(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105938070 B
(45)授权公告日 2019.05.03

(21)申请号 201610529362.9

(22)申请日 2016.07.06

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105938070 A

(43)申请公布日 2016.09.14

(73)专利权人 山东大学
地址 250061 山东省济南市历下区经十路17923号

(72)发明人 王琦 李术才 江贝 高红科 许英东

(74)专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限公司 37221
代理人 赵妍

(51)Int.Cl.
G01N 3/10(2006.01)
G01N 3/18(2006.01)
G01N 3/06(2006.01)
G01N 33/24(2006.01)

审查员 孙昕

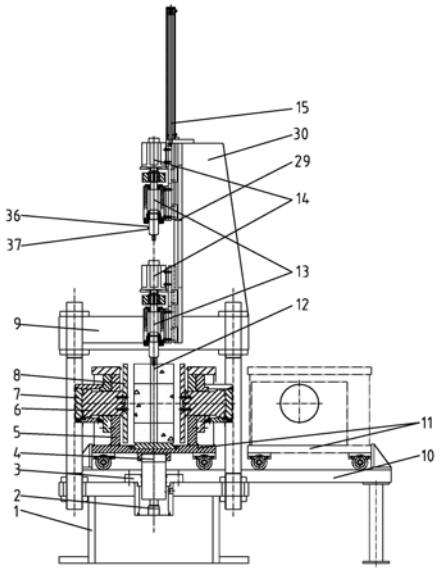
权利要求书2页 说明书12页 附图4页

(54)发明名称

多功能真三轴岩石钻探测试系统及表征岩体特性的试验方法

(57)摘要

本发明公开了一种多功能真三轴岩石钻探测试系统及表征岩体特性的试验方法，该方法对同一试件上多个钻孔各自取出岩芯，分别对这些岩芯实施单轴试验和三轴试验，得出多组力学性质参，根据可直接测量出随钻参数的真三轴岩石钻探测试仪得出多组随钻参数，建立力学性质参数与随钻参数之间的关系式，通过该关系式只需对岩体探测随钻参数即可得出岩体的力学性质参数。本发明以多功能真三轴岩石钻探测试仪为预设试验装置，该试验仪具备对试件进行真三轴加载的功能，能模拟试件在地下工程中三向围压状态下钻机钻进过程；本发明可建立不同围压下试件的随钻参数与岩体力学特性的相关关系等目标，提供了从试件制备到数据处理详尽的试验方法。



CN 105938070 B

1.一种多功能真三轴岩石钻探测试系统，其特征在于，包括压力加载装置、钻机单元、监测控制单元和液压泵，其中，所述液压泵向压力加载装置提供动力，所述压力加载装置对放置于其中的岩石试件施加围压；

所述钻机单元设置于压力加载装置上端，对受压的岩石试件进行钻进；

所述监测控制单元控制压力加载装置施加压力，同时控制钻机的扭矩和转速、轴压和位移两组值中的任一个；

所述钻机单元，包括钻机，所述钻机嵌入钻机滑轨中，钻机沿钻机滑轨沿轴向上下移动，钻机滑轨通过钻机滑轨固定板固定于试件顶部的反力架上，钻机与钻机伺服电机固接在一起，在上部液压杆的推动或拉动下，向下或者向上运动；

所述监测控制单元，包括监测单元，具体包括检测四个方向上侧向围压大小的侧向围压传感器、检测侧向加载板移动距离的侧向位移传感器、检测钻机扭矩的钻机扭矩传感器、钻机转速的钻机转速传感器、钻机向下施加压力大小的钻机压力传感器和钻机上下移动距离的钻机位移传感器。

2.如权利要求1所述的一种多功能真三轴岩石钻探测试系统，其特征是：所述压力加载装置，包括压力室，所述压力室外侧设置有围压加载装置，分别对岩石试件施加围压，所述压力室下端为承载其与岩石试件的试件平台，所述试件平台下中部位置焊接有方形框卡槽，其内尺寸与轴向加载板尺寸一致，活塞杆推动轴向加载板卡入试件平台下的方形框卡槽内，防止试件与试件平台发生扭转。

3.如权利要求2所述的一种多功能真三轴岩石钻探测试系统，其特征是：所述围压加载装置，包括两组垂直设置的侧向加载板组，每组侧向加载板组包括两个相对、平行布设的侧向加载板，两组侧向加载板组形成矩形加载架构，以包围住压力室，所述围压加载装置，还包括侧向液压油缸，液压油缸驱动活塞杆推动侧向加载板给试件施加水平向压力，所述侧向液压油缸外侧设置有侧向反力板。

4.一种地下工程中随钻参数表征岩体特性的试验方法，其特征在于，对同一试件上多个钻孔各自取出岩芯，分别对这些岩芯实施单轴试验和三轴试验，得出多组力学性质参数，根据可直接测量出随钻参数的如权利要求1-3中任一项所述的一种多功能真三轴岩石钻探测试系统得出多组随钻参数，建立岩芯力学性质参数与随钻参数之间的关系式，通过该关系式只需对岩体探测随钻参数即可得出岩体的力学性质参数；

通过逐步回归的方法分别回归随钻参数代表值与岩石各个力学性质参数的最优关系式，包括拟合单轴抗压强度R_c与随钻参数代表值的最优关系式、拟合粘聚力c与随钻参数代表值的最优关系式、拟合内摩擦角φ与随钻参数代表值的最优关系式和拟合弹性模量E与随钻参数代表值的最优关系式。

5.一种地下工程中随钻参数表征岩体特性的试验方法，其特征在于，对同一试件上多个钻孔各自取出岩芯，测定岩芯的岩体完整性参数RQD值，根据可直接测量出随钻参数的如权利要求1-3中任一项所述的一种多功能真三轴岩石钻探测试系统得出多组随钻参数，建立岩芯力学性质参数与随钻参数之间的关系式，通过该关系式只需对岩体探测随钻参数即可得出岩体的完整性参数RQD值；

建立岩体完整性参数RQD与随钻参数的关系，在大量试验数据的基础上，将试件的RQD值与扭矩破碎指标QD_m和转速破碎指标QD_r利用多元线性回归的方法进行公式拟合，最终拟

合公式的形式为：

$RQD=\beta_0+\beta_1QD_m+\beta_2QD_r$

其中β_0、β_1、β_2都为回归系数。

6.如权利要求4或5所述的一种地下工程中随钻参数表征岩体特性的试验方法，其特征在于，对所述的岩芯从上到下分为多段，分别得出各段的力学性质参数。

多功能真三轴岩石钻探测试系统及表征岩体特性的试验方法

技术领域

[0001] 本发明涉及岩土工程勘察技术领域，尤其涉及一种多功能真三轴岩石钻探测试系统及表征岩体特性的试验方法。

背景技术

[0002] 随着经济的快速发展和人类社会的不断进步，基础性建设快速发展，在修建隧道、地铁或巷道时，需要对隧道、地铁或巷道进行支护，保证地下工程的稳定，防止事故的发生，而地下工程支护形式、支护强度需要根据地下工程围岩的力学性质确定，而目前对于围岩力学性质指标的获取，仍采用在现场钻取岩芯，并将岩芯在室内进行岩石力学试验等常规的方法，缺少一种快速有效的测试围岩力学性质的试验方法。

[0003] 现有的围岩力学性质探测方法主要存在以下不足：

[0004] 一、现有钻探装置为静力触探，其探头的探入方式是直接压入式的，对粉土、砂土和软岩可以直接钻探，而对于较硬的岩土层不易钻探。

[0005] 二、所考虑的钻探影响因素相对比较单一，不能考虑三向应力对钻探过程的影响。

[0006] 三、如利用岩芯进行室内试验测定围岩力学性质参数的方法，岩芯脱离原环境，其测得的围岩力学参数与真实的力学参数存在一定误差。

[0007] 因此，急需建立一种科学的基于多功能真三轴岩石钻探测试仪的围岩力学性质试验方法，探索三向压力状态下随钻参数与围岩力学参数、岩体完整性参数的关系。

发明内容

[0008] 本发明的目的是为了提供一种多功能真三轴岩石钻探测试系统，可以完成多向围压条件下钻机钻进和钻进过程中的钻机运行参数测量试验。

[0009] 还提供了一种地下工程中随钻参数表征岩体特性的试验方法，该试验方法利用钻机随钻参数(钻进速率、扭矩、转速、轴压力、钻进比功)来表征岩体特性，可用于建立随钻参数与岩体力学性质(单轴抗压强度、粘聚力、内摩擦角、弹性模量)、岩体完整性参数RQD的关系，为探测岩体的性能提供一定的方便性，可节约对岩芯进行三轴试验和单轴试验的时间。

[0010] 为了达成上述目的，本发明采用如下技术方案：

[0011] 本发明提供的第一个方案是：一种多功能真三轴岩石钻探测试系统，包括压力加载装置、钻机单元、监测控制单元和液压泵，其中，所述液压泵向压力加载装置提供动力，所述压力加载装置对放置于其中的岩石试件施加围压；

[0012] 所述钻机单元设置于压力加载装置上端，对三向围压加载下的岩石试件进行钻进；

[0013] 所述监测控制单元控制压力加载装置施加压力，同时控制钻机的扭矩和转速、轴压和位移两组值中的任一个。

[0014] 所述压力加载装置，包括压力室，所述压力室外侧设置有围压加载装置，对岩石试件施加围压。

[0015] 所述反力架下固定连接有平台板，平台板直接与岩石试件接触，平台板和反力架中部设置预留孔，使钻机钻杆通过。

[0016] 所述压力室下端为承载其与岩石试件的试件平台，所述试件平台下中部位置焊接有方形框卡槽，其内尺寸与轴向加载板尺寸一致，活塞杆推动轴向加载板卡入试件平台下的方形框卡槽内，防止试件与试件平台发生扭转。

[0017] 进一步的，所述围压加载装置，包括两组垂直设置的侧向加载板组，每组侧向加载板组包括两个相对、平行布设的侧向加载板，两组侧向加载板组形成矩形加载架构，以包围住压力室。

[0018] 所述两组侧向加载板组的施加压力不同或相同。

[0019] 所述围压加载装置，还包括侧向液压油缸，液压油缸驱动活塞杆推动侧向加载板给试件施加水平向压力，所述侧向液压油缸外侧设置有侧向反力板。

[0020] 所述侧向液压油缸嵌固于支撑立板中，侧向液压油缸端部顶住侧向反力板，侧向反力板与支撑立板固接，四个支撑立板固接与侧向反力板一起组成围压加载支撑框架，为侧向液压油缸提供支撑反力。

[0021] 所述钻机单元，包括钻机，所述钻机嵌入钻机滑轨中，钻机沿钻机滑轨沿轴向上下移动，钻机滑轨通过钻机滑轨固定板固定于试件顶部的反力架上，钻机与钻机伺服电机固接在一起，在上部液压杆的推动或拉动下，向下或者向上运动。

[0022] 所述钻机伺服电机为钻机提供旋转力，液压杆为钻机提供向下的压力，钻机钻头钻杆通过试件顶部的反力架和加载板的预留孔，与试件接触，发生钻进作用。

[0023] 所述监测控制单元，包括监测单元，具体包括检测四个方向上侧向围压大小的侧向围压传感器、检测侧向加载板移动距离的侧向位移传感器、检测钻机扭矩的钻机扭矩传感器、钻机转速的钻机转速传感器、钻机向下施加压力大小的钻机压力传感器和钻机上下移动距离的钻机位移传感器。

[0024] 所述监测控制单元，包括控制单元，具体包括逻辑控制器、功率放大器和伺服电机，所述逻辑控制器接受传感器的信号，与设定值进行对比，并发出电压指令，经过功率放大器，控制伺服电机工作，并实现闭环控制，控制围压以及钻机扭矩和转速、轴压和位移两组值中的任一个。

[0025] 优选的，所述侧向加载板内侧放置特制钢材加热板，加热板内部设有弯形管路，在加热板一侧面上端焊接管路入口，与之相对的侧面下端焊接管路出口，使水蒸汽或者高温液体在管路中通过，从而对试件进行加热，而后进行热力耦合作用下试件力学性能的研究。

[0026] 所述钻机为旋切式钻机或冲击式钻机。旋切式钻机的钻头可设置为取芯钻头也可设置为不取芯钻头。

[0027] 本发明提供的另一个方案是：一种地下工程中随钻参数表征岩体特性的试验方法，利用多功能真三轴岩石钻探测试系统对试件实施钻进试验，得到试件的各随钻参数，再在试件钻进试验钻孔周边，取出数组岩芯。根据试验目的不同，对岩芯处理方法不同。

[0028] (1)测定岩芯的岩体完整性参数RQD值，建立岩体RQD值与随钻参数的关系式；

[0029] (2)分别对这些岩芯实施单轴试验和三轴试验，得出该试件力学性质参数，建立岩体力学性质参数与随钻参数之间的关系式。

[0030] 通过上述关系式只需通过岩体探测随钻参数即可得出岩体的完整性参数RQD值和

力学性质参数;当然,该关系式的曲线最好能存储在真三轴岩石钻探测试仪的监测控制系统内,可实时根据关系式得出岩体的完整性参数和力学性能,简单方便。

[0031] 进一步地,为了测定岩芯试件力学性质参数,对所述的岩芯从上到下以100mm高度的标准分为多段,即切割打磨并制作成岩石标准试件,分别得出各段的力学性质参数。

[0032] 进一步地,建立岩体完整性参数RQD值与随钻参数的关系式时,所用试件为破碎岩体试件。

[0033] 进一步地,为了实现本发明的发明目的,具体步骤如下:

[0034] 步骤1)根据试验目的,确定影响三向围压加载钻探的岩体基本因素,设计合理的试验方案;

[0035] 步骤2)根据试验方案,制备相应的试验试件;

[0036] 步骤3)对制备的试件进行三向围压钻探试验,在试验过程中,采集试件钻探过程中随钻参数,并取得试件的岩芯;

[0037] 根据不同的试验目的,步骤4)将分为两种情况:

[0038] 步骤4a)对试件岩芯的取芯率进行统计,测定试件的完整性参数RQD值;

[0039] 步骤4b)对从试件中所取得岩芯进行切割打磨,制作数个标准试验试件,并进行三轴试验和单轴试验,测定试件材料的力学性质参数;

[0040] 步骤5)对采集的数据先进行预处理,然后建立处理后的数据与同深度岩石力学性质、岩体完整性参数的关系。

[0041] 进一步地,所述随钻参数包括钻机钻进速率、扭矩、转速、轴压和推导得出的钻进比功;所述岩体的力学性质参数包括单轴抗压强度、泊松比、内摩擦角、弹性模量;所述岩体完整性参数用RQD值表示。

[0042] 步骤1)中所述试验目的,包括A.建立不同围压下试件的随钻参数与岩体力学特性的关系,B.建立岩体完整性参数RQD值与随钻参数的关系;

[0043] 步骤2)中,针对建立不同围压下试件的随钻参数与岩体力学特性的关系试验,所述试验试件可为完整岩体试件、裂隙岩体试件;

[0044] 所述完整岩体试件指不同类型天然岩石按照多功能真三轴岩石钻探测试系统试件尺寸要求进行切割并打磨而制成;

[0045] 所述完整岩体试件指按照多功能真三轴岩石钻探测试系统试件尺寸要求,制作不同强度的混凝土或者砂浆试件;

[0046] 所述裂隙岩体试件,根据试验方案中岩体中裂隙参数的要求,分别将不同角度、不同厚度、不同间距的聚乙烯片预埋在岩体相似材料中,待初凝后将聚乙烯片从相似材料中取出,待试样凝固后脱模并放入特定环境中养护。

[0047] 步骤1)中,针对建立岩体完整性参数RQD值与随钻参数的关系试验,所用试件为破碎岩体试件,为将横截面为300×300mm、上下面水平光滑的岩石与砂或者碎石层交替放置于压力室内,并循环数层,每层岩石层和砂或者碎石层高度可根据试验方案设计进行变化。

[0048] 步骤3)中,所述岩芯,岩芯直径为50mm,钻探试验完成后,将试件取出,再用取芯钻机在试验孔周边钻取3～4个钻孔,钻孔编号k(k＝1,2,3…)。

[0049] 步骤4a)中,所述对试件岩芯的取芯率进行统计,测定试件的RQD值,指先统计每个钻孔的RQD值,然后将每个钻孔的RQD值的平均值作为试件的RQD值,所述每个钻孔RQD值为,

每个钻孔所取岩芯中大于10cm的岩芯累计长度与钻孔进尺长度之比的百分数。

[0050] 步骤4b)中，所述测定试件材料的力学性质参数，为将每个钻孔的岩芯切割成100mm高度的标准试件，从试件上部的标准试件到底端的标准试件依次标号i，则第k孔第i个标准试件所代表在试件中的深度为100(i-1)～100i毫米，并且将同一标号的标准试件分为一组，例如所有孔第i个标准试件为第i组，对将第i组标准试件实施单轴试验和三轴试验，得到第i组的力学性质参数(单轴抗压强度R_c、粘聚力c、内摩擦角ψ、弹性模量E)，作为100(i-1)～100i毫米深度试件的力学性质参数。

[0051] 步骤5)中，针对建立岩体完整性参数RQD值与随钻参数的关系试验，对采集的数据先进行预处理，为将对岩体破碎程度敏感的转速r′和扭矩m′进行处理，得到扭矩显著率$\overline{m}$和转速显著率$\overline{r}$，得到扭矩破碎指标QD_m和转速破碎指标QD_r。

[0052] 所述扭矩显著率$\overline{m}$和转速显著率$\overline{r}$

[0053] $$\overline{m_k} = \left|m_k' - m_{k+1}'\right| / m_k'$$

[0054] $$\overline{r_k} = \left|r_k' - r_{k+1}'\right| / r_k'$$

[0055] 式中k表示数据第k个采集点。

[0056] 所述扭矩破碎指标QD_m和转速破碎指标QD_r

[0057] $$QD_m = \frac{\sum h_i^1 + \sum l_j^1}{H}$$

[0058] $$QD_r = \frac{\sum h_i^2 + \sum l_j^2}{H}$$

[0059] 式中，h_i^1表示某一个钻孔中扭矩显著率$\overline{m}$小于临界值的第i段长度，l_i^1表示扭矩显著率指标小于临界值段之间且长度小于10mm的段中编号j的段长度。h_i^2表示某一个钻孔中转速显著率$\overline{m}$大于临界值的第i段长度，l_i^2表示转速两显著率指标大于临界值段之间且长度小于10mm的段中编号j的段长度，H为某一钻孔的总长度。所述扭矩显著率临界值和转速显著率临界值为根据试验得到的，扭矩显著率和转速显著率大于某一固定值时，判别到的破碎岩体的保证率在95％，那么该固定值就是临界值。

[0060] 步骤5)中，针对建立岩体完整性参数RQD值与随钻参数的关系试验，所述建立处理后的数据与岩体完整性参数RQD的关系，为在大量试验数据的基础上，将试件的RQD值与扭矩破碎指标QD_m和转速破碎指标QD_r利用多元线性回归的方法进行公式拟合，最终拟合公式的形式为：

[0061] $RQD = \beta_0 + \beta_1 QD_m + \beta_2 QD_r$

[0062] 其中β_0、β_1、β_2都为回归系数。

[0063] 步骤5)中，针对建立不同围压下试件的随钻参数与岩体力学特性的关系试验，所述对采集的数据先进行预处理，指将采集到的试件钻进速率v′、扭矩m′、转速r′、轴压n′和推知的钻进比功w′数据从试件上部到底部按100mm分段，第i段代表试件深度为100(i-1)～100i毫米，将该段各指标的算术平均值作为该段的代表值(钻进速率v、扭矩m、转速r、轴压n和推知的钻进比功w)。

[0064] 步骤5)中所述建立处理后的数据与同深度岩石力学性质的关系，指通过逐步回归的方法分别回归随钻参数代表值与岩石各个力学性质参数的最优关系式，包括拟合单轴抗压强度R_c与随钻参数代表值的最优关系式、拟合粘聚力c与随钻参数代表值的最优关系式、拟合内摩擦角ψ与随钻参数代表值的最优关系式和拟合弹性模量E与随钻参数代表值的最优关系式。上述四种关系式拟合方法和操作步骤相同，以拟合内摩擦角ψ与随钻参数代表值的最优关系式为例，进行说明，包括以下几个步骤：

[0065] (1)明确自变量和因变量，计算相关系数矩阵，此步骤包括4个小步骤。

[0066] A.自变量为扭矩x_1、转速x_2、轴压力x_3、钻进速率x_4和钻进比功x_5因变量为内摩擦角y_1，5元回归模型为：

[0067] $$\widehat{y_1} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5$$

[0068] B.计算各变量的平均值

[0069] 对于自变量和因变量根据大量现场试验有n组数据，则各变量平均数

[0070] $$\overline{x_i}=\frac{1}{n}\sum_{1}^{n}x_{ki}$$

[0071] $$\overline{y}=\frac{1}{n}\sum_{1}^{n}y_k$$

[0072] x_{ki}表示第k次试验数据中，x_i的值。

[0073] C.计算离差阵

[0074] 自变量平方和为SS_i，自变量间及其因变量乘积和为SP_{ij}和SP_{iy}

[0075] $$SS_i=\sum_{1}^{n}(x_{ki}-\overline{x_i})^2$$

[0076] $$SP_{ij}=\sum_{1}^{n}(x_{ki}-\overline{x_i})(x_{kj}-\overline{x_j})$$

[0077] $$SP_{iy}=\sum_{1}^{n}(x_{ki}-\overline{x_i})(y_k-\overline{y})$$

[0078] 于是得到正规方程组

[0079] $$\begin{cases}SS_1b_1+SP_{12}b_2+SP_{13}b_3+SP_{14}b_4+SP_{15}b_5=SP_{1y}\\ \cdots\\ SS_{51}b_1+SP_{52}b_2+SP_{53}b_3+SP_{54}b_4+SP_{55}b_5=SP_{5y}\end{cases}$$

[0080] D.计算相关系数矩阵

[0081] 在逐步回归中为便于表达和计算，通常将离差阵化为相关阵，计算公式为

[0082] $r_{iy}=SP_{ij}/(SS_iSS_j)^{0.5}$

[0083] 式中，i，j＝1,2,3,4,5，r_{iy}为x_1、x_2、x_3、x_4、x_5、y之间的相关系数；相关系数矩阵为

[0084] $$\begin{cases}r_{11}p_1+r_{12}p_2+r_{13}p_3+r_{14}p_4+r_{15}p_5=r_{1y}\\ \cdots\\ r_{51}p_1+r_{52}p_2+r_{53}p_3+r_{54}p_4+r_{55}p_5=r_{5y}\end{cases}$$

[0085] 于是相关系数矩阵为

[0086] $R^{(0)}=[r_{ij}^{(0)}]$

[0087] 式中0代表原始相关系数。

[0088] (2)确定显著性的F检验水准

[0089] 本试验样本观察数n远大于自变量个数m，则m个自变量被引入的个数对剩余自变量自由度影响不大，此时选定一个固定F检验值，不用更换，显著水准α不宜过小，如可选α＝0.1。F_α为显著性水平为α时的F值，可查F检验临界值表得到。

[0090] (3)选取第1个自变量

[0091] A.对5个自变量计算偏回归平方和u_i

[0092] $u_i=r_{iy}^2/r_{ii}$ (i＝1,2,3,4,5)

[0093] u_i值越大表示该自变量被引入回归方程后对方差的贡献越大，该自变量最先引入回归方程，如将x_k引入回归方程。

[0094] B.引入自变量x_k后，相关系数阵$R^{(1)}$经过下列公式变化，转换为$R^{(l+1)}$。

[0095]
$$\begin{cases} r_{kk}^{(l+1)}=1/r_{kk}^{(l)} \\ r_{kj}^{(l+1)}=r_{kj}^{(l)}/r_{kk}^{(l)}(j\neq k) \\ r_{ik}^{(l+1)}=-r_{ik}^{(l)}/r_{kk}^{(l)}(i\neq k) \\ r_{ij}^{(l+1)}=r_{ij}^{(l)}-r_{ik}^{(l)}r_{kj}^{(l)}/r_{kk}^{(l)}(i,j\neq k) \end{cases}$$

[0096] (4)选取第2个自变量

[0097] A.计算各自变量回归平方和

[0098] $u_i^{(2)}=[r_{iy}^{(1)}]^2/r_{ii}^{(1)}$ (i＝1,2,3,4,5)

[0099] 取除了已经引用的x_k外，将其与自变量中$u_i^{(2)}$中最大的自变量引入回归方程，假如为x_l。

[0100] B.对引入的自变量x_l进行F检验

[0101] $F_l=u_5^{(2)}/[(1-u_k^{(1)}-u_l^{(2)})/(n-2-1)]$

[0102] 若$F_l>F_\alpha$则引入x_l，否则不引入。

[0103] C.引入x_l后，按$R^{(l+1)}$公式进行变化，将$R^{(1)}$变化为$R^{(2)}$。

[0104] D.对引入x_k和x_l进行显著性检验

[0105] 先计算出各偏回归平方和及剩余平方和

[0106] $u_i^{(3)}=[r_{iy}^{(2)}]^2/r_{ii}^{(2)}$ (i＝1,2,3,4,5)

[0107] 若$u_k^{(3)}>u_l^{(3)}$，则x_k和x_l都显著并保留，否则剔除x_k。

[0108] (5)重复第(4)步，直至取完所有自变量

[0109] (6)建立最优回归方程

[0110] 在逐步回归分析中采用的是标准化的量，即由相关系数求得的解p_i为标准回归系数，再将其转换为偏回归系数b_i，

[0111]
$$b_i=\frac{p_iS_y}{S_{xi}}$$

[0112] 假设x_k、x_l和x_z为被选自变量，b_l、b_k、b_z为自变量相应的偏回归系数；

[0113]
$$b_0=\overline{y_1}-b_l\overline{x_l}-b_k\overline{x_k}-b_z\overline{x_z}$$

[0114] 最优回归方程为

[0115] $\widehat{y_1} = b_0 + b_k x_k + b_l x_l + b_z x_z$ 。

[0116] 利用真三轴岩石钻探测试仪进行步骤3)中所述的钻探试验，包括以下几步：

[0117] 步骤A：将试验试件，放入到施加围压的侧向加载板组成的压力室内，然后将试件平台推入试验台的中央。

[0118] 步骤B：在与逻辑控制器配套的计算机软件中输入设定的围压值，逻辑控制器控制液压泵站工作，液压油进入四侧向液压油缸，推动侧面加载板为试件施加侧向压力，侧向围压传感器时刻接收侧向液压油缸压力信号，并与逻辑控制器一起动态维持围压。

[0119] 步骤C：在软件中输入设定的轴压值，轴向液压油缸带动轴向加载板举升试件平台和试件，与顶部反力架底部的平台板接触并互相挤压，产生轴力作用，轴压传感器与逻辑控制器一起动态维持轴压。

[0120] 步骤D：在软件中设定取芯钻机的运行参数，逻辑控制器控制液压泵站的伺服电机和钻机伺服电机，进而控制液压杆和钻机向下运动，持续钻进，钻机位移传感器和转速传感器时刻监测钻机钻进过程中的钻进速率和转速，并与逻辑控制器、功率放大器、钻机中的伺服电机和减速器共同作用，使钻机在设定的参数下工作直至完成钻进。

[0121] 本发明的有益效果是：

[0122] 1)本发明以多功能真三轴岩石钻探测试仪为预设试验装置，该试验仪具备对试件进行真三轴加载的功能，能模拟试件在地下工程中三向围压状态下钻机钻进过程。

[0123] 2)本发明可建立不同围压下试件的随钻参数与岩体力学特性的相关关系等目标，提供了从试件制备到数据处理详尽的试验方法。

[0124] 3)利用多功能真三轴岩石钻探测试仪和本发明提出的试验方法，建立随钻参数与岩体力学性质和裂隙分界情况，代替了现场取芯、室内试验这一步骤，既节省了从现场取芯到得出试验报告的时间，又避免了所取岩芯已经脱离了原始的环境应力、温度等约束条件，不能很好的代表岩体本身强度的问题，解决了在软弱破碎的复杂地层钻进时岩芯采取率和完整性难以保证，从而无法得出当地岩层的物理性质及力学参数这一难题，使得所测得的围岩强度更科学可靠。

[0125] 4)本发明提供的钻探测试系统可测定钻机钻进过程中的位移、钻进速率、转速、扭矩、冲击压力参数，并可设定钻进速率和转速或者设定钻进速率和扭矩，实现恒位移钻进，还可设定轴压和转速或者设定轴压和扭矩实现恒压钻进。

附图说明

[0126] 图1是本发明多功能真三轴岩石钻探测试仪的正面结构示意图。

[0127] 图2是本发明多功能真三轴岩石钻探测试仪的侧面结构示意图。

[0128] 图3是本发明装置中的围压施加装置和试件平台剖面示意图。

[0129] 图4是本发明装置中的液压杆结构示意图。

[0130] 图5是本发明装置中的监测控制系统原理框图。

[0131] 图6是本发明装置中的加热板结构示意图。

[0132] 图中，1、试验台；2、轴向液压油缸；3、密封塞；4、轴向加载板；5、支撑立板；6、侧向液压油缸；7、侧向反力板；8、侧向加载板；9、顶部反力架；10、铁轨；11、试件平台；12、钻杆；

13、钻机；14、钻机伺服电机；15、液压杆；16、支撑立柱；17、方形框卡槽；18、试件；19、平台板；20、车轮；21、活塞杆；22、车轮轴承；23、侧向液压油缸进油口；24、侧向液压油缸出油口；25、试件基座；26、液压杆活塞；27、液压杆进油口；28、液压杆出油口；29、钻机滑轨；30、钻机滑轨固定板；31、压力室；32、预留孔；33、轴压传感器；34、轴向位移传感器；35、侧向围压传感器；36、侧向位移传感器；37、钻机转速传感器；38、钻机扭矩传感器；39、钻机压力传感器；40、钻机位移传感器；41、逻辑控制器；42、功率放大器；43、液压泵伺服电机；44、加热板；45、管路入口；46、管路；47、管路出口。

具体实施方式

[0133] 下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整的描述。

[0134] 真三轴岩石钻探测试仪包括顶部设有反力架的支撑框架，在支撑框架内设置用于放置试件的试件平台11，在试件平台11的周侧设置围岩加载装置，在试件平台11的底部设置可将试件的上部与反力架接触的轴压加载装置，在反力架9的上部设置可升降可旋转的钻机13，该钻探测试仪还包括用于测量试件随钻参数的传感器和与传感器连接的监测控制系统。

[0135] 所述的传感器包括设于所述试件平台底部的轴向位移传感器34、设于钻机13上的钻机转速传感器36和钻机扭矩传感器37和设于所述围岩加载装置上的侧向围压传感器35。

[0136] 所述支撑框架底部支撑与试验台1上，四个支撑立柱16竖立并固定于试验台1，上部有反力架9与四个支撑立柱16相连，反力架9开有钻杆通过的预留孔32。试验台1中部为一圆柱形凹孔，轴向液压油缸放置在该凹孔内，活塞杆21从轴向液压油缸2顶部伸出，活塞杆21固接于轴向加载板4，活塞杆21与试验台1之间用密封塞密封，试件18放于试件平台11上，试件18顶部为顶部反力架9。

[0137] 轴向加载装置的工作原理是：液压泵将液压油推入轴向液压油缸2中，进而推动液压油缸内活塞杆21向上运动，上移一段距离后，轴向加载板4嵌入试件平台11中，推动试件18向上运动，并与顶部的反力架9接触施加轴力。

[0138] 所述变截面活塞杆21底部为圆形截面，从下到上圆形活塞杆21截面增大数次，活塞杆21顶部与一正方体钢制轴向加载板4固接。

[0139] 所述试件平台11下中部位置焊接有方形框卡槽17，其内尺寸与轴向加载板4尺寸一致，活塞杆推动轴向加载板4卡入试件平台下的方形框卡槽17内，防止试件18与试件平台11发生扭转。试件平台11下方设置四个车轮20，车轮20在铁轨10上移动，铁轨10固定在试验台1上。

[0140] 所述顶部反力架9下固接平台板19，平台板19直接与试件接触，平台板19和反力架9中部设置预留孔，使钻机13钻杆通过。

[0141] 围压加载装置，试件每侧面设置有侧向液压油缸6，侧向液压油缸6伸出侧向活塞杆，侧向活塞杆与侧向加载板8固接，侧向液压油缸6嵌固于支撑立板中，侧向液压油缸6端部顶住侧向反力板7，侧向反力板7与支撑立板5固接，四支撑立板5固接与侧向反力板7一起，为侧向液压油缸6提供支撑反力，围压加载装置放置于试件平台11上，可随试件平台11上下移动，并沿铁轨10拉出，所述围压加载装置相邻侧向液压油缸可独立控制，即可施加相

邻试件侧面不等值压力。

[0142] 所述侧向加载板8为长方体钢板，在液压油缸驱动的活塞推动下，给试件施加水平向压力，加载板高度与试件相同，宽度略小于试件，以防止相邻侧向加载板8在试件压缩变形后互相干扰。

[0143] 钻机系统，钻机13嵌入钻机滑轨中，钻机13可沿钻机滑轨上下移动，钻机滑轨通过钻机滑轨固定板30固定于试件顶部的反力架9上，钻机13与钻机伺服电机固接在一起，在上部液压杆15内液压杆活塞26的推动或拉动下，向下或者向上运动，钻机伺服电机14为钻机13提供旋转力，液压杆15为钻机13提供向下的压力，钻机13钻头钻杆通过试件顶部的反力架9和加载板的预留孔，液压杆15上设有液压杆进油口27和液压杆出油口28与试件接触，发生钻进作用。

[0144] 所述钻机13可设置为旋切式钻机，也可设置成冲击式钻机。旋切式钻机的钻头可设置为取芯钻头也可设置为不取芯钻头。

[0145] 监测控制系统，由轴压传感器33、轴向位移传感器34、四个侧向围压传感器35、四个侧向位移传感器36、钻机转速传感器37、钻机扭矩传感器38、钻机压力传感器39、钻机位移传感器40、逻辑控制器41、功率放大器42和伺服电机组成。

[0146] 监测控制系统可控制轴压和围压，并可控制钻机扭矩和转速、轴压和位移两组值中的任一个。

[0147] 工作过程为:逻辑控制器41接受各个传感器的信号，与设定值进行对比，并发出电压指令，经过功率放大器42，控制伺服电机工作，并实现闭环控制。

[0148] 本发明具有真三轴试验机的功能，可对不同尺寸岩石试件实施真三轴试验。

[0149] 钻机13将钻头拧去后，再拧上一个单轴加载板，钻机13部分沿钻机滑轨29向下移动，成为一个单轴压力机，在压力室内放置试件，单轴加载板对标准试件施加轴向压力，同时钻机13的钻机压力传感器39、钻机位移传感器40和钻机扭矩传感器38可记录单轴加载板向下运动时的轴压、位移和速率。

[0150] 所用试件内若有含水体或者充填裂隙水，可放置于一个内尺寸和试件尺寸一致的高压力密封橡胶盒中，再在试件顶部覆盖一个尺寸略大于底部橡胶盒的橡胶盖，橡胶盖在钻机钻头和钻杆穿过区域预留孔洞，轴向和侧向加载板将压力作用到橡胶盒与橡胶盖上，再通过橡胶盒和橡胶盖为试件施加三向压力，此设计可防止内部水体外流，使试验仪可对含水岩体进行试验。

[0151] 可在试件18外侧，如图6所示，在侧向加载板8内侧放置特制钢材加热板44，加热板44厚度大于20mm，加热板44内部设有弯形管路46，在加热板一侧面上端焊接管路入口45，与之相对的侧面下端焊接管路出口47，使水蒸汽或者高温液体在管路中通过，从而对试件进行加热，而后进行热力耦合作用下试件力学性能的研究。

[0152] 本实施例装置中所用钻机以取芯钻机为例，钻机还可选择不取芯旋切式钻机和冲击式钻机。并以不同围压下试件的随钻参数与岩体力学特性的相关关系试验目的为例。

[0153] 步骤1，根据试验目的，确定影响三向围压加载钻探的岩体基本因素为岩体类型，即准备不同类型的岩体试验，花岗岩、大理岩、石灰岩、透明相似材料、不同强度混凝土块等。

[0154] 步骤2，根据试验方案，制备相应的试验试件，将不同类型岩体切割成截面为300×

300毫米、高度300～600毫米的长方体。

[0155] 步骤3，对制备的试件进行三向围压钻探试验，在试验过程中，采集试件钻探过程中随钻参数，并取得试件的岩芯。

[0156] 其中三向围压钻探试验具体操作步骤为：

[0157] 步骤A：将试验试件18，放入到四个施加围压的侧向加载板8组成的压力室31内，然后将试件平台11推入试验台1的中央。

[0158] 步骤B：在与逻辑控制器41配套的计算机软件中输入设定的围压值，逻辑控制器41控制液压泵站工作，液压油进入四侧向液压油缸6，推动侧面加载板8为试件18施加侧向压力，侧向围压传感器35时刻接收侧向液压油缸6压力信号，并与逻辑控制器41一起动态维持围压。

[0159] 步骤C：在监测控制系统中输入设定的轴压值，轴向液压油缸2带动轴向加载板4举升试件平台11和试件18，与顶部反力架9底部的平台板19接触并互相挤压，产生轴力作用，轴压传感器33与逻辑控制器41一起动态维持轴压。

[0160] 步骤D：在监测控制系统中设定取芯钻机13的运行参数，逻辑控制器40控制液压泵站的伺服电机43和钻机伺服电机14，进而控制液压杆15和钻机13向下运动，持续钻进，钻机位移传感器40和转速传感器37时刻监测钻机钻进过程中的钻进速率和转速，并与逻辑控制器41、功率放大器42、钻机中的伺服电机14和减速器共同作用，使钻机13在设定的参数下工作直至完成钻进。

[0161] 步骤4，钻探试验完成后，将试件取出，再用取芯钻机在试验孔周边钻取3～4个钻孔，钻孔编号k(k＝1,2,3…)，将每个钻孔的岩芯切割成100mm高度的标准试件，从试件上部的标准试件到底端的标准试件依次标号，则第k孔第i个标准试样所代表在试件中的深度为100(i-1)～100i毫米，并且将同一标号的标准试件分为一组，例如所有孔第i个标准试件为第i组，对将第i组标准试件实施单轴试验和三轴试验，得到第i组的力学性质参数(单轴抗压强度N、粘聚力c、内摩擦角ψ、弹性模量E)，作为100(i-1)～100i毫米深度试件的力学性质参数。

[0162] 步骤5，对采集的数据先进行预处理，即将采集到的试件钻进速率v′、扭矩m′、转速r′、轴压n′和推知的钻进比功w′数据从试件上部到底部按100mm分段，第i段代表试件深度为100(i-1)～100i毫米，将该段各指标的算术平均值作为该段的代表值(钻进速率v、扭矩m、转速r、轴压n和推知的钻进比功w)。

[0163] 步骤6，通过逐步回归的方法分别回归随钻参数代表值与岩石各个力学性质参数的最优关系式，包括拟合单轴抗压强度R_c与随钻参数代表值的最优关系式、拟合粘聚力c与随钻参数代表值的最优关系式、拟合内摩擦角ψ与随钻参数代表值的最优关系式和拟合弹性模量E与随钻参数代表值的最优关系式。上述四种关系式拟合方法和操作步骤相同，以拟合内摩擦角ψ与随钻参数代表值的最优关系式为例，进行说明，包括以下几个步骤：

[0164] (1)明确自变量和因变量，计算相关系数矩阵，此步骤包括4个小步骤。

[0165] A.自变量为扭矩x_1、转速x_2、轴压力x_3、钻进速率x_4和钻进比功x_5因变量为内摩擦角y_1，5元回归模型为：

[0166] $$\widehat{y_1} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5$$

[0167] B.计算各变量的平均值

[0168] 对于自变量和因变量根据大量现场试验有n组数据，则各变量平均数

[0169] $\overline{x_i}=\frac{1}{n}\sum_{1}^{n}x_{ki}$

[0170] $\overline{y}=\frac{1}{n}\sum_{1}^{n}y_{k}$

[0171] x_{ki}表示第k次试验数据中，x_i的值。

[0172] C.计算离差阵

[0173] 自变量平方和为SS_i，自变量间及其因变量乘积和为SP_{ij}和SP_{iy}

[0174] $SS_i=\sum_{1}^{n}(x_{ki}-\overline{x_i})^2$

[0175] $SP_{ij}=\sum_{1}^{n}(x_{ki}-\overline{x_i})(x_{kj}-\overline{x_j})$

[0176] $SP_{iy}=\sum_{1}^{n}(x_{ki}-\overline{x_i})(y_k-\overline{y})$

[0177] 于是得到正规方程组

[0178] $$\begin{cases}SS_1b_1+SP_{12}b_2+SP_{13}b_3+SP_{14}b_4+SP_{15}b_5=SP_{1y}\\ \cdots\\ SS_{51}b_1+SP_{52}b_2+SP_{53}b_3+SP_{54}b_4+SP_{55}b_5=SP_{5y}\end{cases}$$

[0179] D.计算相关系数矩阵

[0180] 在逐步回归中为便于表达和计算，通常将离差阵化为相关阵，计算公式为

[0181] $r_{iy}=SP_{ij}/(SS_iSS_j)^{0.5}$

[0182] 式中，i，j＝1,2,3,4,5，r_{iy}为x_1、x_2、x_3、x_4、x_5、y之间的相关系数；相关系数矩阵为

[0183] $$\begin{cases}r_{11}p_1+r_{12}p_2+r_{13}p_3+r_{14}p_4+r_{15}p_5=r_{1y}\\ \cdots\\ r_{51}p_1+r_{52}p_2+r_{53}p_3+r_{54}p_4+r_{55}p_5=r_{5y}\end{cases}$$

[0184] 于是相关系数矩阵为

[0185] $R^{(0)}=[r_{ij}^{(0)}]$

[0186] 式中0代表原始相关系数。

[0187] (2)确定显著性的F检验水准

[0188] 本试验样本观察数n远大于自变量个数m，则m个自变量被引入的个数对剩余自变量自由度影响不大，此时选定一个固定F检验值，不用更换，显著水准α不宜过小，如可选α＝0.1。

[0189] (3)选取第1个自变量

[0190] B.对5个自变量计算偏回归平方和u_i

[0191] $u_i=r_{iy}^2/r_{ii}$(i＝1,2,3,4,5)

[0192] u_i值越大表示该自变量被引入回归方程后对方差的贡献越大，该自变量最先引入回归方程，如将x_k引入回归方程。

[0193] B.引入自变量x_k后，相关系数阵$R^{(1)}$经过下列公式变化，转换为$R^{(1+1)}$。

[0194] $$\begin{cases} r_{kk}^{(l+1)} = 1/r_{kk}^{(l)} \\ r_{kj}^{(l+1)} = r_{kj}^{(l)}/r_{kk}^{(l)} (j \neq k) \\ r_{ik}^{(l+1)} = -r_{ik}^{(l)}/r_{kk}^{(l)} (i \neq k) \\ r_{ij}^{(l+1)} = r_{ij}^{(l)} - r_{ik}^{(l)} r_{kj}^{(l)}/r_{kk}^{(l)} (i,j \neq k) \end{cases}$$

[0195] (4)选取第2个自变量

[0196] B.计算各自变量回归平方和

[0197] $u_i^{(2)} = [r_{iy}^{(1)}]^2 / r_{ii}^{(1)}$ (i＝1,2,3,4,5)

[0198] 取除了已经引用的x_k外,将其与自变量中$u_i^{(2)}$中最大的自变量引入回归方程,假如为x_l。

[0199] B.对引入的自变量x_l进行F检验

[0200] $F_l = u_5^{(2)} / [(1-u_k^{(1)} - u_l^{(2)}) / (n-2-1)]$

[0201] 若$F_l > F_\alpha$则引入x_l,否则不引入。

[0202] C.引入x_l后,按$R^{(l+1)}$公式进行变化,将$R^{(l)}$变化为$R^{(2)}$。

[0203] D.对引入x_k和x_l进行显著性检验

[0204] 先计算出各偏回归平方和及剩余平方和

[0205] $u_i^{(3)} = [r_{iy}^{(2)}]^2 / r_{ii}^{(2)}$ (i＝1,2,3,4,5)

[0206] 若$u_k^{(3)} > u_l^{(3)}$,则x_k和x_l都显著都保留,否则剔除x_k。

[0207] (5)重复第(4)步,直至取完所有自变量

[0208] (6)建立最优回归方程

[0209] 在逐步回归分析中采用的是标准化的量,即由相关系数求得的解p_i为标准回归系数,再将其转换为偏回归系数b_i,

[0210] $$b_i = \frac{p_i S_y}{S_{xi}}$$

[0211] 假设x_k、x_l和x_z为被选自变量,b_l、b_k、b_z为自变量相应的偏回归系数;

[0212] $$b_0 = \overline{y_1} - b_j \overline{x_j} - b_k \overline{x_k} - b_z \overline{x_z}$$

[0213] 最优回归方程为

[0214] $$\widehat{y_1} = b_0 + b_k x_k + b_l x_l + b_z x_z$$

[0215] 通过上述的计算方法,可以求得表征岩体特性的关系式。

[0216] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

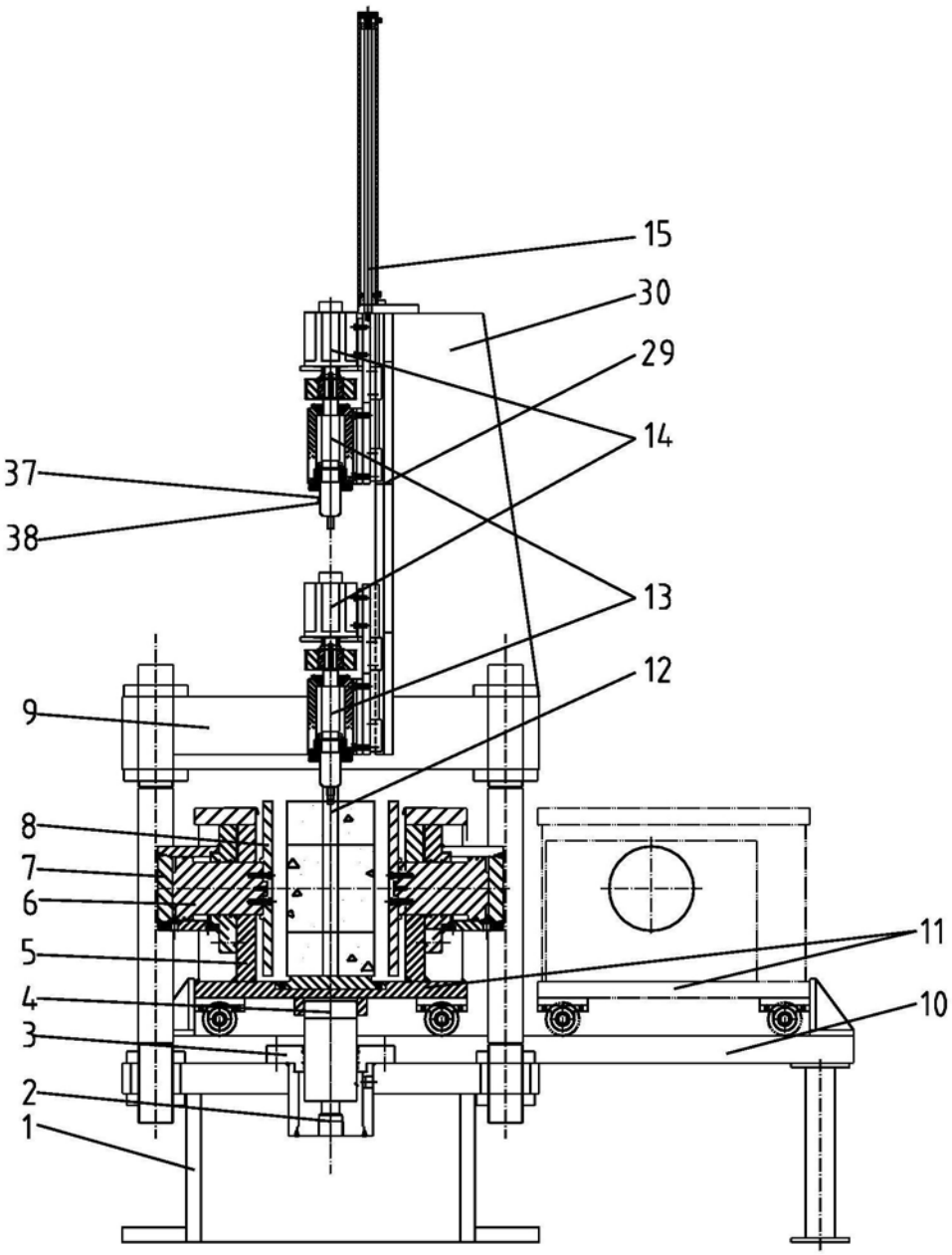


图1

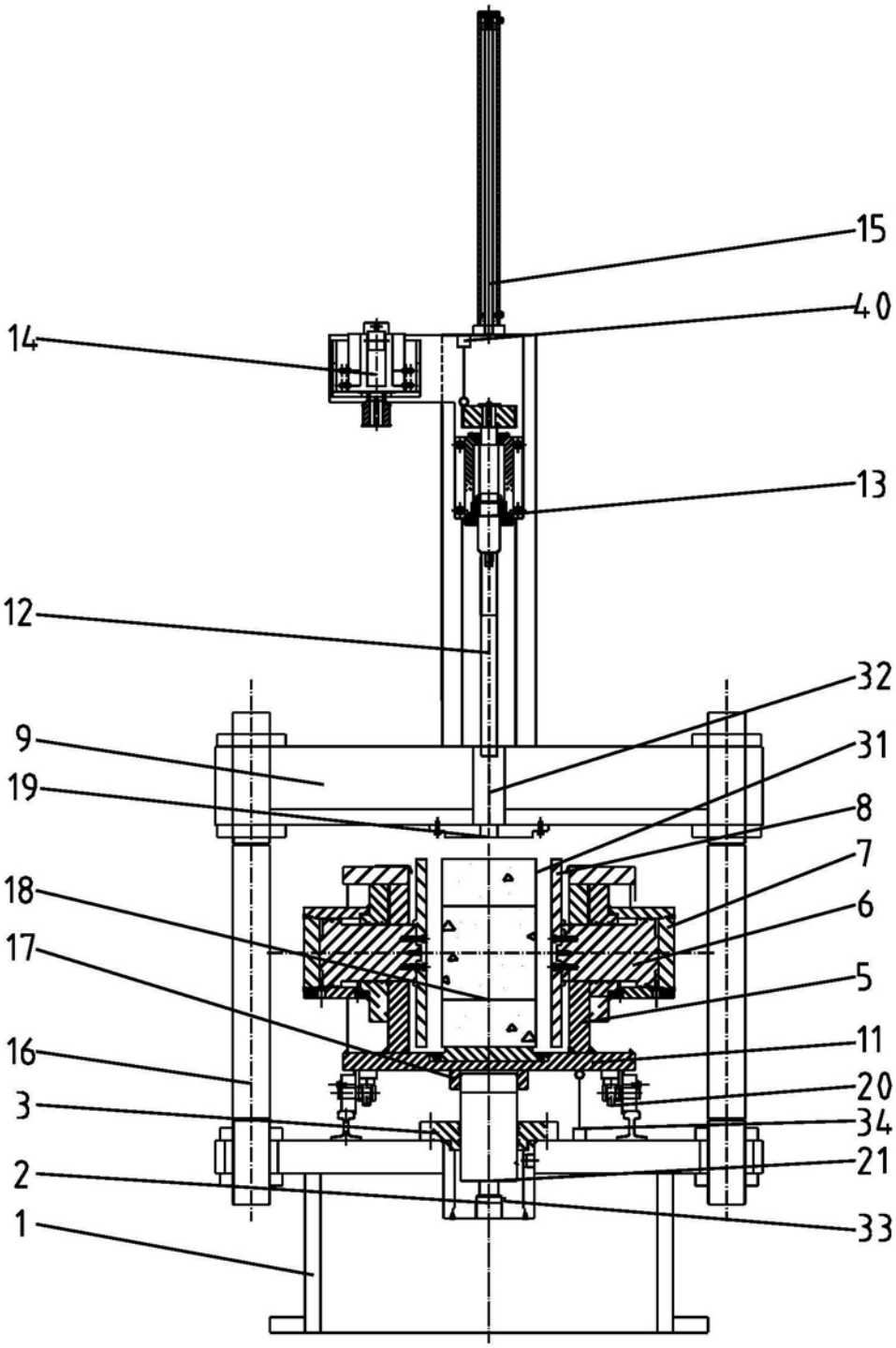


图2

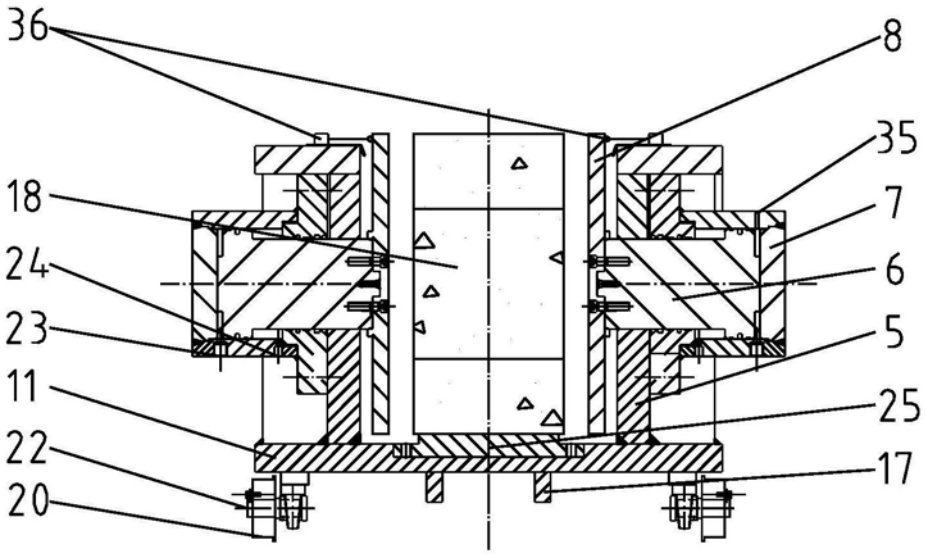


图3

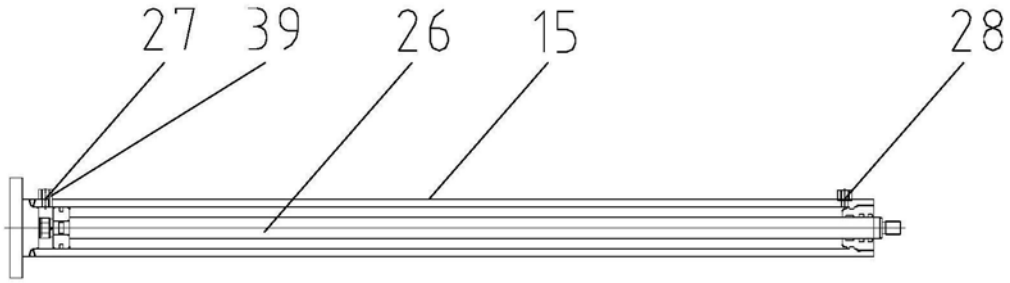


图4

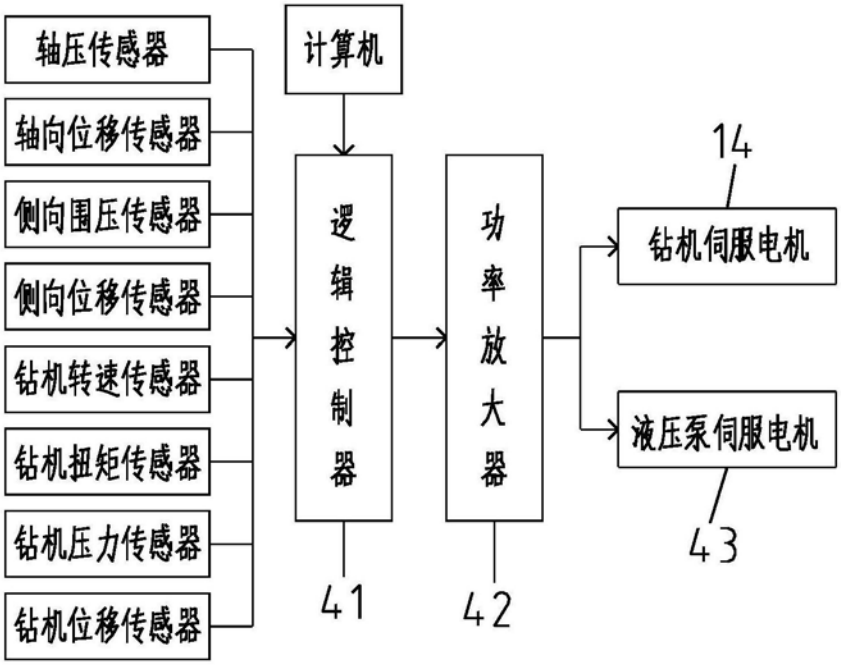

轴压传感器
轴向位移传感器
侧向围压传感器
侧向位移传感器
钻机转速传感器
钻机扭矩传感器
钻机压力传感器
钻机位移传感器
计算机
逻辑控制器
功率放大器
14
钻机伺服电机
液压泵伺服电机
43
41
42

图5

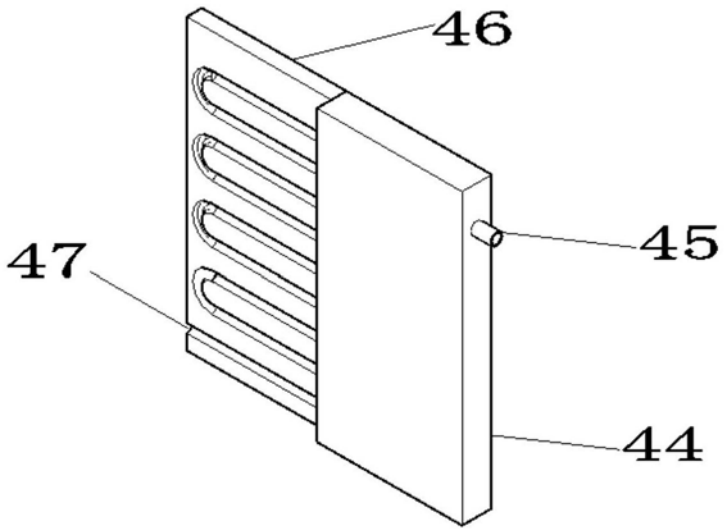

46
47
45
44

图6