



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102094432 B

(45) 授权公告日 2013.06.05

(21) 申请号 201110054057.6

(22) 申请日 2011.03.07

(73) 专利权人 同济大学

地址 200092 上海市杨浦区四平路 1239 号

(72) 发明人 唐益群 任兴伟 周洁 李珺

王建秀 杨坪

(74) 专利代理机构 上海智信专利代理有限公司

31002

代理人 吴林松

(51) Int. Cl.

G01N 33/24 (2006.01)

E02D 33/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 101831924 A, 2010.09.15, 权利要求 1, 说明书第 32 段及附图 1-3.

CN 201103131 Y, 2008.08.20, 权利要求书, 说明书第 2 页第 2 自然段.

CN 201265164 Y, 2009.07.01, 具体实施方式及附图.

JP 2002005922 A, 2002.01.09, 全文.

CN 101691764 A, 2010.04.07, 全文.

审查员 闫骏霞

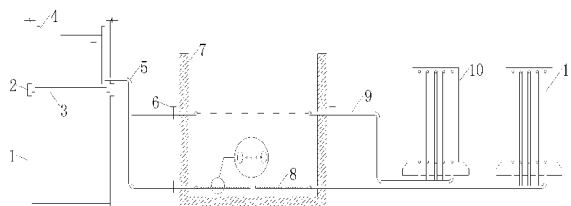
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种由工程环境效应引起地面沉降的模型及其试验方法

(57) 摘要

本发明公开了一种由工程环境效应引起地面沉降的模型及其试验方法,该模型包括模型箱、模拟材料、量测设备、数据采集设备和水压控制设备,模型箱内放置模拟研究区域的模拟材料,并在模型箱内设置量测设备进行参数测量,数据采集设备与测量设备相连,采集并处理测量设备测量得到的参数,水压控制设备与模型箱相连,为模型箱提供水压,模拟实际土层中的潜水层和承压水层。该试验方法包括确定所需研究的影响因素,根据固结理论,考虑模拟建筑物的尺寸与间距及模型箱平面尺寸,采用量纲分析法来确定各相似常数;确定模型材料;模型试验前期准备;进行模型试验。本发明可以研究由于地下水位升降引起的地面变形和工程环境效应引起的地面沉降。



1. 一种由工程环境效应引起地面沉降的模型,其特征在于:其包括模型箱、模拟材料、量测设备、数据采集设备和水压控制设备,模型箱内放置模拟研究区域的模拟材料,并在模型箱内设置量测设备进行参数测量,数据采集设备与测量设备相连,采集并处理测量设备测量得到的参数,水压控制设备与模型箱相连,为模型箱提供水压,模拟实际土层中的潜水层和承压水层;

所述水压控制设备包括水箱、水箱架、测压管和注、排水管,水箱置于水箱架上,水箱与注、排水管相连,注、排水管铺设于模型箱内,测压管与模型箱连通;

所述水箱架包括底座、支架和横梁,支架设置于底座的两侧,其上刻有刻度;横梁架设于支架上可沿支架上下移动;

所述注、排水管采用 PVC 管,管壁上每隔 1cm 打一 2mm 小孔,孔外缠两层细纱布;注、排水管绕模型箱内壁四周布置一圈,且每个侧壁中央处伸出的注、排水管延伸到模型箱的中部,形成十字形分布。

2. 如权利要求 1 所述的模型,其特征在于:所述模型箱由钢板焊接而成,密封不漏水。

3. 如权利要求 1 所述的模型,其特征在于:所述模拟材料包括试验用土、模型桩、桩基平台和建筑物,试验用土为所研究区域的真实土体,模型桩、桩基平台和建筑物是一体的,具体放置位置根据所模拟区域内实际建筑物的布局,或者根据研究需要进行布置。

4. 如权利要求 3 所述的模型,其特征在于:所述试验用土逐层铺设;所述模型桩采用有机玻璃、人造树脂、铝管、钢管或钢筋材料,其截面形状为空心的圆形、矩形、方形或者实心的圆形、矩形、方形或者为 H 形;所述桩基平台采用有机玻璃、人造树脂或钢板;建筑物采用钢筋混凝土块或砝码模拟。

5. 如权利要求 1 所述的模型,其特征在于:所述测量设备包括土压计、孔压计、分层沉降标和位移传感器,分别测量不同土层的土压力和孔隙水压力以及表层沉降量和各土层沉降变形,土压计和孔压计布置于一层或多层土体内,分层沉降标布置在每层土体的中部,位移传感器布置在土体表层。

6. 如权利要求 1 所述的模型,其特征在于:所述数据采集设备采用 YE2539 高速静态应变测试系统。

7. 一种利用权利要求 1 所述的由工程环境效应引起地面沉降的模型的试验方法,其特征在于:其包括以下步骤:

第一步,确定所需研究的影响因素,根据固结理论,考虑模拟建筑物的尺寸与间距及模型箱平面尺寸,采用量纲分析法来确定各相似常数;

第二步,确定模型材料,包括试验用土和建筑模拟材料;

第三步,模型试验前期准备,包括制作模型箱、准备试验仪器、量测设备、数据采集设备;

第四步,进行模型试验,包括以下几个步骤:

(1) 将模型箱四壁用电动磨光机打磨光滑,先刷一层防锈漆,再刷一层油漆;

(2) 将试验土每 5cm 一层均匀摊铺在模型箱中,用铁抹子轻轻的压平,然后用长木板把土层刮平,确保土层在同一水平面上,并洒水养护;砂土与粘土的交界面铺一层皱纹纸,以防止淤泥质粘土与粉砂相互混合;表层的褐黄色粉质粘土在铺设前应用筛孔小于 2mm 的筛子过筛,然后均匀铺在模型箱中,并洒少量水湿润;

(3) 压力盒按预设位置埋放,在粘土中埋放压力盒时,在其位置上挖一个直径约 5cm 小坑,填少量的砂子,水平放入土压计和孔压计,再用砂子盖住,并轻轻压实,使土压计和孔压计表面与土接触紧密,同时在孔压计表面形成过滤层;

(4) 铺土完成后用水箱为砂层加水压;

(5) 自重固结,固结时间根据土层性质而定;

(6) 加载及量测。

## 一种由工程环境效应引起地面沉降的模型及其试验方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及岩土工程技术领域,具体设计一种地面沉降测量的模型试验方法及其装置。

### 背景技术

[0002] 地面沉降是在自然和人为因素作用下,由于地壳表层土体压缩而导致区域性地面标高降低的一种环境地质现象,是一种不可补偿的永久性环境和资源损失,是地质环境系统破坏所导致的恶果。地面沉降具有成生缓慢、持续时间长、影响范围广、成因机制复杂和防治难度大等特点,是一种对资源利用、环境保护、经济发展、城市建设和人民生活构成威胁的地质灾害。地面沉降是我国乃至世界范围内较为普遍的地址灾害,对社会经济的可持续发展影响巨大。

[0003] 上海是我国地面沉降发生最早、最严重的城市之一。20世纪60年代以前的地面沉降主要是由于过度开采地下水造成的;60年代以后采取地下水人工回灌与调整开采层等措施,使地面沉降基本得到控制,呈现微沉的状态;进入90年代,上海地面又明显出现加速沉降现象,工程环境效应成为导致地面沉降新的制约因素。因此,研究工程环境效应引起的地面沉降是非常必要和有意义的。

[0004] 目前,在地面沉降研究领域,尚无相关模型试验装置和方法。与本发明相似的产品主要是各种测量和监测地面沉降的装置及方法,如中国科学院力学研究所孟祥跃等人的发明专利“地面沉降量的测量方法及其装置”(专利号:CN1731109A)、上海交通大学许焯霜等人的专利“地面沉降控制施工方法”(申请专利号:CN101713185A)、上海交通大学丁勇春等人的专利“地下空间开挖引起的地面沉降测试方法”(专利号:CN101319894A)及上海市地质调查研究院顾为栋等人的专利“一种监测地面沉降的引测标体”(专利号:CN2475994Y)。此外,地面沉降的测量和监测仪器还有全站测量仪、GPS定位测量仪及水准测量仪等。此类装置与方法,都是对外在沉降量的测量或观测,并未涉及到沉降机理方面的研究,特别是涉及工程环境效应引起的地面沉降机理。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种由工程环境效应引起地面沉降的模型及其试验方法,可以研究高层建筑群诱发的地面沉降的影响因素及不同土层的变形特点、相邻建筑物(群)之间的相互影响、土层中应力(包括土压力、超孔隙水压力)的变化规律以及水位升降对地面沉降的影响。

[0006] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种由工程环境效应引起地面沉降的模型,其包括模型箱、模拟材料、量测设备、数据采集设备和水压控制设备,模型箱内放置模拟研究区域的模拟材料,并在模型箱内设置量测设备进行参数测量,数据采集设备与测量设备相连,采集并处理测量设备测量得到的参数,水压控制设备与模型箱相连,为模型箱提供水压,模拟实际土层中的潜水层和承压

水层。

[0008] 所述模型箱由钢板焊接而成,密封不漏水。

[0009] 所述模拟材料包括试验用土、模型桩、桩基平台和建筑物,试验用土为所研究区域的真实土体,模型桩、桩基平台和建筑物是一体的,具体放置位置应该根据所模拟区域内实际建筑物的布局,或者根据研究需要进行布置。

[0010] 所述试验用土逐层铺设;所述模型桩采用有机玻璃、人造树脂、铝管、钢管或钢筋材料,其截面形状为空心圆形、矩形和方形或者实心的圆形、矩形、方形和H形;所述桩基平台采用有机玻璃、人造树脂或钢板;建筑物采用钢筋混凝土块或砝码模拟。

[0011] 所述测量设备包括土压计、孔压计、分层沉降标和位移传感器,分别测量不同土层的土压力和孔隙水压力以及表层沉降量和各土层沉降变形,土压计和孔压计布置于一层或多层土体内,分层沉降标布置在每层土体的中部,位移传感器布置在土体表层。

[0012] 所述数据采集设备采用YE2539高速静态应变测试系统,且分别连接土压计、孔压计、分层沉降标和位移传感器采集数据,并对采集的数据进行分析处理。

[0013] 所述水压控制设备包括水箱、水箱架、测压管和注、排水管,水箱置于水箱架上,水箱与注、排水管相连,注、排水管铺设于模型箱内,测压管与模型箱连通。

[0014] 所述水箱架包括底座、支架和横梁,支架设置于底座的两侧,其上刻有刻度;横梁架设于支架上可沿支架上下移动。

[0015] 所述注、排水管采用PVC管,管壁上每隔1cm打一2mm小孔,孔外缠两层细纱布;注、排水管绕模型箱内壁四周布置一圈,且每个侧壁中央处伸出的注、排水管延伸到模型箱的中部,形成十字形分布。

[0016] 一种由工程环境效应引起地面沉降的模型的试验方法,其包括以下步骤:

[0017] 第一步,确定所需研究的影响因素,根据固结理论,考虑模拟建筑物的尺寸与间距及模型箱平面尺寸,采用量纲分析法来确定各相似常数;

[0018] 第二步,确定模型材料,包括试验用土和建筑模拟材料;

[0019] 第三步,模型试验前期准备,包括制作模型箱、准备试验仪器、量测设备、数据采集设备;

[0020] 第四步,进行模型试验,包括以下几个步骤:

[0021] (1) 将模型箱四壁用电动磨光机打磨光滑,先刷一层防锈漆,再刷一层油漆;

[0022] (2) 将试验土每5cm一层均匀摊铺在模型箱中,用铁抹子轻轻的压平,然后用长木板把土层刮平,确保土层在同一水平面上,并洒水养护;砂土与粘土的交界面铺一层皱纹纸,以防止淤泥质粘土与粉砂相互混合;表层的褐黄色粉质粘土在铺设前应用筛孔小于2mm的筛子过筛,然后均匀铺在模型箱中,并洒少量水湿润;

[0023] (3) 压力盒按预设位置埋放。在粘土中埋放压力盒时,在其位置上挖一个直径约5cm小坑,填少量的砂子,水平放入土压计和孔压计,再用砂子盖住,并轻轻压实,使土压计和孔压计表面与土接触紧密,同时在孔压计表面形成过滤层;

[0024] (4) 铺土完成后用水箱为砂层加水压;

[0025] (5) 自重固结,固结时间根据土层性质而定;

[0026] (6) 加载及量测。

[0027] 本发明一种研究由工程环境效应引起的地面沉降的模型试验方法及其装置,不仅

可以研究由于地下水位升降引起的地面变形,也可研究由工程环境效应引起的地面沉降,特别适用于地面沉降机理研究。

### 附图说明

[0028] 图 1 是本发明一种研究工程环境效应引起地面沉降的模型的结构示意图。其中,1-水箱架支架;2-水箱架固定螺栓;3-水箱架横梁;4-水箱;5-塑料软管;6-三通管;7-模型箱;8-打孔 PVC 管;9-塑料软管;10-测压管固定支座;11-测压管。

[0029] 图 2 是图 1 所示实施例中水箱架的三维立体结构图。其中,12-注、排水孔;13-测压孔。

[0030] 图 3 是图 1 所示实施例中模型箱的平面图。

### 具体实施方式

[0031] 以下结合附图所示实施例对本发明作进一步的说明。

[0032] 请参阅图 1-3,本发明的工程环境效应引起地面沉降的模型装置,其包括模型箱 7、模拟材料、量测设备、数据采集设备和水压控制设备,模型箱 7 为模型试验的主体装置,由钢板焊接而成,密封不漏水,尺寸大小可视试验需求而定,其用于放置模拟研究区域的模拟材料;量测设备放置于模型箱 7 的土体内部和表层,与数据采集设备相连;水压控制设备与模型箱 7 相连接,为模型箱 7 内土体提供水压,用于模拟实际土层中的潜水层和承压水层;数据采集设备用于采集各量测设备的试验数据。

[0033] 模拟材料包括试验用土、模型桩、桩基平台和建筑物,试验用土为所研究区域的真实土体,模型桩采用直径 2cm 的有机玻璃棒,厚 1.5cm 的有机玻璃板作桩基平台,两者用胶结材料粘合,建筑物采用砝码模拟。由于本发明研究的是静态作用下的土体变形,所以建筑物直接搭建在桩基平台上即可,模型桩、桩基平台和建筑物是一体的,具体放置位置应该根据所模拟区域内实际建筑物的布局,或者根据自己的研究需要进行布置。

[0034] 测量设备包括土压计、孔压计、分层沉降标和位移传感器,分别可以精确测量不同土层的土压力和孔隙水压力以及表层沉降量和各土层沉降变形,土压计、孔压计可每层土体都布置,也可只在所需要研究的土层中布置;分层沉降标布置在每层土体的中部为宜,位移传感器布置在表层。

[0035] 数据采集设备采用 YE2539 高速静态应变测试系统,且分别连接土压计、孔压计、分层沉降标和位移传感器采集数据,并对采集的数据进行适当的分析处理。

[0036] 水压控制设备包括水箱 4、水箱架 1、注、排水管 8 和测压管 11,水箱 4 置于水箱架 1 可垂直活动的横梁 3 之上;水箱架 1 用于保证水箱 4 自由升降,以达到调节水位的目的;水箱 4 与模型箱 7 由第一塑料软管 5 连接,并与模型箱 7 内侧的注、排水管 8 由三通管 6 连通;测压管 11 由支座 10 支撑,并通过第二塑料软管 9 连接模型箱 7,以观测土层不同位置的水位;根据土层厚度及潜水层、承压水层深度不同(潜水层和承压水层的深度位置是由研究区域的其实际深度及模型相似常数共同确定的,水层是由水压控制设备提供的),在潜水层和承压水层深度处模型箱 7 的外壁上对称布置注、排水孔 12 和测压孔 13,通过三通管 6 连接注、排水管 8 和测压管 11;水箱 4 可由有机玻璃、塑料或钢板制成,为上部开口的密封盛水容器;水箱架 1 由底座、支架、横梁 3 及螺栓 2,支架设置于底座的两侧,支架外壁上刻

有刻度,以方便水箱 4 在任意高度上固定,横梁 3 架设于支架上可沿支架自由升降和固定;模型箱 7 内的注、排水管 8 采用 PVC 管,管壁上每隔 1cm 打  $\phi 2$ mm 小孔,孔外缠两层细纱布。注、排水管 8 应在模型箱 7 内均匀布置,可分别在潜水层和承压水层深度处绕模型箱 7 内壁四周布置一圈,并与每个侧壁中央的注、排水孔 12 相连的注、排水管 8 应延伸到模型箱 7 的中部,形成十字形分布(如图 2 所示),以确保注、排水通畅、均匀、迅速,便于维持水位。

[0037] 在铺土之前将模型箱 7 的四壁用电动磨光机打磨光滑,先刷一层防锈漆,接着再刷一层油漆,最大限度的降低边界效应。对注、排水管 8 每隔 1cm 打  $\phi 2$ mm 小孔(外缠两层细纱布,可尽量避免水流渗透带走土层中的细颗粒),连接固定在模型箱 7 的内侧。然后,将现场取回的试验土每 5cm 一层均匀摊铺在模型箱 7 中,用铁抹子轻轻的压平并用长木板把土层刮平,确保土层在同一水平面上,并洒水养护,在砂土与粘土的交界面铺一层皱纹纸,以防止淤泥质粘土与粉砂相互混合。在铺土的同时根据试验方案,埋设测量仪器,包括土压计、孔压计和分层沉降表等,在粘性土中埋放压力计(压力计为孔压计和土压计的统称)时,在其位置上挖一个直径约 5cm 小坑,填少量的砂子,水平放入压力计,再用砂子盖住,并轻轻压实,使压力计表面与土接触紧密,同时可在压力计表面形成过滤层,便于量测;根据工程地质勘察资料或其他相关资料,铺土完成后用水箱 4 为承压含水层和潜水层加水。水箱 4 由第一塑料软管 5 与模型箱 7 中的注、排水管 8 通过三通管 6 连接,测压管 11 用于观测含水层中水压变化,通过第二塑料软管 9 与测压孔 13 相连。然后,在自重作用下进行固结。在自重固结完成之后,进行模拟建筑物加载,每个建筑物的荷重逐级施加,以模拟施工情况,荷重放置在承台中心,施加一级记录一次百分表数据,建筑物的荷重施加完毕隔 30min、1h、1h、2h 纪录一次百分表数据,24h 后再纪录一次,土压力计和超孔隙水压力计采用 YE2539 高速静态应变测试系统由计算机读取,设定为每 5 分钟采取一次,数值变化稳定后,可以认为进入次固结。

[0038] 一种研究工程环境效应引起地面沉降的模型试验方法,包括以下步骤:

[0039] 第一步,根据研究目的,确定所需研究的影响因素,根据固结理论,考虑模拟建筑物的尺寸与间距及模型箱平面尺寸,采用量纲分析法来确定各相似常数。量纲分析法只能给出各因素之间的相互关系,而不能直接给出具体的相似常数,而要确定相似常数先要确定模型的尺寸大小,但确定模型尺寸的大小是非常复杂的,需要综合考虑很多因素:

[0040] 1) 模型的尺寸大小与模型箱尺寸相适应;

[0041] 2) 模型的尺寸大小要满足量测技术的要求;

[0042] 3) 模型的尺寸大小要满足边界条件的要求;

[0043] 4) 模型的尺寸大小要满足土层深度范围的要求。

[0044] 5) 确定模型尺寸时,还要考虑装卸土的便利和试验工作量的大小等问题。

[0045] 根据上述几点要求,考虑模拟建筑物的几何尺寸和间距,以及计算建筑物荷重的附加应力范围,可以确定出本次试验所研究的平面范围,再根据模型箱平面尺寸的大小,确定本次试验所采用的几何相似常数  $S_L = 100$ 。一般认为容重相似常数  $S_\gamma = 1$ ,渗透系数  $k$  也与原型土相差不大,即渗透系数相似常数  $S_k = 1$ 。相似的,研究沉降  $\delta(L)$  所考虑的影响因素容重  $\gamma(FL^{-3})$ 、土层厚度  $H(L)$ 、压缩模量  $E_s(FL^{-2})$ 、附加应力  $p(FL^{-3})$ 、基础宽度  $B(L^{-2})$ 、渗透系数  $k(LT^{-1})$ 、时间  $t(T)$  经量纲分析法计算,确定各相似常数如下:

[0046]

物理量	本试验相似常数
H	100
$\gamma$	1
k	1
$\delta$	100
$E_s$	100
P	100
B	100
t	100

[0047] 第二步,确定模型材料,包括试验用土和建筑模拟材料。试验用土即采用真实土体,建筑模拟材料主要包括模型桩材料、桩基平台及上部建筑。可采用有机玻璃、人造树脂、铝管、钢管或钢筋等作为模型桩材料,模型桩的截面形状可为空心圆形、矩形和方形,实心的圆形、矩形、方形和H形等,桩基平台可采用有机玻璃、人造树脂、钢板等;上部建筑可采用钢筋混凝土块、砝码等。

[0048] 第三步,模型试验的前期准备,包括制作模型箱、准备试验仪器、量测设备、数据采集设备。

[0049] 第四步,进行模型试验,包括以下几个步骤:

[0050] 1. 将模型箱四壁用电动磨光机打磨光滑,先刷一层防锈漆,再刷一层油漆,以最大限度的降低边界效应;

[0051] 2. 将试验土每5cm一层均匀摊铺在模型箱中,用铁抹子轻轻的压平,然后用长木板把土层刮平,确保土层在同一水平面上,并洒水养护;砂土与粘土的交界面铺一层皱纹纸,以防止淤泥质粘土与粉砂相互混合;表层的褐黄色粉质粘土在铺设前应用筛孔小于2mm的筛子过筛,然后均匀铺在模型箱中,并洒少量水湿润;各土层按照所研究区域的实际土层进行铺设。

[0052] 3. 根据研究需要,预设压力计位置。在粘土中埋放压力盒时,在其位置上挖一个直径约5cm小坑,填少量的砂子,水平放入压力计,再用砂子盖住,并轻轻压实,使压力计表面与土接触紧密,同时可在孔压计表面形成过滤层,便于量测;

[0053] 4. 铺土完成后用水箱为砂层加水压;

[0054] 5. 自重固结,固结时间根据土层性质而定;

[0055] 6. 加载及量测,具体根据不同的模型材料、其大小及研究目的选择不同的加载方式,比如若研究施工阶段土体的变形情况,则加载应该模拟具体的施工过程,不可一次性加载完毕;若是研究工后沉降,则可以忽略施工过程的影响,一次性加载完毕。

[0056] 上述的对实施例的描述是为便于该技术领域的普通技术人员能理解和应用本发明。熟悉本领域技术的人员显然可以容易地对这些实施例做出各种修改,并把在此说明的一般原理应用到其他实施例中而不必经过创造性的劳动。因此,本发明不限于这里的实施例,本领域技术人员根据本发明的揭示,对于本发明做出的改进和修改都应该在本发明的保护范围之内。



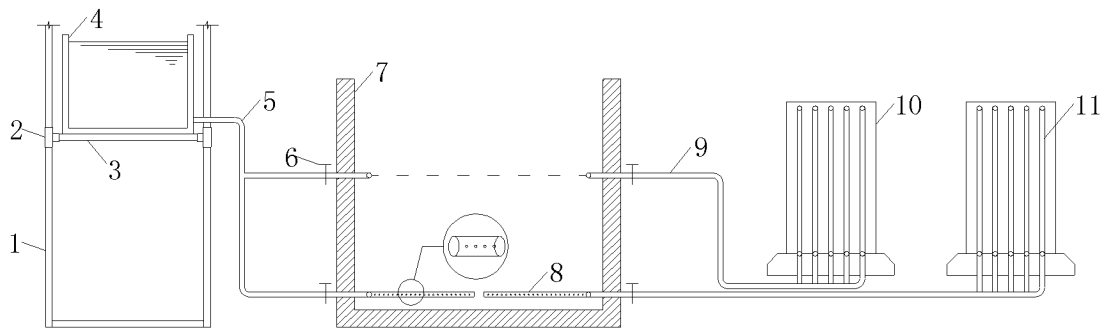


图 1

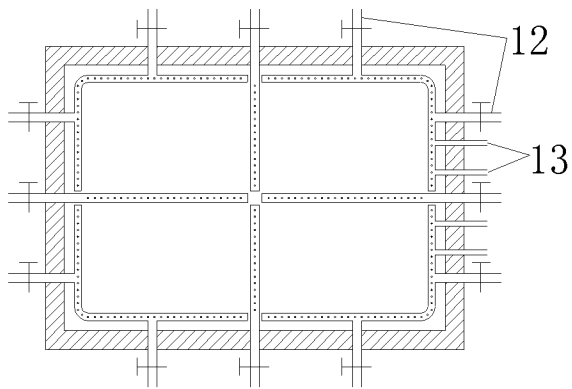


图 2

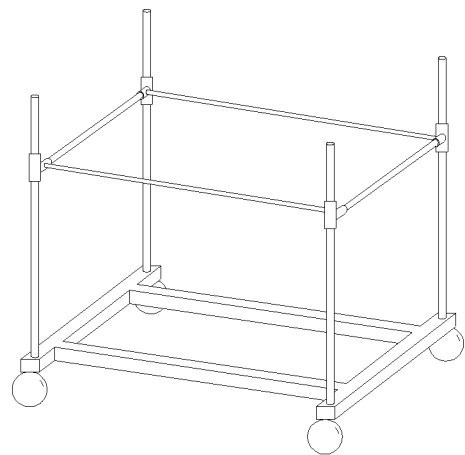


图 3