



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102866241 B

(45) 授权公告日 2015. 04. 15

(21) 申请号 201210376485. 5

CN 102402892 A, 2012. 04. 04, 全文.

(22) 申请日 2012. 09. 29

审查员 孙博思

(73) 专利权人 重庆大学

地址 400045 重庆市沙坪坝区沙正街 174 号

(72) 发明人 尹光志 许江 蒋长宝 王维忠

黄滚 彭守建 姚俊伟 李生舟

刘东 李文璞 李铭辉

(74) 专利代理机构 重庆市前沿专利事务所(普

通合伙) 50211

代理人 张小晓

(51) Int. Cl.

G01N 33/24(2006. 01)

G01N 1/28(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 201382876 Y, 2010. 01. 13, 全文.

CN 201434865 Y, 2010. 03. 31, 全文.

CN 201859095 U, 2011. 06. 08, 全文.

JP 特开 2004-177358 A, 2004. 06. 24, 全文.

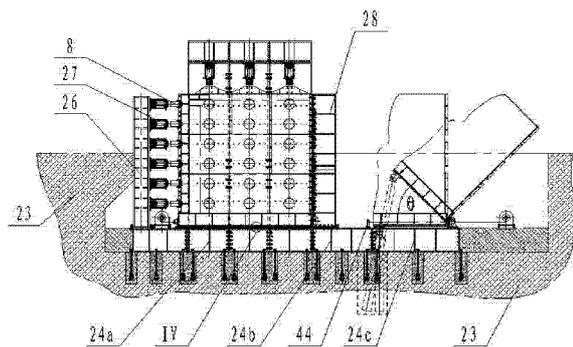
权利要求书2页 说明书9页 附图13页

(54) 发明名称

三向加载大型三维相似模拟试验方法

(57) 摘要

本发明公开了一种三维相似模拟试验方法, 包括以下步骤:A、制备试件 :B、加载 :C、开挖并观测。本发明可模拟井下采掘过程中不同顶板活动阶段时的煤层应力的复杂分布现象, 制作大倾角矿层试件更方便、效果更好, 可以保证在整个开采过程中, 岩体都存于三向应力条件下, 可以研究更多工况下的地下空间开挖, 降低了整个系统地表上的高度, 并且造价更低, 系统更稳定。



1. 一种三向加载大型三维相似模拟试验方法,其特征是:包括以下步骤:

A、制备试件:

(A1) 使试件箱倾斜,试件箱的倾角等于矿层倾角;

(A2) 对岩层压力分布规律进行数值模拟,根据模拟结果,得出预制试件应力测点布置压力传感器的位置;

(A3) 按照几何相似比、容重相似比、应力相似比以及强度相似比计算出模型岩石的容重、抗压强度、开挖速度,通过河砂、石膏、碳酸钙以不同的比例与适量的水搅拌均匀,制作成多个标准试件并在自然状态下风干,对标准试件的单轴抗压强度进行测定,根据强度相似比计算出的抗压强度与不同配比的一系列单轴抗压强度对比,得出各层相似材料的最佳配比;

(A4) 根据各分层的最佳配比和容重,计算出各分层材料所需质量,称出相应配料的质量,将各种配料搅拌均匀,再加入适量水,立即进行搅拌,防止凝结;搅拌均匀后,将配料送入试件箱内,并夯实;在模拟矿层分层之间的表面上均匀地铺一层云母粉作为分层弱面,用壁刀将表面抹平,同时在各分层的指定位置插上测标;依照次序将各分层装好,直到所有岩层都装到试件箱内;

同时,根据步骤(A2)的结果在试件内布置传感器,并在试件内设置油囊模拟煤层,通过充油量控制模拟煤层的厚度,通过泄油模拟煤层开挖;

(A5) 待相似材料干燥后,使试件箱恢复到水平位置;

B、加载:

(B1) 以上下方向为Z向,左右方向为X向,前后方向为Y向,采用力控制方式对X向水平加载压力、Y向水平加载压力、Z向垂直加载压力进行加载,加载顺序为:

a) 同时加载X向和Y向N秒,然后加载Z向N秒,N为自然数;

b) 重复步骤a);

c) 同时加载X向和Y向2N秒,然后加载Z向2N秒;

d) 重复步骤c)至三向加载压力达到预定值,该预定值为工况现场实测的地应力;

步骤a)~d)中,加载速率恒定;

(B2) 保持载荷;

(B3) 当Z向垂直加载压力 $\geq 5\text{kN}$ ,Z向垂直加载压力瞬时下降力 $\geq 0.3\text{kN}$ 时,三向加载切换为位移控制方式;

C、开挖并观测:

煤层的开挖通过微型真空泵抽取油囊中的油;通过数据采集系统采集岩层在开采过程中由于地应力作用下岩层不同层面的岩层应力、各测点的下沉量、覆岩的垮落高度、破断及离层。

2. 如权利要求1所述的三向加载大型三维相似模拟试验方法,其特征是:步骤(B1)中,力控制方式的力加载速度范围为 $0.01\text{kN/s}$ ~ $100\text{kN/s}$ 。

3. 如权利要求2所述的三向加载大型三维相似模拟试验方法,其特征是:步骤(B1)中,力控制方式的力加载速度范围为 $0.05\text{kN/s}$ 。

4. 如权利要求1所述的三向加载大型三维相似模拟试验方法,其特征是:步骤(B3)中,位移控制方式的加载速度范围为 $0.1\text{mm/min}$ ~ $100\text{mm/min}$ 。

5. 如权利要求 4 所述的三向加载大型三维相似模拟试验方法,其特征是:步骤 (B3) 中,位移控制方式的加载速度范围为 0.1mm/min。

6. 如权利要求 1 至 5 任一所述的三向加载大型三维相似模拟试验方法,其特征是:  
步骤 (A5) 之后,对岩层的岩层变形规律进行数值模拟,对模拟结果中的裂隙场进行裂隙提取,得到裂隙分布,并根据提取的裂隙场在试件上布置钻孔位置进行钻孔,并在钻孔内放置电视成像仪;

步骤 C 中,通过钻孔电视成像仪观测裂隙的分布范围、单位厚度岩层内离层裂隙的高度、单位厚度的裂隙条数。

7. 如权利要求 1 至 5 任一所述的三向加载大型三维相似模拟试验方法,其特征是:步骤 C 中,抽油速度范围为 0.01L/min-0.5L/min。

8. 如权利要求 7 所述的三向加载大型三维相似模拟试验方法,其特征是:步骤 C 中,抽油速度范围为 0.025L/min-0.03L/min。

## 三向加载大型三维相似模拟试验方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于研究矿体岩体应力分布的相似模拟试验方法。

### 背景技术

[0002] 相似材料模拟试验是以相似理论、因次分析作为依据的实验室研究方法,广泛应用于水利、采矿、地质、铁路等部门。模拟试验的最大特点是可以人为地控制和改变试验条件,从而确定单因素或多因素对矿山压力影响的规律,试验效果清楚直观,而且试验周期短、见效快,在采矿科学的研究中发挥了巨大的作用。即使在岩石力学的数值模拟计算科学迅速发展的今天,相似材料模拟试验仍是采矿科学研究中不可替代的研究手段,它和日益成熟的数值计算模拟相辅相成,为人类认识和克服采矿科学中的难题发挥着重要的作用。

[0003] 在矿体没有开采之前,岩体处于平衡状态。当矿体开采后,形成了地下空间,破坏了岩体的原始应力场,引起岩体应力重新分布,并一直延续到岩体内形成新的平衡为止。在应力重新分布过程中,使围岩产生变形、移动、破坏,从而对工作面、巷道及围岩产生压力。在矿山压力的作用下会产生的一系列力学现象——矿压显现,如顶板下沉、底板鼓起、煤壁片帮、支架变形、岩层移动、煤的压出等。开采后的上覆岩层可分为冒落带、断裂带和弯曲下沉带。

[0004] 现有技术中的三维相似模拟试验系统,虽在一定程度上加深了地下开挖工程研究的进展,但存在以下不足:1) 模型尺寸较小,做模拟试验时的几何比将会很小,在实践中发现做模型试验几何比过小将不能很好的反应开挖带来的影响;2) 模型尺寸都是固定的不能调整,这会导致有时几何比太小,有时会导致空间太大浪费材料;3) 加力方向单一,难以实现三向加载;4) 岩体变形监测大都采用应变片,岩体变形数据采集不够精确;5) 矿层开挖必须将试件箱打开后人工手动开挖,这将引起卸荷效应,与实际工况不符;6) 装置上架过程基本上靠手工搬运,不方便操作;7) 所应用的应力加载系统多为手动,因此,应力加载过程不能保持匀速,且其精度不能保证,此外,诸如循环荷载等加载形式不能实现。

[0005] 因此本领域技术人员致力于开发一种模型尺寸可变、操作简单并且试验准确可靠的三向加载大型三维相似模拟试验系统,以及一种试验制样方法,一种三维相似模拟试验载荷模拟方法,以及一种三向加载大型三维相似模拟试验开采层模拟方法。

### 发明内容

[0006] 有鉴于现有技术的上述缺陷,本发明所要解决的技术问题是提供一种模型尺寸可变、操作简单并且试验准确可靠的三向加载大型三维相似模拟试验系统,以及一种试验制样方法,一种三维相似模拟试验载荷模拟方法,以及一种三向加载大型三维相似模拟试验开采层模拟方法。

[0007] 为实现上述第一层面的发明目的,本发明提供了一种三向加载大型三维相似模拟试验系统,包括试件箱和反力系统,所述试件箱包括底座;所述底座的边缘设置有构成正方形的左螺孔带、右螺孔带、前螺孔带和后螺孔带;所述底座在所述左螺孔带处通过螺栓固定

连接有左侧板,在所述前螺孔带处通过螺栓固定连接有前侧板;

[0008] 所述右螺孔带与所述左螺孔带之间设置有至少一个第一中间螺孔带;所述后螺孔带与所述前螺孔带之间设置有与所述第一中间螺孔带数量对应、垂直相接的第二中间螺孔带;相接的第一中间螺孔带和第二中间螺孔带与所述左螺孔带和右螺孔带构成正方形;所述右螺孔带或任一所述第一中间螺孔带上通过螺栓固定连接有右侧板;与右侧板相接的所述后螺孔带或任一所述第二中间螺孔带上通过螺栓固定连接有后侧板;所述后侧板上设置有传感器接线孔;所述后侧板的外侧间隔固定有第一垫板;

[0009] 所述左侧板的内侧通过螺栓固定连接有左压座;所述左侧板上按均分区域设置有左压套;所述左压座上固定有数量和位置与所述左压套相对应的左压杆;所述左压杆穿出所述左压套;

[0010] 所述前侧板的内侧通过螺栓固定连接有前压座;所述前侧板上按均分区域设置有前压套;所述前压座上固定有数量和位置与所述前压套相对应的前压杆;所述前压杆穿出所述前压套;

[0011] 所述左压座与所述前压座间隔设置;

[0012] 所述反力系统包括位于地面下的混凝土反力池;所述反力池的底部设置有与所述反力池固定连接的第一反力座;所述第一反力座的右侧设置有第二反力座;所述第二反力座与所述反力池的池底固定,并同时与所述第一反力座通过螺栓固定连接;

[0013] 所述反力池在所述试件箱的左侧设置有与所述第一反力座固定连接,并且紧靠混凝土墙面的侧承力架;所述侧承力架上固定有数量和位置与所述左压杆相对应的左液压缸;所述反力池在所述试件箱的右侧设置有与所述第二反力座螺栓连接的反力架;所述反力架可与所述试件箱通过螺栓固定连接;

[0014] 所述第一反力座的前部固定有前立柱;所述前立柱的一端面紧靠所述反力池的混凝土墙面,另一端面固定有数量和位置与所述前压杆相对应的前液压缸;

[0015] 所述第一反力座的后部固定有后立柱;所述后立柱的一端面紧靠所述反力池的混凝土墙面,另一端面固定有数量和位置与所述第一垫板相对应、并可紧贴所述第一垫板的第二垫板;

[0016] 所述前立柱和后立柱通过上方固定的横梁连接为一体结构;所述横梁上均布设置有与所述试件箱相对的上液压缸;

[0017] 所述模拟试验系统还包括压座;进行相似模拟试验时,所述压座将所述上液压缸的加载力传递至所述试件箱内的相似材料上。

[0018] 为防止加载过程中三向力发生干涉,在高度方向上,所述前压座与所述左压座的转角处放置有与所述前压座和左压座接触的第一防干涉座;所述左压座的内侧放置有第二防干涉座;所述第一防干涉座和第二防干涉座间隔设置。

[0019] 较佳的,所述第一防干涉座远离所述左压座一端为楔形结构;所述第一防干涉座的顶端为楔形结构;所述第二防干涉板靠近所述前压座一端为楔形结构。

[0020] 为便于移动试件箱,所述第一反力座上设置有滚动导轨;所述试件箱可放置在所述滚动导轨上;所述底座的左右两侧均设置有拉座;在所述试件箱的左右两侧设置有与所述拉座相对应的牵引机构。

[0021] 较佳的,所述底座的左右两侧均间隔设置有两个拉座;所述牵引机构包括减速机;

所述减速机通过第一联轴器与第一卷筒的第一端连接；所述第一卷筒的第二端通过第二联轴器、传动轴和第三联轴器与第二卷筒联接；所述第一卷筒和第二卷筒上缠绕有可与所述拉座连接的钢丝绳。

[0022] 为简化操作，所述第二反力座的前侧设置有可固定所述第一卷筒的钢丝绳的第一钢丝绳固定座；所述第二反力座的后侧设置有可固定所述第二卷筒的钢丝绳的第二钢丝绳固定座。

[0023] 较佳的，所述压座包括上板和底板，所述上板和底板通过立板连接为一体结构；所述立板上设置有筋板。

[0024] 为便于制作具有倾角矿层的试件，所述第二反力座的右侧设置有第三反力座；所述第三反力座与所述反力池的池底固定，并同时与所述第二反力座通过螺栓固定连接；

[0025] 所述第三反力座的右端间隔设置有第一铰接座和第二铰接座；所述底座的右端设置可分别与所述第一铰接座和第二铰接座铰接的第三铰接座和第四铰接座；

[0026] 所述反力池在所述第三反力座靠近所述第二反力座一侧的前后两端分别设置有油缸支座；所述油缸支座上铰接有油缸；所述油缸的活塞杆端部铰接有推力支座；所述推力支座可与所述试件箱的底座连接。

[0027] 为便于模拟开挖煤层，所述前侧板和后侧板上对应设置有至少一列油囊安装孔。

[0028] 为实现本发明第二层面的发明目的，本发明提供了一种三向加载大型三维相似模拟试验制样方法，包括以下步骤：

[0029] (1) 使试件箱倾斜，试件箱的倾角等于矿层倾角；

[0030] (2) 对岩层压力分布规律进行数值模拟，根据模拟结果，得出预制试件应力测点布置压力传感器的位置；

[0031] (3) 按照几何相似比、容重相似比、应力相似比以及强度相似比计算出模型岩石的容重、抗压强度、开挖速度等力学性质参数，通过河砂、石膏、碳酸钙以不同的比例与适量的水搅拌均匀，制作成多个标准试件并在自然状态下风干，对标准试件的单轴抗压强度进行测定，根据强度相似比计算出的抗压强度与不同配比的一系列单轴抗压强度对比，得出各层相似材料的最佳配比；

[0032] (4) 根据各分层的最佳配比和容重，计算出各分层材料所需质量，称出相应配料的质量，将各种配料搅拌均匀，再加入适量水，立即进行搅拌，防止凝结；搅拌均匀后，将配料送入试件箱内，并夯实；在模拟矿层分层之间的表面上均匀地铺一层云母粉作为分层弱面，用壁刀将表面抹平，同时在各分层的指定位置插上测标；依照次序将各分层装好，直到所有岩层都装到试件箱内；

[0033] 同时，根据步骤(2)的结果在试件内布置传感器，并在试件内设置油囊模拟煤层，通过充油量控制模拟煤层的厚度，通过泄油模拟煤层开挖；

[0034] (5) 待相似材料干燥后，使试件箱恢复到水平位置。

[0035] 较佳的，为更好的观测岩层的变形，由于 udec 软件特别适合于模拟节理岩石系统或者不连续块体集合体系在静力或动力荷载条件下的响应，因此可利用 udec 软件对岩层的变形规律进行数值模拟，对数值模拟形成的裂隙场进行裂隙提取，得到裂隙分布，并根据提取的裂隙场在试件上布置钻孔位置进行钻孔。

[0036] 为实现本发明第三层面的发明目的，本发明提供了一种三维相似模拟试验载荷模

拟方法,包括以下步骤:

[0037] (1) 以上下方向为 Z 向,左右方向为 X 向,前后方向为 Y 向,采用力控制方式对 X 向水平加载压力、Y 向水平加载压力、Z 向垂直加载压力进行加载,加载顺序为:

[0038] a) 同时加载 X 向和 Y 向 N(N 为自然数)秒,然后加载 Z 向 N 秒;

[0039] b) 重复步骤 a);

[0040] c) 同时加载 X 向和 Y 向 2N 秒,然后加载 Z 向 2N 秒;

[0041] d) 重复步骤 c) 至三向加载压力达到预定值,该预定值为工况现场实测的地应力;

[0042] 步骤 a) ~ d) 中,加载速率恒定;

[0043] (2) 保持载荷;

[0044] (3) 当 Z 向垂直加载压力  $\geq 5\text{kN}$ , Z 向垂直加载压力瞬时下降力  $\geq 0.3\text{kN}$  时,三向加载切换为位移控制方式。

[0045] 较佳的,步骤 (1) 中,力控制方式的力加载速度范围为  $0.01\text{kN/s}$ – $100\text{kN/s}$ ,一般优选为  $0.05\text{kN/s}$ 。

[0046] 步骤 (3) 中,位移控制方式的加载速度范围为  $0.1\text{mm/min}$  ~  $100\text{mm/min}$ ,一般优选为  $0.1\text{mm/min}$ 。

[0047] 为实现本发明第四层面的发明目的,本发明提供了一种三向加载大型三维相似模拟试验开采层模拟方法,包括以下步骤:

[0048] (1) 制作岩层试件,并在试件中设置若干油囊;

[0049] (2) 通过微型真空泵抽取油囊中的油,从而形成开采层。油的抽取速度根据前述开挖速度确定。开采层的开挖通过抽取油囊中的油来实现,开挖速度通过油囊抽油速度来模拟。如某矿一煤层实际开挖速度为  $3.6\text{m/d}$ ,根据几何相似比  $\alpha_1 = 100$ 、时间相似比  $\alpha_t = \sqrt{\alpha_1} = 10$  计算出模型开挖速度为  $0.25\text{mm/min}$ ,由于油囊大小不一样,抽油速度范围为:  $0.01\text{L/min}$ – $0.5\text{L/min}$ 。抽油速度一般为  $0.025\text{L/min}$ – $0.03\text{L/min}$ 。

[0050] 本发明的有益效果是:

[0051] (1) 本发明可真实模拟地应力三向应力状态,当采用模型尺寸  $3000\text{mm} \times 3000\text{mm} \times 3000\text{mm}$  时,垂直方向布置 9 个千斤顶(每个千斤顶加载面积  $1000\text{mm} \times 1000\text{mm}$ ),两个水平方向均布置 18 个千斤顶的成本(每个千斤顶加载面积  $1000\text{mm} \times 500\text{mm}$ ),这样可以通过多组液压千斤顶实现了对垂直应力和两个水平方向上应力的非均布加载,可模拟井下采掘过程中不同顶板活动阶段时的煤层应力的复杂分布现象。

[0052] (2) 本发明试件尺寸可变,可采用一套硬件系统而模拟不同的煤层情况,如  $1000\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 1000\text{mm}$  试件可模拟巷道开挖情况;  $2000\text{mm} \times 2000\text{mm} \times 2000\text{mm}$  试件可模拟西南地区薄煤层情况;  $3000\text{mm} \times 3000\text{mm} \times 3000\text{mm}$  试件可模拟北方厚煤层情况。

[0053] (3) 本发明可调整试件箱的角度,因此在制作试件时,可使试件箱调整到矿层的倾角水平堆料,材料晾干后再将试验台放回水平状态,较以往相似模拟试验台在水平条件下堆大倾角矿层更方便、效果更好。

[0054] (4) 本发明可采用油囊模拟开采层,抽出油囊中空气模拟开采矿层开采。这样可以保证在整个开采过程中,岩体都存于三向应力条件下。

[0055] (5) 本发明载荷控制方式为力、位移全闭环控制,力、位移自编程控制模式,这相较

以往的相似模拟试验装置加载方式更灵活,更智能,更多样,可以研究更多工况下的地下空间开挖。

[0056] (6) 本试验系统有一半是在地下,从而降低了整个系统地表上的高度,并利用地下的反力墙,降低造价,也使系统更加稳定。

[0057] (7) 本发明试件输送采用皮带送料机传动,省时省力。

### 附图说明

[0058] 图 1 是本发明一具体实施方式的结构示意图。

[0059] 图 2 是图 1 中 IV 处的局部放大图。

[0060] 图 3 是图 1 的俯视结构示意图。

[0061] 图 4 是图 3 的 E-E 剖视放大图。

[0062] 图 5 是图 4 的左视结构示意图。

[0063] 图 6 是图 1 的左视结构示意图。

[0064] 图 7 是图 6 中 III 处的局部放大图。

[0065] 图 8 是本发明一具体实施方式中试件箱的结构示意图。

[0066] 图 9 是图 8 的左视结构示意图。

[0067] 图 10 是图 8 的俯视结构示意图。

[0068] 图 11 是图 10 中 I 处的局部放大图。

[0069] 图 12 是图 10 中 II 处的局部放大图。

[0070] 图 13 是本实用新型一具体实施方式中压座的结构示意图。

[0071] 图 14 是图 13 的俯视结构示意图。

[0072] 图 15 是图 13 的左视结构示意图。

[0073] 图 16 是本发明一具体实施方式中牵引机构的结构示意图。

### 具体实施方式

[0074] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明：

[0075] 如图 1 至图 16 所示,一种三向加载大型三维相似模拟试验系统,包括试件箱和反力系统。试件箱包括底座 1,底座 1 的边缘设置有构成正方形的左螺孔带 13、右螺孔带 14、前螺孔带 15 和后螺孔带 16。底座 1 在左螺孔带 13 处通过螺栓固定连接左侧板 3,在前螺孔带 15 处通过螺栓固定连接前侧板 5。

[0076] 右螺孔带 14 与左螺孔带 13 之间设置有两个第一中间螺孔带 17,后螺孔带 16 与前螺孔带 15 之间设置有两个分别与第一中间螺孔带 17 垂直相接的第二中间螺孔带 18,相接的第一中间螺孔带 17 和第二中间螺孔带 18 与左螺孔带 13 和右螺孔带 14 构成正方形。

[0077] 右螺孔带 14 和两个第一中间螺孔带 17 上均可通过螺栓固定连接右侧板 4,与右侧板 4 相接的后螺孔带 16 和两个第二中间螺孔带 18 上均可通过螺栓固定连接后侧板 6。

[0078] 本实施例中,当右侧板 4 设置于右螺孔带 14、后侧板 6 设置于后螺孔带 16,则各侧板与底座 1 可合围成一 3000mm×3000mm×3000mm 的立体空间;当右侧板 4 设置于靠右的第一中间螺孔带 17、后侧板 6 设置于靠后的第二中间螺孔带 18,则各侧板与底座 1 可合围成一 2000mm×2000mm×2000mm 的立体空间;当右侧板 4 设置于靠左的第一中

间螺孔带 17、后侧板 6 设置于靠前的第二中间螺孔带 18,则各侧板与底座 1 可合围成一 1000mm×1000mm×1000mm 的立体空间。

[0079] 本实施例中,各侧板为可通过螺栓连接的分体式结构,以便于试件箱拼接成不同的尺寸。

[0080] 在其他具体实施方式中,可根据需要灵活设置第一中间螺孔带 17 和第二中间螺孔带 18 的位置,以使试件箱拼接为其他尺寸或其他形状。

[0081] 后侧板 6 上设置有传感器接线孔 19,后侧板 6 的外侧间隔固定有第一垫板 31。

[0082] 左侧板 3 的内侧通过螺栓固定连接左压座 7,左侧板 3 上按均分区域设置有左压套 9,左压座 7 上固定有数量和位置与左压套 9 相对应的左压杆 8,左压杆 8 穿出左压套 9。如图 9 所示,左侧板 3 为 3000mm×3000mm,其可均分为 9 个 1000mm×1000mm 的区域,每个区域设置有两个左压套 9。

[0083] 前侧板 5 的内侧通过螺栓固定连接前压座 10,前侧板 5 上按均分区域设置有前压套 11;前压座 10 上固定有数量和位置与前压套 11 相对应的前压杆 12;前压杆 12 穿出前压套 11。如图 8 所示,前侧板 5 为 3000mm×3000mm,其可均分为 9 个 1000mm×1000mm 的区域,每个区域设置有两个前压套 11。

[0084] 左压座 7 与前压座 10 间隔设置。

[0085] 反力系统包括位于地面下的混凝土反力池 23,反力池 23 的底部设置有与反力池 23 固定连接的第一反力座 24a,第一反力座 24a 的右侧设置有第二反力座 24b,第二反力座 24b 与反力池 23 的池底固定,并同时与第一反力座 24a 通过螺栓固定连接。反力池 23 的两侧设置有与地面相连的楼梯 56,可通过楼梯 56 安装维修反力池 23 内的各部件。

[0086] 反力池 23 在试件箱的左侧设置有与第一反力座 24a 固定连接,并且紧靠混凝土墙面的侧承力架 26,侧承力架 26 上固定有数量和位置与左压杆 8 相对应的左液压缸 27。反力池 23 在试件箱的右侧设置有与第二反力座 24b 螺栓连接的反力架 28,反力架 28 可与试件箱通过螺栓固定连接。

[0087] 第一反力座 24a 的前部固定有前立柱 29,前立柱 29 的一端面紧靠反力池 23 的混凝土墙面,另一端面固定有数量和位置与前压杆 12 相对应的前液压缸 30。

[0088] 第一反力座 24a 的后部固定有后立柱 33,后立柱 33 的一端面紧靠反力池 23 的混凝土墙面,另一端面固定有数量和位置与第一垫板 31 相对应、并可紧贴第一垫板 31 的第二垫板 32。

[0089] 前立柱 29 和后立柱 33 通过上方固定的横梁 55 连接为一体结构,横梁 55 上均布设置有与试件箱相对的上液压缸 34。

[0090] 模拟试验系统还包括压座 35,进行相似模拟试验时,压座 35 将上液压缸 34 的加载力传递至试件箱内的相似材料上。压座 35 包括上板 35a 和底板 35b,上板 35a 和底板 35b 通过立板 35c 连接为一体结构,立板 35c 上设置有筋板 35d。

[0091] 在高度方向上,前压座 10 与左压座 7 的转角处放置有与前压座 10 和左压座 7 接触的第一防干涉座 20,左压座 7 的内侧放置有第二防干涉座 21,第一防干涉座 20 和第二防干涉座 21 间隔设置。

[0092] 第一防干涉座 20 远离左压座 7 一端为楔形结构;第一防干涉座 20 的顶端为楔形结构;第二防干涉板 21 靠近前压座 10 一端为楔形结构。

[0093] 第一反力座 24a 上设置有滚动导轨 25, 试件箱可放置在滚动导轨 25 上。

[0094] 底座 1 的左右两侧均间隔设置有两个拉座 22; 在试件箱的左右两侧设置有与拉座 22 相对应的牵引机构。牵引机构包括减速机 36, 减速机 36 通过第一联轴器 37 与第一卷筒 38 的第一端连接, 第一卷筒 38 的第二端通过第二联轴器 39、传动轴 40 和第三联轴器 41 与第二卷筒 42 联接。第一卷筒 38 和第二卷筒 42 上缠绕有可与拉座 22 连接的钢丝绳 43。

[0095] 第二反力座 24b 的前侧设置有可固定第一卷筒 38 的钢丝绳的第一钢丝绳固定座 44; 第二反力座 24b 的后侧设置有可固定第二卷筒 42 的钢丝绳的第二钢丝绳固定座 45。

[0096] 第二反力座 24b 的右侧设置有第三反力座 24c, 第三反力座 24c 与反力池 23 的池底固定, 并同时与第二反力座 24b 通过螺栓固定连接。

[0097] 第三反力座 24c 的右端间隔设置有第一铰接座 46 和第二铰接座 47, 底座 1 的右端设置可分别与第一铰接座 46 和第二铰接座 47 铰接的第三铰接座 48 和第四铰接座 49。

[0098] 反力池 23 在第三反力座 24c 靠近第二反力座 24b 一侧的前后两端分别设置有油缸支座 51, 油缸支座 51 上铰接有油缸 52。油缸 52 的活塞杆 53 端部铰接有推力支座 54, 推力支座 54 可与试件箱的底座 1 连接。

[0099] 前侧板 5 和后侧板 6 上对应设置有一列油囊安装孔 50。

[0100] 本试验系统按照以下步骤进行模拟试验:

[0101] (1) 试件箱准备: 在右螺孔带 14 上安装右侧板 4, 在后螺孔带 16 上安装后侧板 6, 从而获得 3000mm×3000mm×3000mm 尺寸的试件箱; 将试件箱的底座 1 与推力支座 54 连接, 同时使第一铰接座 46 与第三铰接座 48 铰接, 第二铰接座 47 与第四铰接座 49 铰接; 将试件箱通过油缸 52 的活塞杆 53 顶升到试验所需的矿层倾角  $\theta$ , 如图 1 所示。试件箱具体的尺寸大小根据需要进行试验的试件的尺寸而定。

[0102] (2) 试件制备: comsol 是以有限元法为基础, 通过求解偏微分方程(单场)或偏微分方程组(多场)来实现真实物理现象的仿真, 目前已经在流体力学、地球科学、多孔介质、结构力学、传动现象、波的传播等领域得到了广泛的应用, 因此对岩层压力场分布规律进行 comsol 模拟是可行的。利用 comsol 数值模拟软件对岩层压力分布规律进行数值模拟, 以便于各压力传感器能更准确的测量到岩层的应力分布, 根据 comsol 数值模拟软件的模拟结果, 得出试件应力测点布置压力传感器的具体位置; 按照几何相似比、容重相似比、应力相似比以及强度相似比计算出模型岩石的容重、抗压强度、开挖速度等力学性质参数, 通过河砂、石膏、碳酸钙以不同的比例与适量的水搅拌均匀, 制作成多个标准试件并在自然状态下风干, 对标准试件的单轴抗压强度进行测定, 根据强度相似比计算出的抗压强度与不同配比的一系列单轴抗压强度对比, 得出各层相似材料的最佳配比, 根据各分层的最佳配比和容重, 计算出各分层材料所需质量, 称出相应配料的质量, 将各种配料搅拌均匀, 再加入适量水, 立即进行搅拌, 防止凝结; 搅拌均匀后, 将配料送入试件箱内, 并夯实; 在模拟矿层分层之间的表面上均匀地铺一层云母粉作为分层弱面, 用壁刀将表面抹平, 同时在各分层的指定位置插上测标; 依照次序将各分层按以上步骤装好, 直到所有岩层都装到试件箱内; 同时, 根据 comsol 数值模拟软件的模拟结果布置传感器, 并根据各油囊安装孔 50 的位置在试件内设置油囊模拟煤层, 通过充油量控制模拟煤层的厚度, 通过泄油模拟煤层开挖; 待相似材料干燥后恢复油缸 52 的活塞杆 53, 使试件箱恢复到水平位置。

[0103] 另一方面, udec 是一款利用显式解题方案为岩土工程提供精确有效分析的工具,

显式解题方案为不稳定物理过程提供稳定解,并可以模拟对象的破坏过程,该软件特别适合于模拟节理岩石系统或者不连续块体集合体系在静力或动力荷载条件下的响应。利用 udec 数值模拟软件对岩层的岩层变形规律进行数值模拟,对 udec 数值模拟软件形成的裂隙场进行裂隙提取,得到裂隙分布,并根据提取的裂隙场在试件上布置钻孔位置进行钻孔;

[0104] (3) 加载:在钻孔内放置电视成像仪;拆开试件箱的底座 1 与推力支座 54,同时拆开第一铰接座 46 与第三铰接座 48,第二铰接座 47 与第四铰接座 49;将试件箱通过牵引机构送入第一反力座 24a 上,并固定试件箱;安装反力架 28;以上下方向为 Z 向,左右方向为 X 向,前后方向为 Y 向,采用力控制方式对 X 向水平加载压力、Y 向水平加载压力、Z 向垂直加载压力进行加载,加载顺序为:

[0105] a) 同时加载 X 向和 Y 向 10 秒,然后加载 Z 向 10 秒;加载速率恒定为 0.05kN/s;

[0106] b) 重复步骤 a);

[0107] c) 同时加载 X 向和 Y 向 20 秒,然后加载 Z 向 20 秒;加载速率恒定为 0.05kN/s;

[0108] d) 重复步骤 c) 至三向加载压力达到预定值,该预定值为工况现场实测的地应力,本实施例中为 20KN;

[0109] e) 保持载荷;

[0110] f) 当 Z 向垂直加载压力  $\geq 5\text{kN}$ ,Z 向垂直加载压力瞬时下降力  $\geq 0.3\text{kN}$  时,三向加载切换为位移控制方式,加载速度为 0.1mm/min。

[0111] (4) 开挖并观测:煤层的开挖通过微型真空泵抽取油囊中的油。由于开采形成采空区,岩层在地应力的作用下会发生变形,甚至破坏。通过数据采集系统用于采集岩层在开采过程中由于地应力(外力和自身重力)作用下岩层不同层面的岩层应力、各测点的下沉量、覆岩的垮落高度、破断及离层;通过钻孔电视成像仪观测裂隙的分布范围、单位厚度岩层内离层裂隙的高度、单位厚度的裂隙条数等。

[0112] 通过微型真空泵抽取油囊中的油,从而形成开采层。油的抽取速度根据前述开挖速度确定。开采层的开挖通过抽取油囊中的油来实现,开挖速度通过油囊抽油速度来模拟。如某矿一煤层实际开挖速度为 3.6m/d,根据几何相似比  $\alpha_1 = 100$ 、时间相似比  $\alpha_t = \sqrt{\alpha_1} = 10$  计算出模型开挖速度为 0.25mm/min,由于油囊大小不一样,抽油速度范围为:0.01L/min-0.5L/min,通常优选为 0.025L/min-0.03L/min。本实施例中,抽油速度为 0.028L/min。

[0113] 步骤(3)中,根据研究需要,可对不同加载方式和保载时间进行设置,若是研究岩体的松弛,一开始就用位移控制加载,将位移达到预定值。

[0114] 步骤(3)中,待开挖矿层引起岩体在预定荷载下破坏失稳的时间根据预定荷载值达到岩体开挖后所能承受的应力峰值的百分比不同而不同,在此期间载荷保持稳定,直至岩体失稳。

[0115] 步骤(3)中,因为岩体失稳后无法承受之前预定的载荷,但岩体依然还有一定的承载能力,切换成位置加载后,可以研究岩体失稳的应力—应变特征,这对指导工程实践有一定的指导意义。

[0116] 本实施例中,根据右侧板 4 和后侧板 6 安装的其他两个具体位置,可获得

1000mm×1000mm×1000mm 或 2000mm×2000mm×2000mm 尺寸的试件箱,但这不影响后续的试验操作。但由于试件箱尺寸较小,可能会影响尺寸变小方向上液压缸的加载,因此可在相应方向上设置垫板传力,以达到基本相同的技术效果。

[0117] 以上详细描述了本发明的较佳具体实施例。应当理解,本领域的普通技术人员无需创造性劳动就可以根据本发明的构思作出诸多修改和变化。因此,凡本技术领域中技术人员依本发明的构思在现有技术的基础上通过逻辑分析、推理或者有限的实验可以得到的技术方案,皆应在由权利要求书所确定的保护范围内。

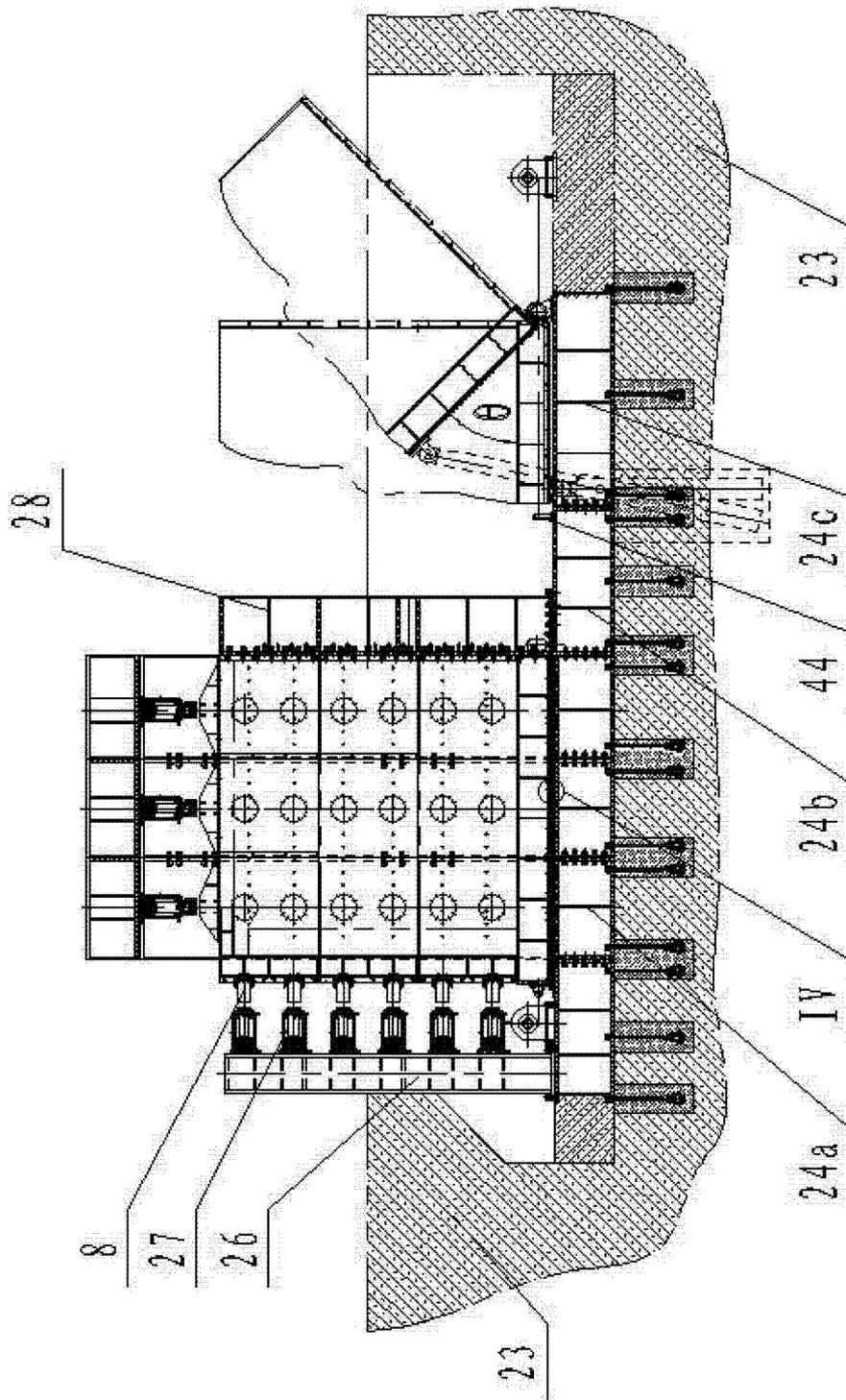


图 1

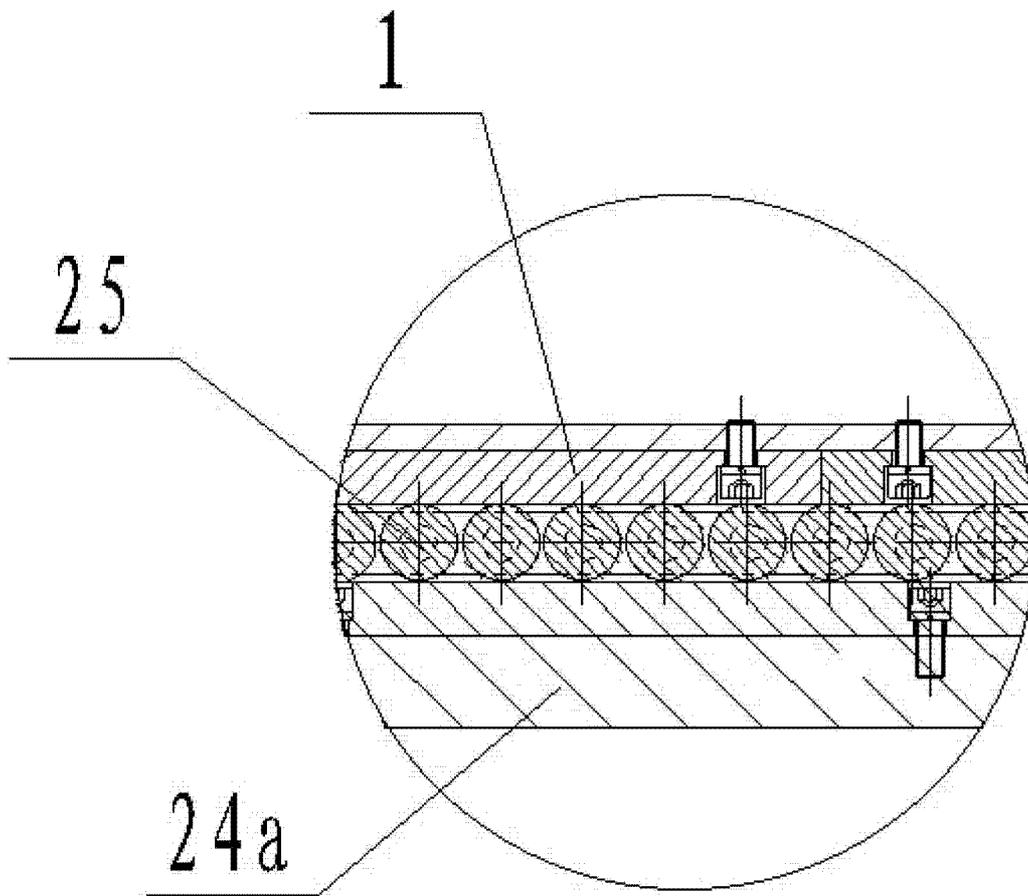


图 2

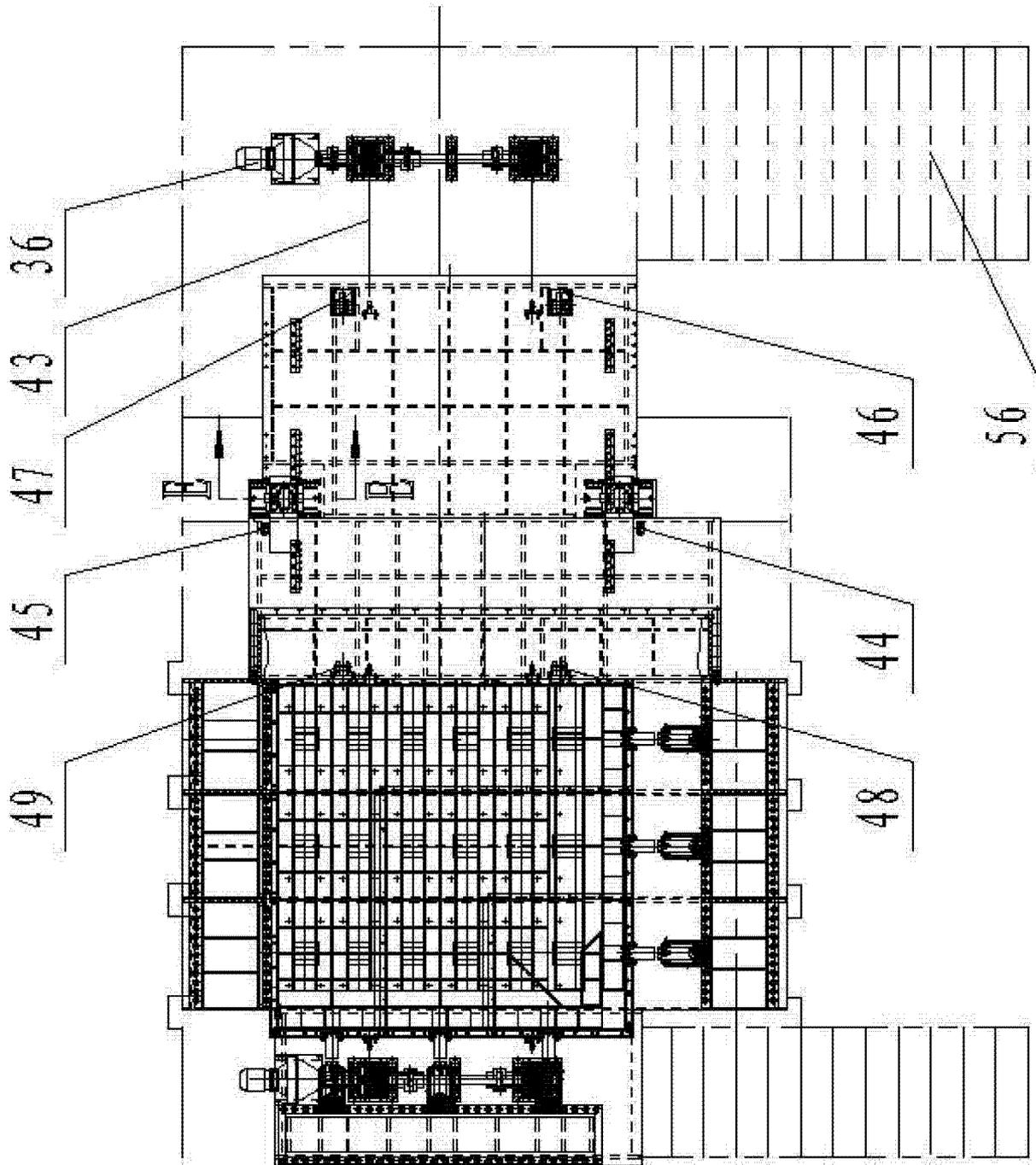


图 3

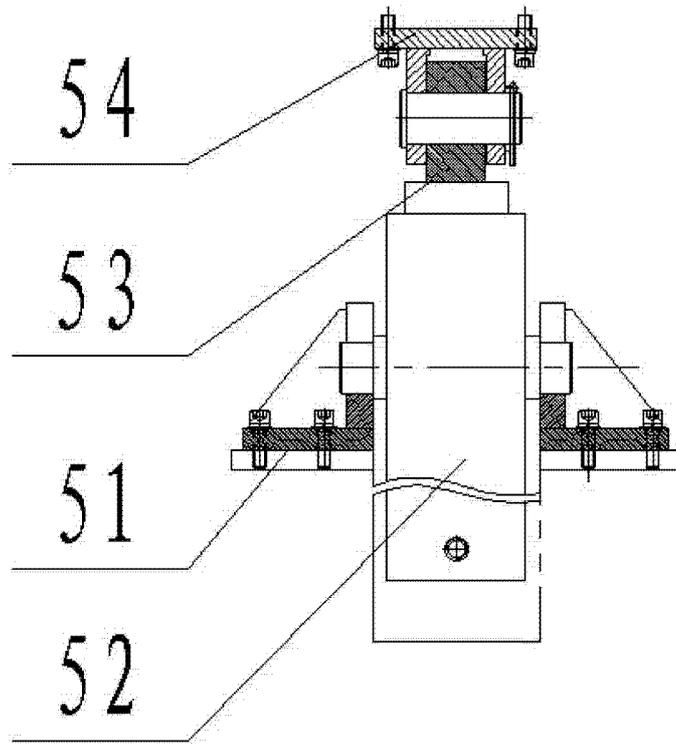


图 4

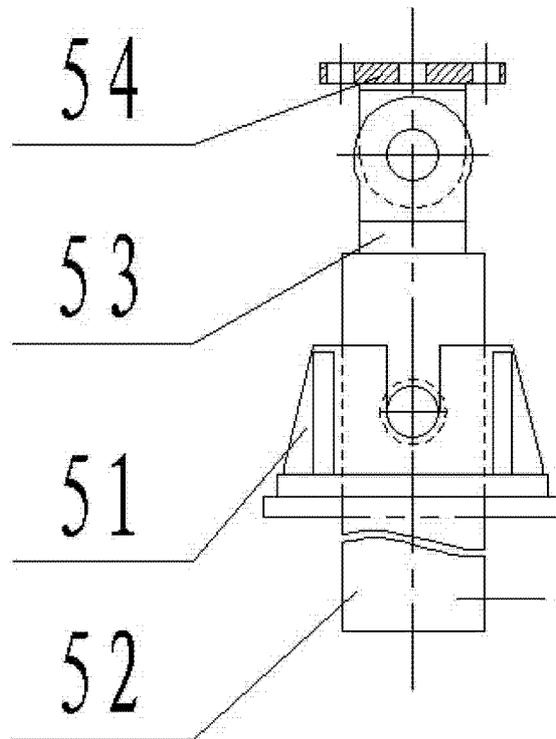


图 5

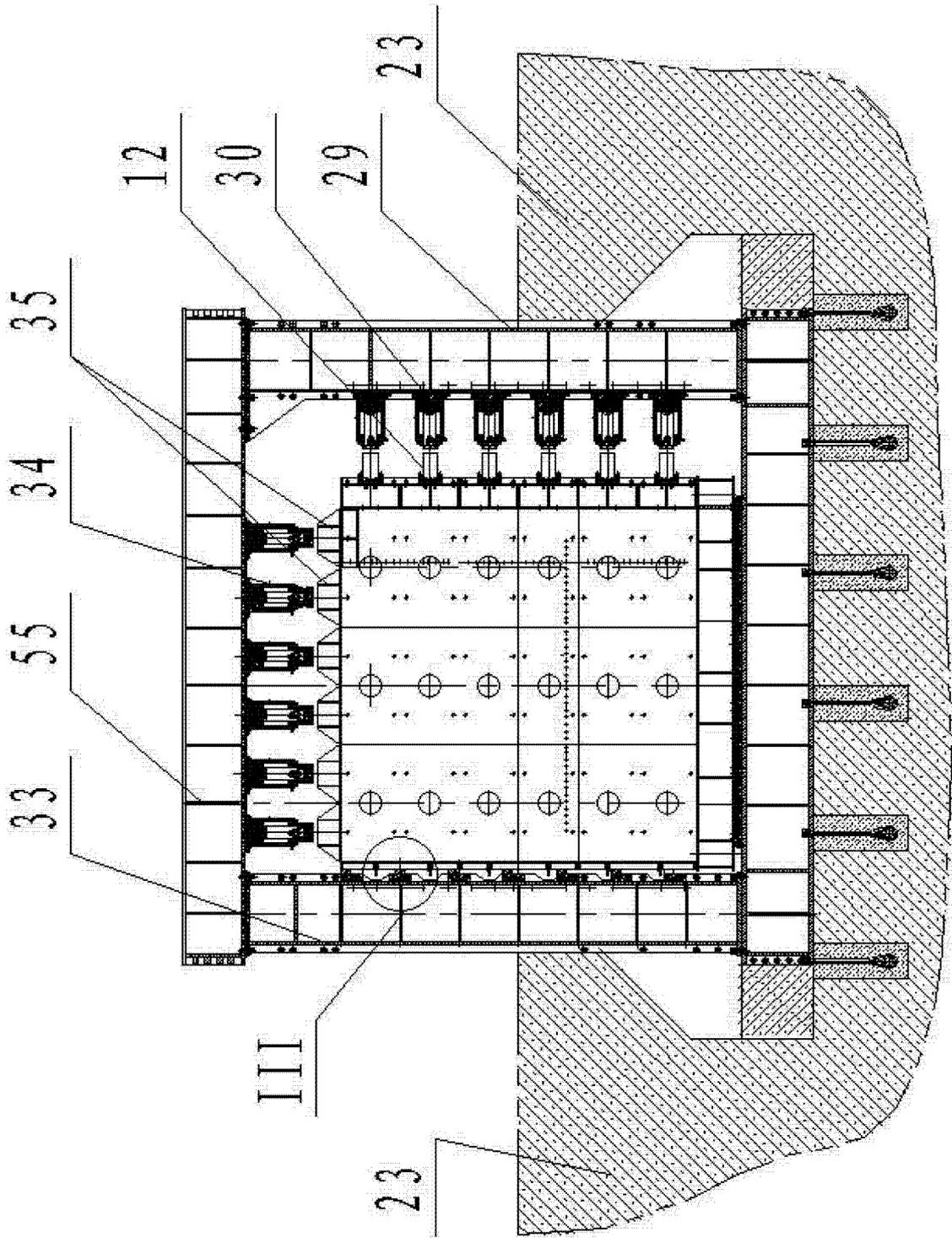


图 6

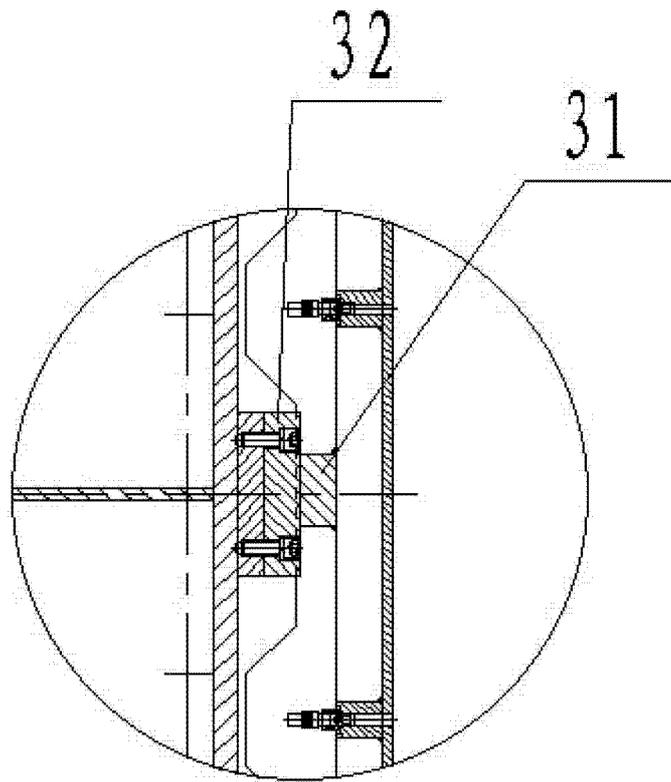


图 7

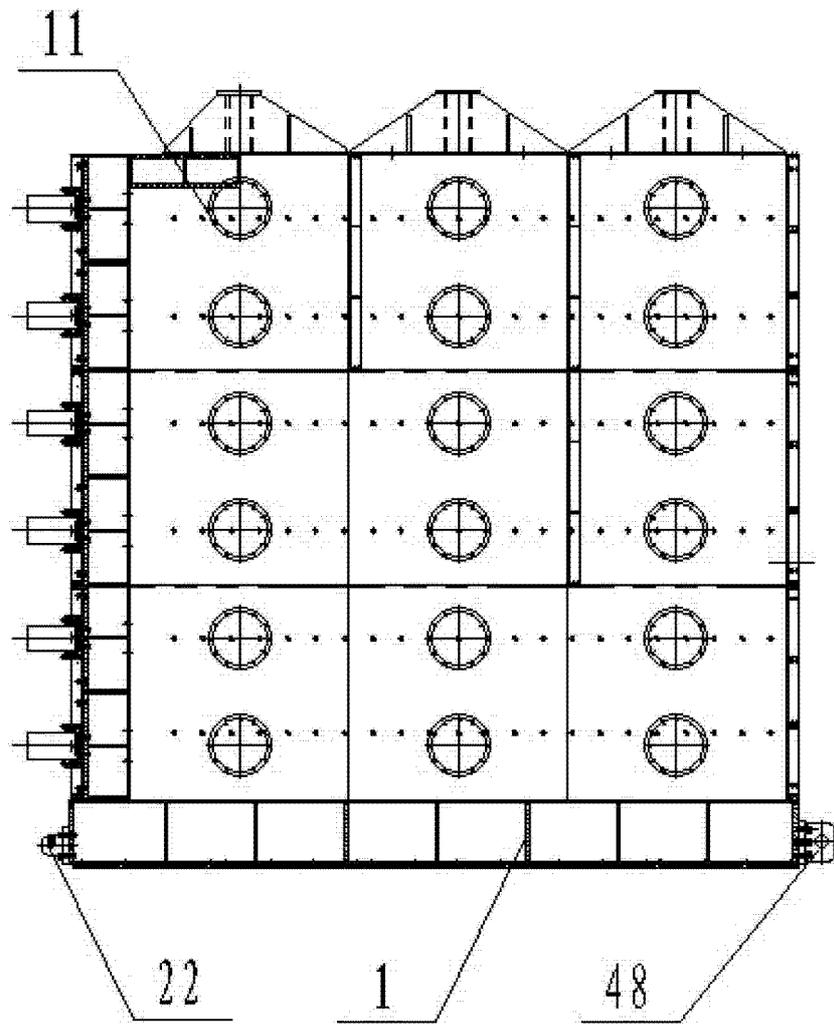


图 8

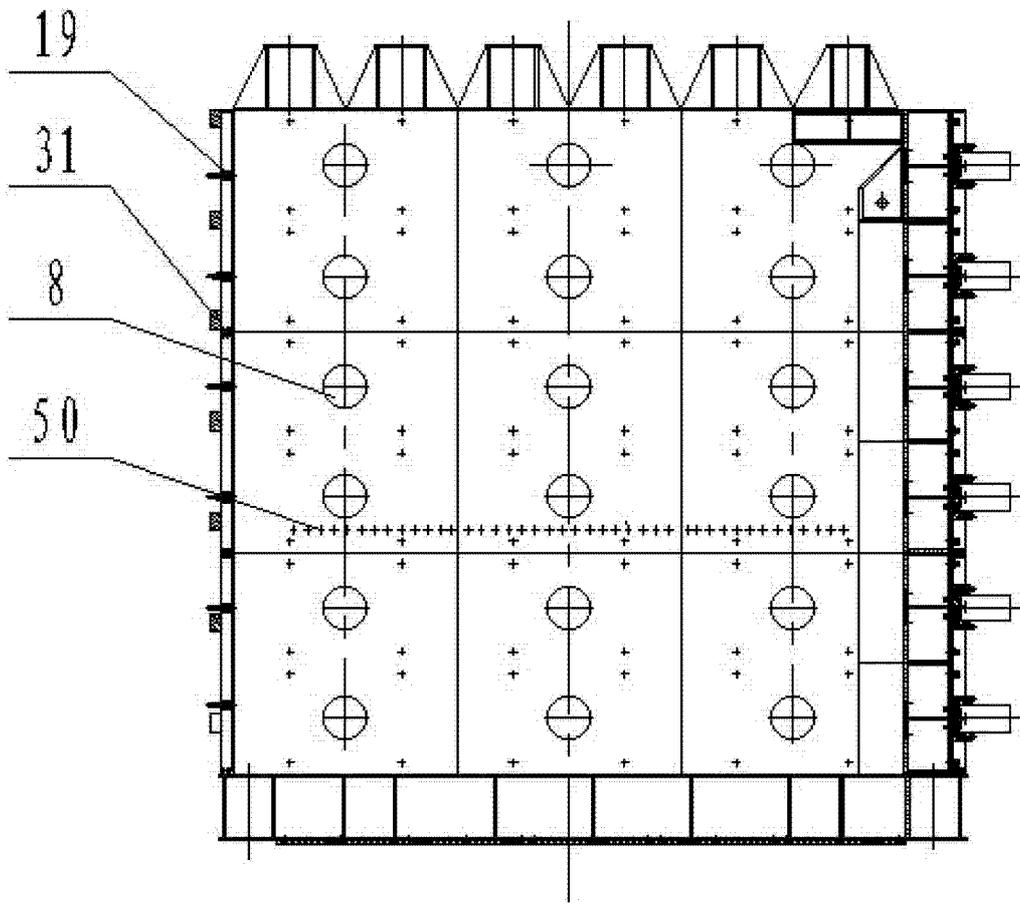


图 9

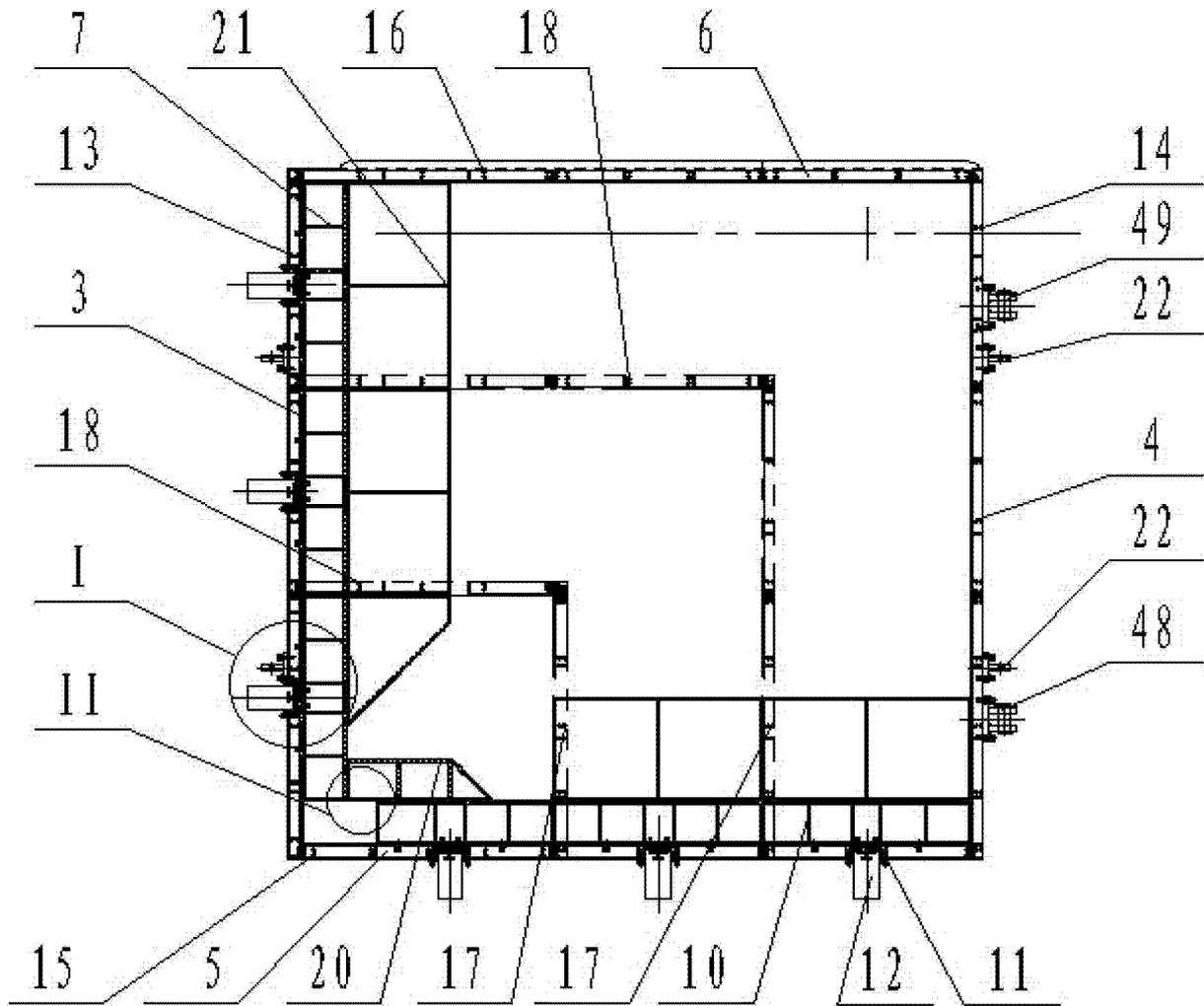


图 10

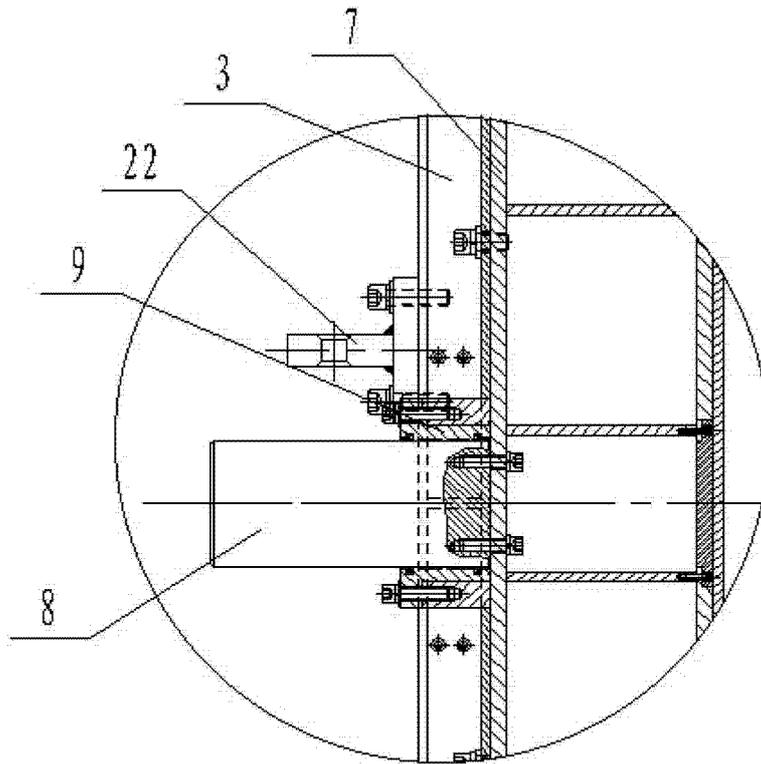


图 11

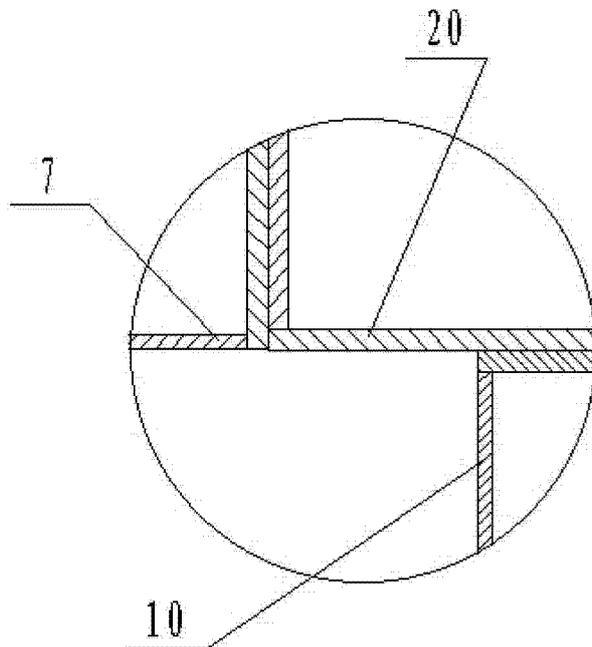


图 12

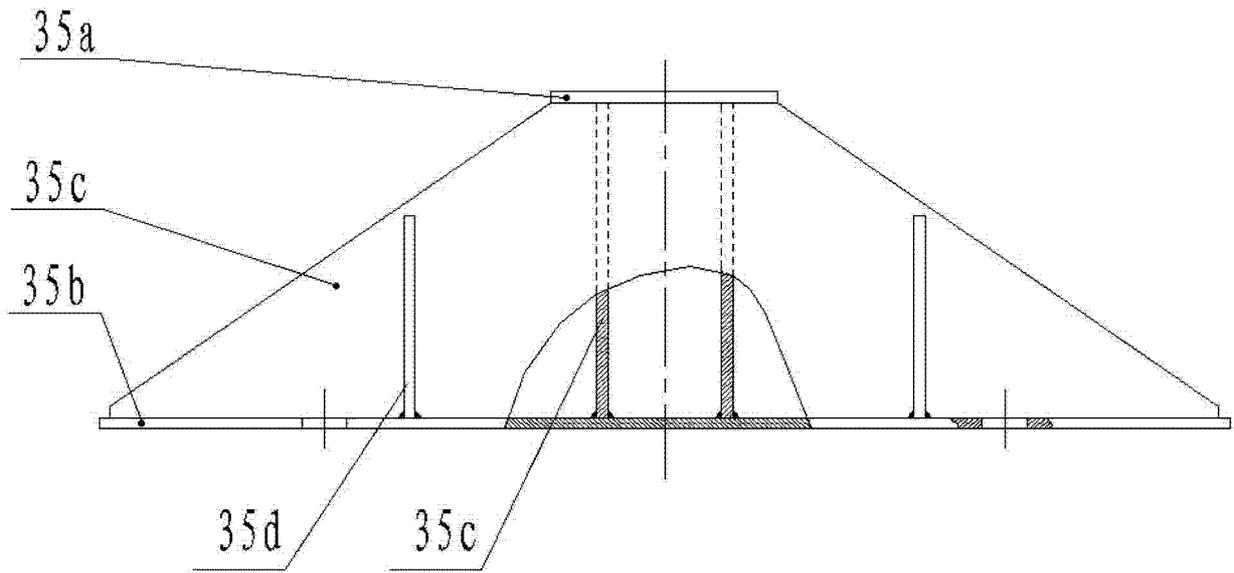


图 13

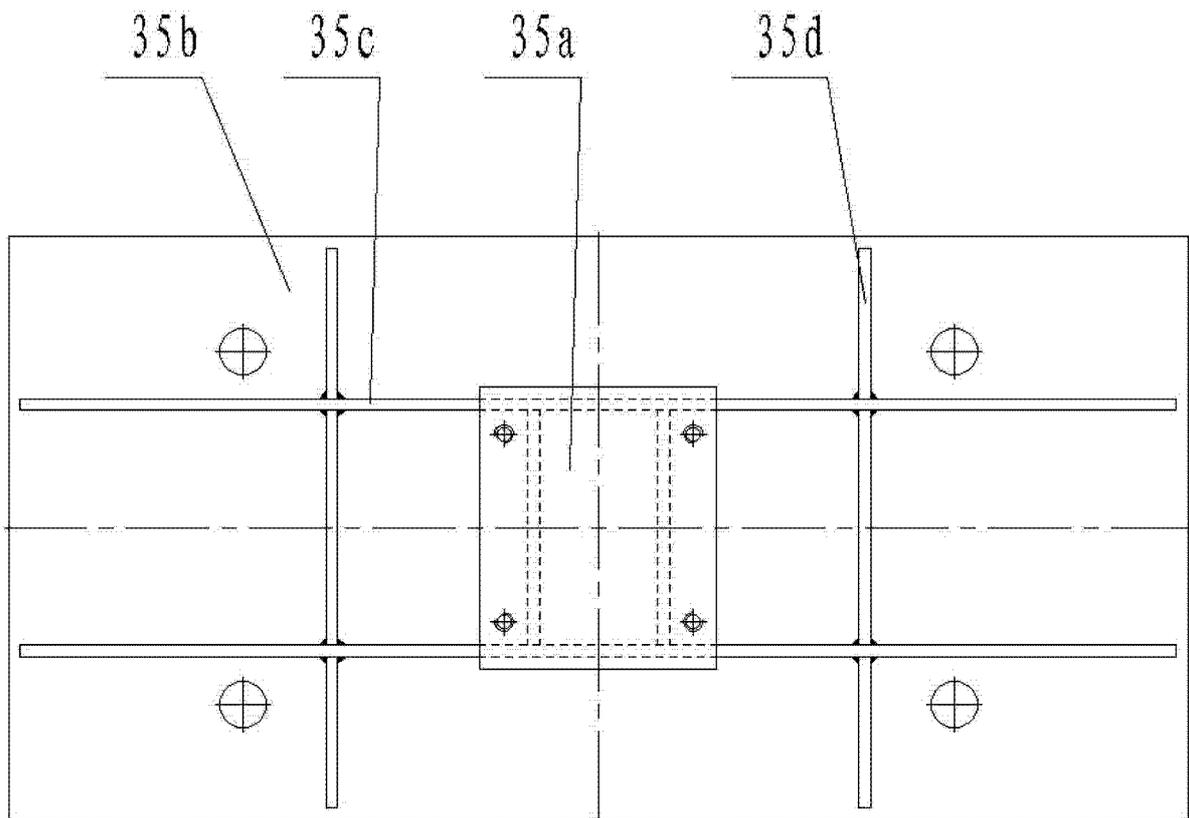


图 14

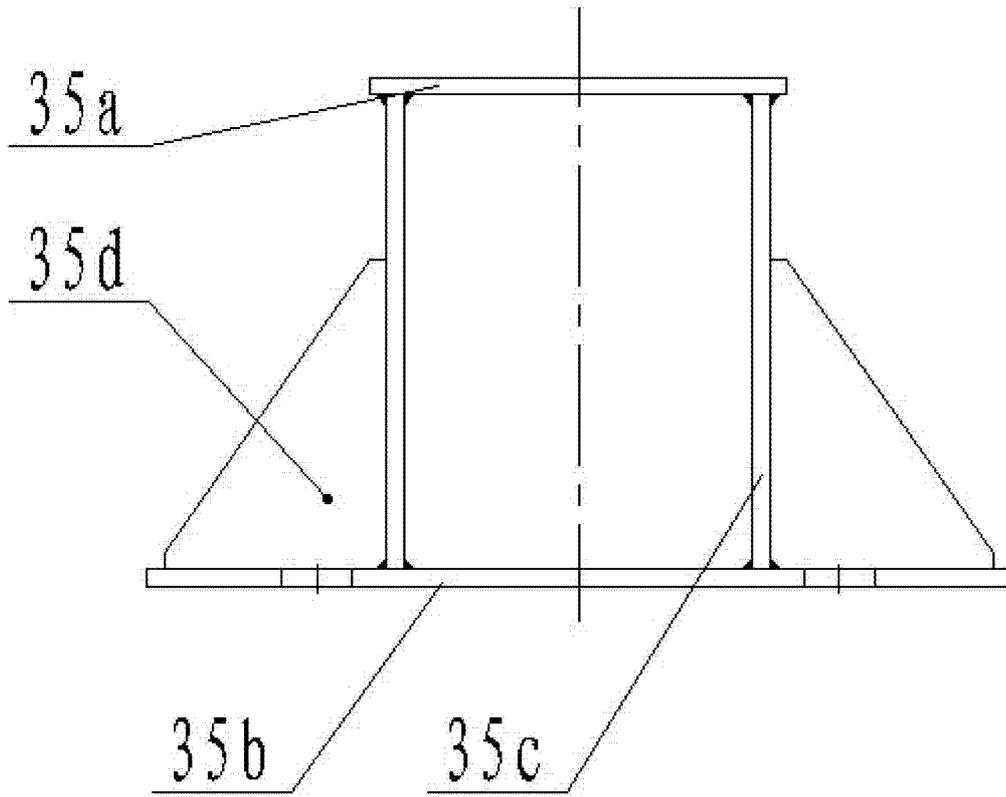


图 15

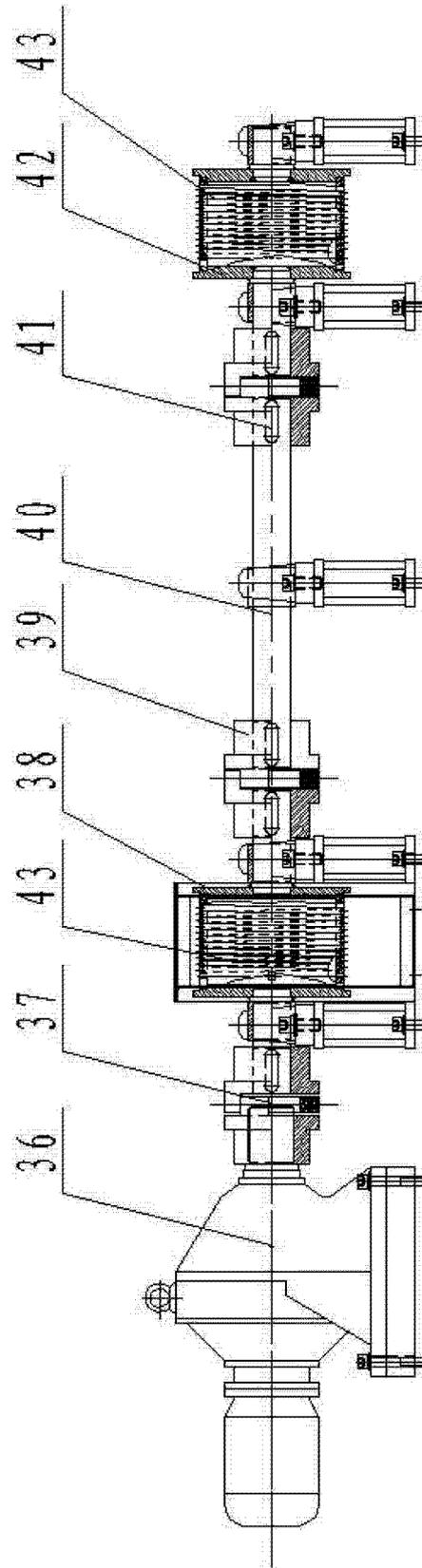


图 16