的弧长尺寸和曲率半径尺寸,在检测板2上设置相应的基准线。其中,检测板2上的基准线分为用于检测底封头1内表面的基准线J1和用于检测底封头1外表面的基准线J1'。在本发明中,根据底封头1拼接时的摆放状态,采用基准线J1对底封头1的内表面进行表面形变量的检测。

[0043] 检测板2包括弧形板21、支腿22以及安装座23。基准线J1和J1'位于弧形板21上。安装座23位于弧形板21的两个端部,并通过螺栓固定连接。支腿22与安装座23活动连接,并沿基准线J1和J1'的曲率半径方向可以自由伸缩和固定。其中,在本发明中,支腿22伸出的长度为支腿22伸出端和基准线之间的距离,并且支腿22与安装座23之间通过螺纹连接,从而灵活调整支腿22的伸出长度。

[0044] 结合图2、图3和图4所示,根据弧线段H1设置基准线J1和J1'的具体步骤为:

[0045] 步骤S1,在AutoCAD软件中,绘制一条与弧线段H1相同弧长和相同曲率半径的弧线段L1,其中弧线段L1的两个端点分别设置为A点和B点。

[0046] 步骤S2,在AutoCAD软件中,首先,通过一条直线段连接A点和B点,形成弧线段L1的对应弦长L2。接着,沿A点指向B点的方向,将弦长L2进行n等分,每一段的长度为a。然后,以距离A点的第m个等分点为起始点,作垂直于弦长L2并止于弧线段L1的直线段L3,测量相应直线段L3的长度值为 $b_m$ ,其中m依次选取1~n之间的整数值;最后,记录m为不同数值时对应的二维坐标点 $(a*m, b_m)$ 。其中,在本发明中,弧线段L1对应的弦长L2的长度约为3.60米,这样将弦长L2进行20等分,n值为20,a值为0.18米, $1 \leq m \leq 20$ 。

[0047] 步骤S3,在弧形板21上,首先,选取C点和D点,其中C点和D点之间的直线段长度与弦长L2的长度相等。接着,在弧形板21上表面所在平面,以C点为原点建立二维直角坐标系,其中沿C点到D点的方向为x轴,垂直于x轴的为y轴。在该直角坐标系内确定坐标点 $(a*m, b_m)$ ,并刻画在弧形板21的上表面,其中 $1 \leq m \leq 20$ 。然后,通过直线段依次连接相邻的坐标点 $(a*m, b_m)$ ,形成基准线J1'。最后,在弧形板21的上表面,沿y轴方向对基准线J1'进行距离d的平移,形成基准线J1,距离d的尺寸小于弧形板21的宽度。

[0048] 其中,在进行基准线J1和J1'的设置时,首先将弧形板21上的支腿22和安装座23进行拆除,保证弧形板21的上表面没有凸台障碍,从而避免对刻画基准线J1和J1'产生干涉影响。

[0049] 第二步,通过检测板2对底封头1中一号弧形钢板11上弧线段H1所对应的区域进行表面形变量的数据采集。其中,通过在施工现场进行大量的测试以及对大量数据的分析发现,底封头1的表面形变主要是进行纵向焊接时所引起弧形钢板的角变形。因此对底封头1的表面进行形变量的数据采集时,主要对纵向焊缝两侧发生角变形最大的区域进行针对性的数据采集,从而大大提高检测效率。

[0050] 结合图5和图6所示,首先,将检测板2上两个支腿22调整为相同的伸出长度,并通过支腿22将检测板2支设在一号弧形钢板11的表面上,与弧线段H1的位置相对应。其中,检测板2与一号弧形钢板11旁的纵向焊缝12平行设置,并且检测板2与纵向焊缝12距离3~5mm,保证支腿22避开焊缝,并与一号弧形钢板11的表面稳定接触,从而保证数据采集的精准性。然后,将直尺3贴平放置在弧形板21的表面上,沿基准线J1的径向伸出至一号弧形钢板11的表面,然后沿基准线J1的整个长度方向平移,寻找、测量和记录一号弧形钢板11的表面与基准线J1之间的最大距离值和最小距离值。

[0051] 在本发明中,通过将检测板2中的两个支腿22设定为相同长度,且通过支腿22将检测板2支设在一号弧形钢板11的表面上,使检测板2与一号弧形钢板11之间留有间隙。这样既可以保证弧形板21上基准线J1与弧形钢板11的理论弧线保持平行,还可以避免弧形钢板11表面上的杂质与弧形板21接触,而使基准线J1发生偏移而对数据的采集产生干扰,从而保证对弧形钢板11表面形变量数据采集的准确性。

[0052] 此外,由于一般情况下焊缝引起两侧弧形板的形变量是相同的。因此,在对由纵向焊缝12引起的表面形变量进行检测时,可以只对纵向焊缝12的单侧区域进行数据采集。这样可以提高数据采集的速度,调高操作效率。并且在进行数据采集前,对弧线段H1所在区域内的所有纵向焊缝进行顺时针编号,并沿该编号顺序依次进行数据的采集和记录,以便于后续需要复测时可以实现快速的定位。

[0053] 第三步,对采集到的数据进行处理。将采集到的数据减去支腿22的伸出长度,获得处理后的数据,该处理后的数据即为一号弧形钢板11中弧线段H1对应区域的形变量;其中,如果处理后的数据值为正值,则该数据对应的位置发生相对底封头1内表面的凹陷变形;如果处理后的数据值为负值,则该数据对应的位置发生相对底封头1内表面的凸起变形。此外,如果记录的数据存在较大的偏差,可以通过预先做好的编号进行复测,进行数据的再次采集和处理。

[0054] 此时,便完成了采用本发明的检测方法对底封头1中一号弧形钢板11上弧线段H1对应区域进行的表面形变检测。接下来,采用本发明的上述检测方法对底封头1中其他弧线段所对应的区域进行表面形变检测,直至完成对底封头1整个表面的形变检测。此外,由于AP1000核电站安全壳中顶封头和底封头的结构相同,采用检测底封头形变的方法即可以完成对顶封头的形变检测,此处不再重复介绍。

[0055] 结合图7和图8所示,采用本发明的形变检测方法对AP1000核电站安全壳中的筒体4进行表面形变检测的方法为:

[0056] 第一步,采用与设置AP1000核电站安全壳中底封头1基准线相同的方法,对AP1000核电站安全壳中的筒体4进行基准线的设置。只是在AP1000核电站的安全壳中,筒体4是由一种曲率值的弧形钢板41拼接而成,因此只需要制作一种尺寸的检测板2'即可。其中,根据现场检测的需求,可以将检测板2'上基准线的弧长设置为弧形钢板41弧长的一半。这样在对筒体4中位于同一水平高度的弧形钢板41进行表面形变量检测时,通过将检测板2'中基准线的首尾相接设置,可以对弧形钢板41的一整圈进行表面形变检测。

[0057] 第二步,通过检测板2'对筒体4进行表面形变量的数据采集。由于筒体4是由位于不同高度的四圈弧形钢板41组成,因此通过检测板2'从上到下依次对筒体4中每一圈的弧形钢板41进行表面形变量的数据采集。其中,对筒体4的数据采集位置包括:第一位置Q1,与环向焊缝42平行且距离环向焊缝42距离3~5mm的位置,用于采集由环向焊缝42而引起两侧弧形钢板41的最大角变形量;第二位置Q2,与环向焊缝42平行,位于弧形钢板41高度方向的中间位置,用于采集由于弧形钢板41两端纵向焊缝43而引起弧形钢板41在水平方向的最大线变形量;第三位置Q3,纵向焊缝43的两侧水平位置,用于采集由纵向焊缝43而引起两侧相邻弧形钢板41的最大角变形量;第四位置Q4,筒体4中最上端和最下端两圈弧形钢板41自由端的水平位置,即筒体4中分别与底封头和顶封头进行焊接的两圈弧形钢板41的自由端沿圆周方向的水平位置,用于采集弧形钢板41自由端的形变量。

[0058] 由于环向焊缝42引起两侧弧形钢板41的角变形量相同,因此说在对筒体4中第一位置区域的形变量进行数据采集时,可以只对环向焊缝42的单侧区域进行数据采集即可。并且对每一圈的弧形钢板41进行表面形变量的数据采集前,沿顺时针方向对所有弧形钢板41进行编号,并按编号的顺序依次进行数据的采集和记录,以便于后续复测时可以快速定位。

[0059] 第三步,对采集到的所有数据进行处理。将采集到的数据减去支腿22的伸出长度,获得处理后的数据。该处理后的数据即为对应检测位置弧形钢板41的形变量;其中,如果处理后的数据值为正值,则该数据对应的位置发生相对筒体4内表面内表面的凹陷变形;如果处理后的数据值为负值,则该数据对应的位置发生相对筒体4内表面的凸起变形。

[0060] 总体来说,采用本发明对AP1000核电站安全壳的封头和筒体进行表面形变量的检查具体步骤相似,主要区别在于:在本发明中,根据封头和筒体的结构不同以及由于组成封头和筒体的弧形钢板不同,而在拼接过程中发生的形变不同,因此对封头和筒体中发生形变最大的位置区域进行了针对性的数据采集,从而在短时间内快速检测出安全壳表面的最大形变量,提高检测效率,缩短施工周期。

[0061] 此外,在针对AP1000核电站安全壳的底封头1中不同弧线段进行基准线的设置时,可以将检测板2中弧形板21的弧长尺寸设定为统一的固定值,且该固定值约为整个底封头1弧线长度的1/5,即弧形板21的弧线长约为5米。这样通过统一检测板2的尺寸,不仅便于弧形板21的加工;而且在进行数据采集时,通过采用铝合金材质加工的5米长检测板,可以很方便的实现三人一组的快速操作,其中两个人进行检测板2的固定,一个人员进行数据的采集和记录,从而提高对底封头1表面形变量检测的效率。

[0062] 结合图1和图2所示,采用五件弧长为5米的弧形板21对底封头1的基准线进行设置时,沿底封头1的上边缘到底部的方向,依次进行弧线段H1、弧线段H2、弧线段H3、弧线段H4以及弧线段H5的刻画。首先,将第一件弧形板的起始端与底封头1中一号弧形钢板11的自由端对齐;然后,将一号弧形钢板11上的弧线段H1刻画在第一件弧形板的表面上。由于弧线段H1的长度约为3.65米,因此在完成弧线段H1的刻画后,第一件弧形板上还剩余约1.35米长的区域。接下来,在第一件弧形板中剩余的区域,继续刻画弧线段H2。由于弧线段H2的长度约为5.88米,这样将弧线段H2中前1.35米长的弧线刻画到第一件弧形板上,后4.53米长的弧线刻画到第二件弧形板的前半段中。并且第二件弧形板的起始端与第一件弧形板的末端对齐。依次类推,最终将底封头1上五段不同尺寸的弧线段,通过首尾相接的方法刻画到五件尺寸相同的检测板上。其中,在跨越两块弧形钢板之间的环向焊缝时,在检测板21上与环向焊缝相对应的位置,对基准线进行预留5mm间隙或延长5mm弧线的操作,用于跳过或补偿环向焊缝所占用的位置。这样可以保证采用五件相同检测板完成底封头1表面形变量的检测时,同样可以完全覆盖五段不同曲率的弧线段。其中,预留的间隙尺寸或延长弧线的尺寸可以根据现场焊缝的宽度进行调整。

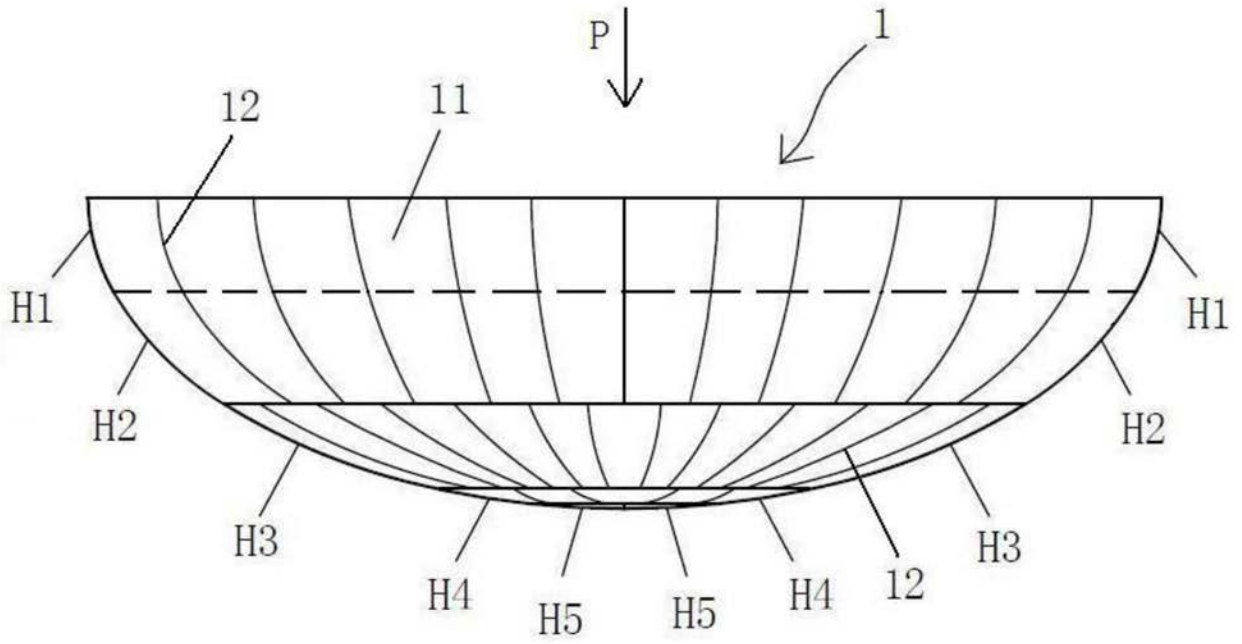


图1

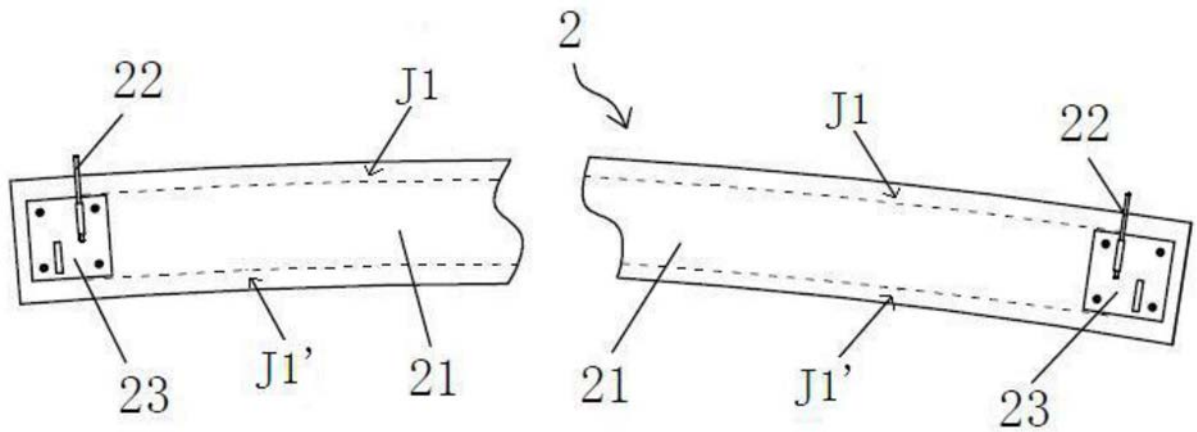


图2

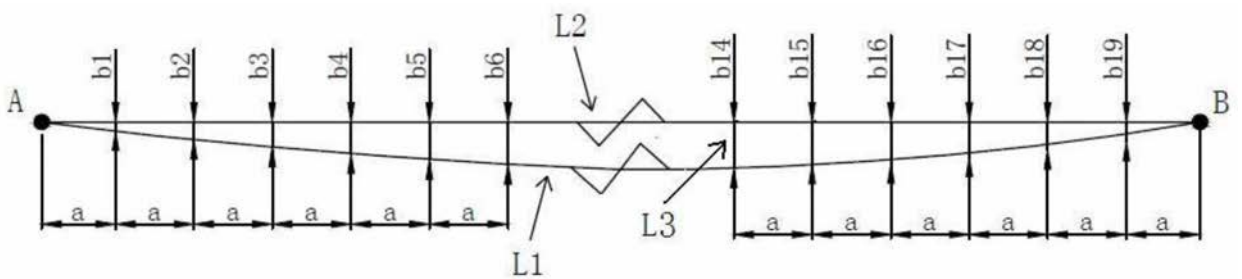


图3

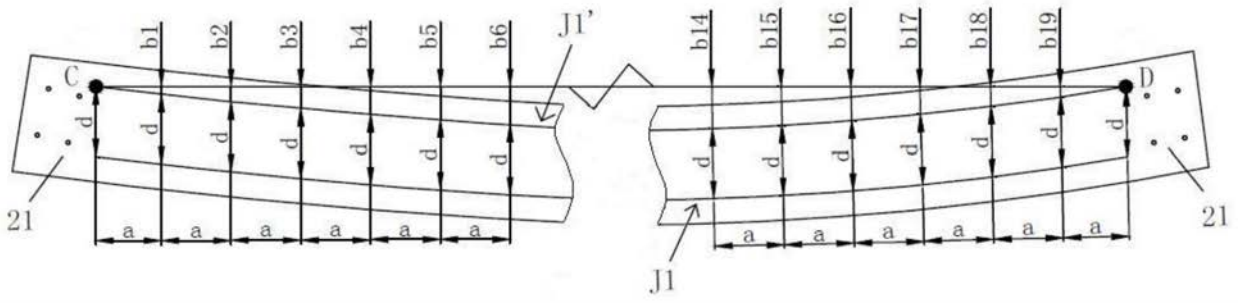


图4

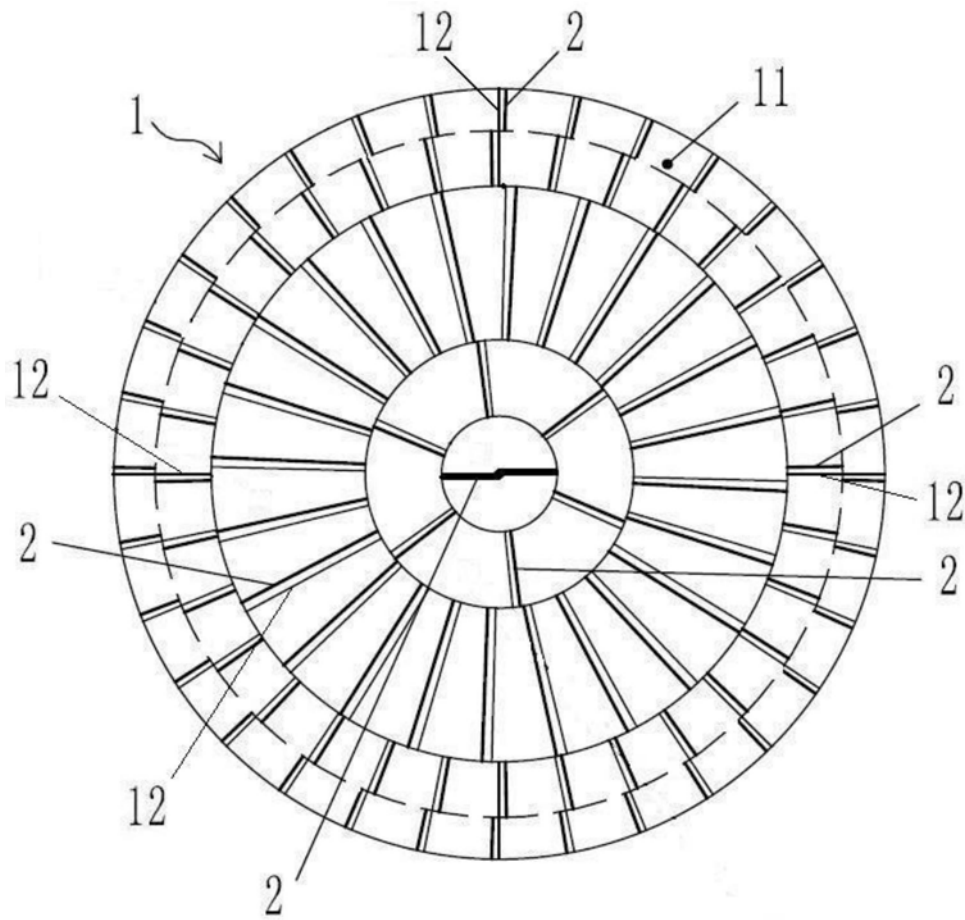


图5

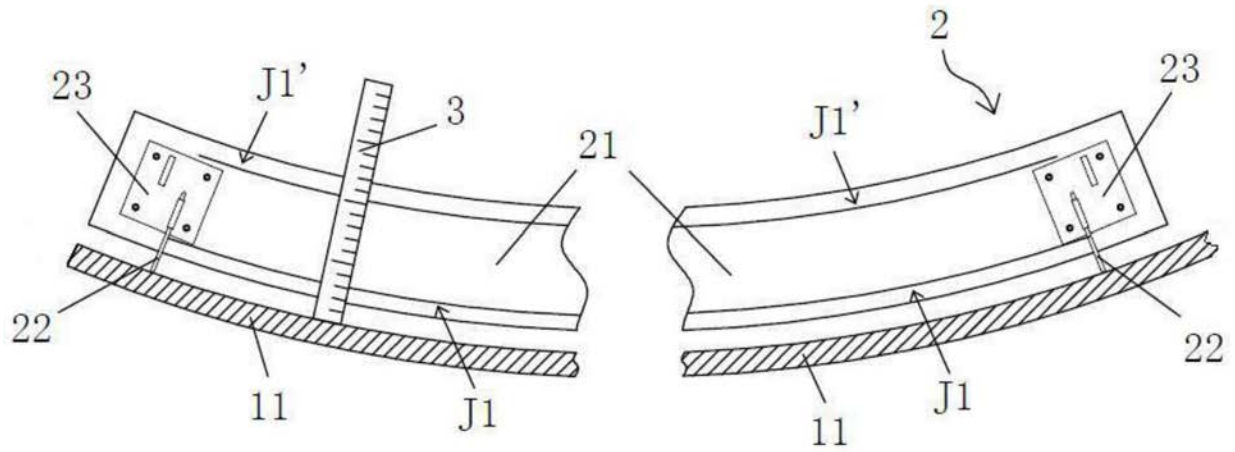


图6

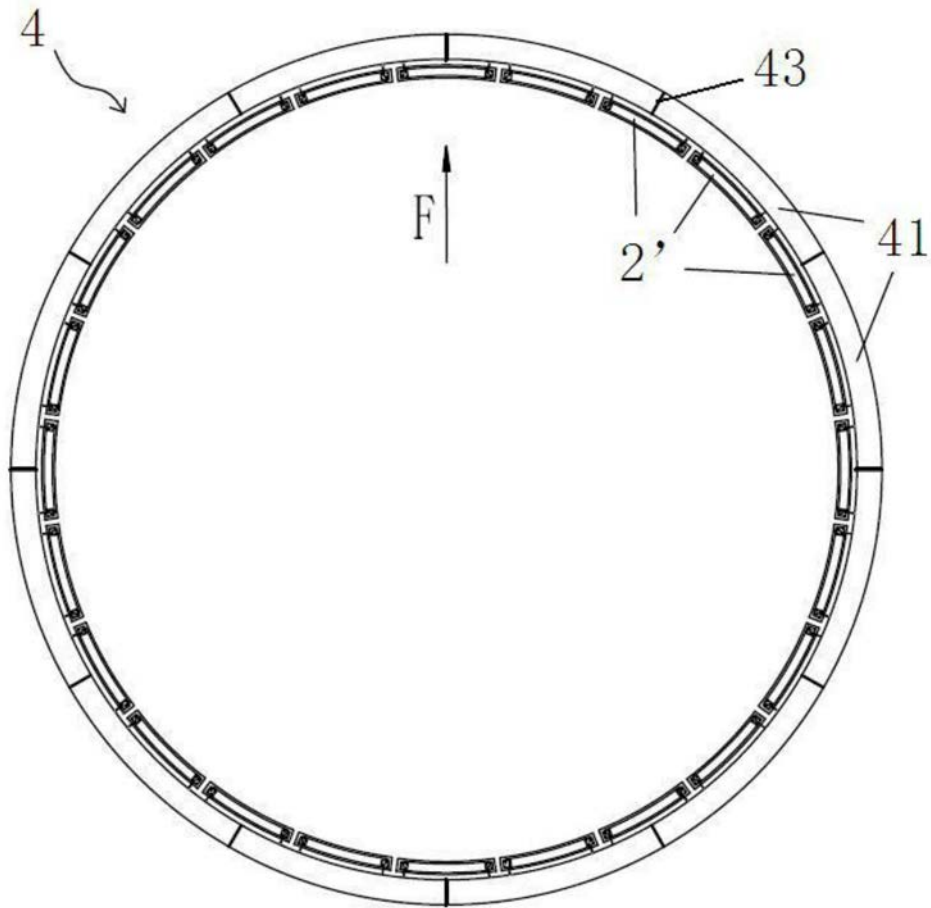


图7

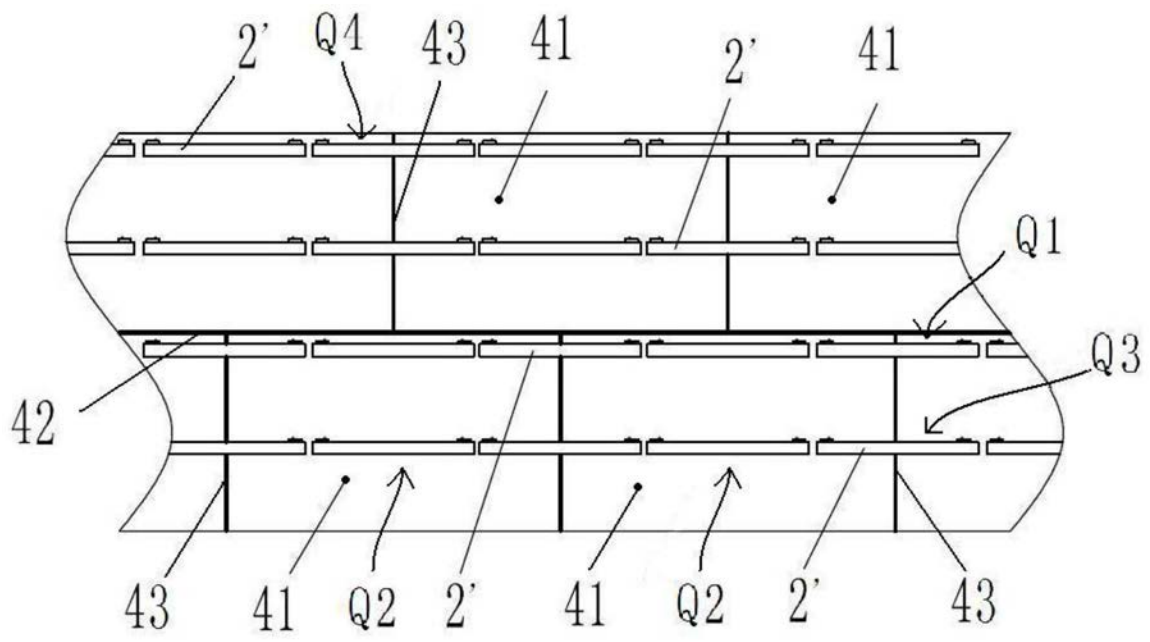


图8