

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 11 月 19 日 (19.11.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/228380 A1

- (51) 国际专利分类号:
E21F 17/18 (2006.01) *G01B 11/16* (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2020/073573
- (22) 国际申请日: 2020 年 1 月 21 日 (21.01.2020)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201910388911.9 2019年5月10日 (10.05.2019) CN
- (71) 申请人: 山东大学 (SHANDONG UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国山东省济南市历下区经十路
17923号, Shandong 250061 (CN)。
- (72) 发明人: 林春金 (LIN, Chunjin); 中国山东省济
南市历下区经十路 17923 号, Shandong 250061

(CN)。 许振浩 (XU, Zhenhao); 中国山东省济
南市历下区经十路 17923 号, Shandong 250061
(CN)。 王文扬 (WANG, Wenyang); 中国山东省
济南市历下区经十路 17923 号, Shandong 250061
(CN)。 刘清瑶 (LIU, Qingyao); 中国山东省济
南市历下区经十路 17923 号, Shandong 250061
(CN)。 林鹏 (LIN, Peng); 中国山东省济南市历
下区经十路 17923 号, Shandong 250061 (CN)。 谢
辉辉 (XIE, Huihui); 中国山东省济南市历下区
经十路 17923 号, Shandong 250061 (CN)。 余腾
飞 (YU, Tengfei); 中国山东省济南市历下区经
十路 17923 号, Shandong 250061 (CN)。 王孝特
(WANG, Xiaote); 中国山东省济南市历下区经
十路 17923 号, Shandong 250061 (CN)。

(74) 代理人: 济南圣达知识产权代理有限公司 (JINAN
SHENGDA INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY

(54) Title: VEHICLE-MOUNTED TUNNEL COLLAPSE MONITORING AND EARLY-WARNING SYSTEM AND METHOD

(54) 发明名称: 一种车载式隧道塌方监测预警系统及方法

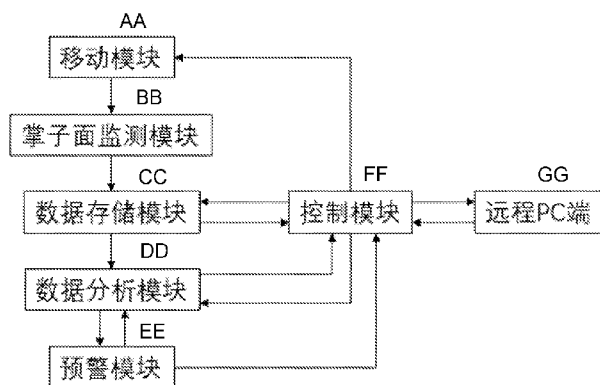


图 1

AA Movable module
BB Tunnel face monitoring module
CC Data storage module
DD Data analysis module
EE Early warning module
FF Control module
GG Remote PC terminal

(57) Abstract: Provided is a vehicle-mounted tunnel collapse monitoring and early-warning system, comprising a movable vehicle. The movable vehicle carries a tunnel face monitoring module, a data storage module and a processor. The system can perform fully-automatic real-time monitoring, data analysis and prediction on conditions such as the degree of protrusion of a tunnel face, the tunnel rock mass stability and the like, so as to give an early warning of the occurrence of a collapse. A vehicle body is completely controlled by means of a control module, no manual adjustment and mounting and dismounting of a device are needed, manpower is saved, and operation is

CO., LTD.); 中国山东省济南市经十路17703号华特广场B308室, Shandong 250061 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

simple and rapid; and the technical problems regarding tunnel face center axis deformation prediction and early warning is solved, and the device achieves precision in tunnel center axis positioning. The defects that in an existing tunnel rock-mass deformation monitoring method, the measured data error is large, and the method is limited to displacement measurement of the tunnel hole periphery are overcome, and accurate measurement of tunnel face protruding deformation is achieved. Further disclosed is a working method of the system.

(57) 摘要: 一种车载式隧道塌方监测预警系统, 包括移动车辆, 该移动车辆上搭载有掌子面监测模块、数据存储模块和处理器。该系统能够进行掌子面突出程度、隧道岩体稳定性等情况的全自动实时监测及数据分析并预测, 从而预警塌方的发生。车体部分完全通过控制模块控制, 无需进行手动调整及装置的安装及拆卸工作, 节约人力且操作简单便捷; 解决了掌子面中轴变形预测预警的技术难题, 装置在隧道中轴定位实现了精确化。解决了以往隧道岩体变形监测方法中测得数据误差大、且局限于隧道洞周位移量测的弊端, 实现了对隧道掌子面突出变形的精确测量。还公开了该系统的工作方法。

一种车载式隧道塌方监测预警系统及方法

技术领域

本公开涉及一种车载式隧道塌方监测预警系统及方法。

背景技术

本部分的陈述仅仅是提供了与本公开相关的背景技术信息，不必然构成在先技术。

在隧道施工过程中，复杂的地质条件给隧道工程施工安全带来了极大的挑战。塌方，是最为常见的地质灾害之一，其造成了工期延误，设备损坏，为国家带来了经济损失；甚至造成了人员伤亡及工程报废。

为避免塌方事故的发生，本领域的技术人员多从塌方灾害处治、不良地质超前预报与隧道净空收敛监控量测（隧道周边相对位移）的三种角度解决塌方预防预警技术难题。

但是，据发明人了解，通过不良地质超前预报方式解决塌方预防预警问题，多存在仅超前地质预报与常规施工监控量测的相互辅助，难以避免塌方灾害的发生，且超前预报中监控量测构成部分以隧道洞周相对位移为主，而隧道掌子面因支护情况较差，更易产生塌方。

以隧道周边相对位移监测来进行塌方的预防方式的缺点在于：通过洞周变形监测位移，能够监测拱顶沉降与周边收敛带来的塌方前兆信息，但是很多塌方是由开挖面开始呈现前兆信息的，因此该方案更多是用来监测支护后的支护效果，对于开挖后最危险的掌子面区域并未涉及监测预警，同时，这种方式的预警机制为净空收敛变化，但隧道开挖总要产生一个较为快速的变形阶段，因此单纯的以净空收敛速率为报警阈值的技术方案存在延误工期的缺陷，这种方式不会涉及掌子面监测信息，而掌子面自稳能力较弱是隧道工程产生塌方的重要原因。

以监测掌子面沿隧道轴向变形的办法来进行塌方的预报，这种方式多采用沿掌子面布设反光片，其反光片与测距装置的激光束垂直，在掌子面各个位置布设反光片，两次测量的差值为掌子面沿隧道轴向位移，存在如下缺陷：1) 隧道后方必然施做二次衬砌，如施做二次衬砌则激光测距仪将被拆卸，致使无法监测；需要人为调整，拆卸，安装测距装置，不可避免地对测距装置产生扰动，会产生较大误差；需沿隧道壁布设大量测距仪，若与掌子面各反光片垂直布设，则占用大量隧道后方净空，致使前方无法施工，且施工台车无法开入。

综上所述，上述几种方式在隧道塌方预警过程中都有比较大的限制和不足。

发明内容

本公开为了解决上述问题，提出了一种车载式隧道塌方监测预警系统及方法，本公开可

应用于任一隧道工程的开挖中，实现对掌子面突出程度、隧道岩体稳定性等情况的全自动实时监测、数据分析与预报预警。

根据一些实施例，本公开采用如下技术方案：

一种车载式隧道塌方监测预警系统，包括移动车辆，所述移动车辆上搭载有掌子面监测模块、数据存储模块和处理器，其中：

所述移动车辆包括底盘和位于底盘下端的移动机构，所述底盘设置有车身主体前端设置有测距机构，用于测定设置位置与掌子面的距离，所述移动机构上设置有角度测控器，分别通过角度控制移动机构的转动以及与车身主体正前方的夹角，所述移动机构上还设置有行进距离测量机构，以测量移动机构的运动距离；

所述掌子面监测模块包括竖直向激光测距仪和角度传感器，所述竖直向激光测距仪通过转动轴水平设置于车身主体顶部，且竖直向激光测距仪可绕转动轴纵向旋转，所述角度传感器测量竖直向激光测距仪发射的激光与水平面的夹角；

所述数据存储模块，与掌子面监测模块相连接，存储竖直向激光测距仪测得的实时距离值、对应的发射角度和发射时间；

所述处理器，被配置为接收测距机构和角度测控器测得的数据，计算得到车体到达掌子面轴线位置的路径；接收数据存储模块中的存储信息，并计算各时间点掌子面轴线突出度，预测掌子面轴线突出速度及该掌子面的最大突出度，若预测值大于设定的阈值时进行报警处理。

本公开不再以不良地质超前预报与隧道净空收敛监控量测为手段进行塌方的预测与预警，而是利用车载式的预警系统，利用行进轨迹，和采集的数据相结合，对掌子面突出程度、隧道岩体稳定性等情况的全自动实时预报预警。

只需要对现有的隧道施工车辆进行些许改造即可，不用对掌子面或隧道其他部位进行大型的改造，不会占用大量隧道后方净空，致使前方无法施工，同时，人员参与程度低，检测结果不受人为因素干扰。

作为一种或多种实施例中可选择的方案，所述车身主体和底盘之间设置有自动调平机构，实现车身主体的整体水平；所述移动机构为多个车轮，所述车轮与底盘连接，底盘上与车轮相对应的位置与车身主体之间设置有一支撑柱，所述自动调平机构包括水准气泡、圆盘状位置感应器和调平柱，所述圆盘状位置感应器置于车身主体表面中心位置，水准气泡设置于圆盘状位置感应器的圆盘内，所述调平柱置于支撑柱上，通过调整各个调平柱可以使水准气泡

位于圆盘状位置感应器的形心。

作为一种或多种实施例中可选择的方案，所述测距机构为水平激光测距仪，所述角度测控器分别置于车轮和水平激光测距仪上部，分别通过角度控制车轮左右转动与测定水平激光测距仪发射激光时，水平激光测距仪与车体行进正前方的夹角；所述距离测控器置于其中一个车轮外侧，控制车体的行进距离。

作为一种或多种实施例中可选择的方案，所述移动车辆上还设置有 GPS 定位系统，提供移动车辆的位置信息。

作为一种或多种实施例中可选择的方案，所述处理器包括车体调整计算单元，所述车体调整计算单元通过数据传输束接收水平向激光测距仪和位于其侧的角度测控器测得的数据计算得到车体到达掌子面轴线位置的路径，并传输至角度测控器和距离测控器，进一步控制移动机构的行进，利用三角定理计算得到车轮水平方向转动所需角度、行驶距离和车轮前进时滚动角度。

作为一种或多种实施例中可选择的方案，利用所述 GPS 定位系统保证移动车体沿隧道中轴位置运行，如果隧道正在施工二次衬砌或因施工造成边墙部分遮挡，则单独采用 GPS 定位进行车体的调整；

如果无遮挡物，则采用角度测控器、距离测控器与 GPS 定位系统进行协同调整车体的运行状态。

作为一种或多种实施例中可选择的方案，所述处理器包括掌子面突出度计算单元，通过数据传输束与数据存储模块连接，根据调用的存储数据计算掌子面轴线突出度，所述掌子面轴线突出度为竖向激光测距仪 i 时刻测得的实时距离值与初始时刻测得的实时距离值的差值，除以间隔时间后与竖向激光测距仪 i 时刻的发射角度余弦值相乘。

作为一种或多种实施例中可选择的方案，所述处理器包括掌子面突出度预判单元，掌子面突出度预判单元与所述掌子面突出度计算单元连接，利用高斯过程回归预测算法或 BP 神经网络算法，根据突出度的计算值对掌子面轴线突出速度与掌子面最大突出度进行预测。

作为一种或多种实施例中可选择的方案，所述处理器包括预警模块，所述预警模块根据围岩等级设定掌子面突出度的初始阈值，当预测的掌子面轴线突出速度或/和掌子面最大突出度超过设定初始阈值时，进行报警。

作为一种或多种实施例中可选择的方案，所述移动车辆受遥控装置控制，所述遥控装置包括用语控制移动机构的行走的输入模块和用于控制竖直向激光测距仪工作的输入模块。

作为一种或多种实施例中可选择的方案，所述数据存储模块和处理器通过通信模块与远程 PC 端交互，所述远程 PC 端调用掌子面监测数据并通过计算显示实时掌子面轴线轮廓图，以竖直向激光测距仪激光发射点为原点，水平方向和竖直方向分别为 x , y 轴，建立平面直角坐标系，将测量数据换算成坐标点。

作为一种或多种实施例中可选择的方案，可以用最小二乘法将坐标系中的离散点拟合成曲线来表示掌子面轴线轮廓，并将各时刻所得图像叠加，更直观地表示掌子面变形情况。

基于上述系统的工作方法，在移动车辆行进的过程中，测量车辆位置与掌子面的距离，测量移动机构的运动距离；

接收测距机构和角度测控器测得的数据，计算得到车体到达掌子面轴线位置的路径；

根据竖直向激光测距仪测得的实时距离值、对应的发射角度和发射时间，计算各时间点掌子面轴线突出度，预测掌子面轴线突出速度及该掌子面的最大突出度，若预测值大于设定的阈值时进行报警处理。

与现有技术相比，本公开的有益效果为：

1) 本公开突破了与常规隧道工程洞周净空收敛量测和地球物理探测的塌方预警模式，将预警机制转移到掌子面突出度与突出速度的信息变化，并给出了精确探测手段，形成了全新的预警方案。

2) 本公开的移动车体部分完全可以通过车辆控制模块控制，无需进行手动调整及装置的安装及拆卸工作，节约人力且操作简单便捷；解决了掌子面中轴变形预测预警的技术难题，装置在隧道中轴定位实现了精确化。

3) 只需要对现有的隧道施工车辆进行些许改造即可，不用对掌子面或隧道其他部位进行大型的改造，不会占用大量隧道后方净空，致使前方无法施工。

4) 本公开解决了以往隧道岩体变形监测方法中测得数据误差大、且局限于隧道洞周位移量测的弊端，通过水平激光测距仪和角度传感器实现对隧道岩体变形的精确测量；

5) 本公开将处理器置于车体上并与各测量装置直接连接，能够实现对数据处理的自动化与全过程动态分析；

6) 本公开的掌子面凸出度阈值根据实际计算值进行动态调整，结合实际环境和开挖隧道的独特性对岩体变形产生的影响，实现了对每一隧道的适用性，满足了岩土工程的特殊性；

7) 本公开通过连接远程 PC 端，可以通过计算对测得数据进行图像生成，使隧道掌子面变形情况可视化，便于更加直观地监测隧道岩体情况。

附图说明

构成本公开的一部分的说明书附图用来提供对本公开的进一步理解，本公开的示意性实施例及其说明用于解释本公开，并不构成对本公开的不当限定。

图 1 是本实施例的系统结构连接示意图；

图 2 是本实施例的车体结构示意图；

图 3 是本实施例的移动模块的结构示意图；

图 4 是本实施例的激光测距仪与角度测控器示意图；

图 5 是本实施例的除掌子面监测模块的车身结构示意图；

图 6 是本实施例的控制模块和移动 PC 端的平面示意图；

图 7 是本实施例的隧道掌子面上放置反射板示意图；

图 8 是本实施例的移动 PC 端输出的掌子面轴线轮廓示意图；

其中，1-水准气泡、2-圆盘状位置感应器、3-调平柱、4-水平激光测距仪、5-轴杆、6-减震驱动轴杆、7-齿轮、8-链条、9-角度测控器、10-距离测控器、11-GPS 定位系统、12-竖直向激光测距仪、13-角度传感器、14-数据存储器、15-数据传输束、16-车体调整计算器、17-掌子面突出度计算装置、18-掌子面突出度预判装置、19-阈值分析器、20-声光报警装置、21-显示器、22-车轮控制旋钮、23-校准键、24-移动键、25-开始键、26-停止键、27-存储键、28-清空键、29-Type-C 接口、30-远程 PC 端。

具体实施方式：

下面结合附图与实施例对本公开作进一步说明。

应该指出，以下详细说明都是例示性的，旨在对本公开提供进一步的说明。除非另有指明，本文使用的所有技术和科学术语具有与本公开所属技术领域的普通技术人员通常理解的含义。

需要注意的是，这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式，而非意图限制根据本公开的示例性实施方式。如在这里所使用的，除非上下文另外明确指出，否则单数形式也意图包括复数形式，此外，还应当理解的是，当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时，其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

正如前面所述的，现有的技术方案在隧道塌方预警过程中都有比较大的限制和不足。为了解决这个问题，本公开提供一种隧道塌方监测及预警系统，包括移动模块、掌子面监测模块、数据存储模块、数据分析模块、预警模块、控制模块与远程 PC 端；

以轮式车辆为例进行说明。

移动模块包括自动调平装置、水平激光测距仪、车轮、角度测控器、距离测控器与 GPS 定位系统，其中，自动调平装置包括水准气泡、圆盘状位置感应器和调平柱；所述水准气泡置于车身上表面中心位置，气泡下圆盘状位置感应器通过调整调平柱使水准气泡位于位置感应器形心；所述调平柱置于车身与四个车轮之间的支撑柱，可进行精密伸缩；

水平激光测距仪由轴杆以竖直方向固定在车头中心位置，测定与掌子面两端反射板的距离 X_1 、 X_2 ；

四个车轮由减震驱动轴杆连接以适应隧道内不平坦的路面，车轮上方设置齿轮并利用链条串连保证四个车轮转向一致；所述角度测控器分别置于一个车轮和水平激光测距仪上部，分别通过角度控制车轮左右转动与测定水平激光仪测右侧距离时激光与正前方的夹角 α_0 ；所述距离测控器置于其中一个车轮外侧，控制车体的行进距离；

角度测控器分别车轮纵向中心点和水平向激光测距仪转轴刚接，保证表盘显示角度即为车轮左右转动角度和激光发射角度。

距离测控器为和车轮轮轴相连的角度测控器，通过设定车轮滚动角度控制车体运行距离。

GPS 定位系统置于车身正中后部，提供车体的精确位置信息；

掌子面监测模块包括竖直向激光测距仪和角度传感器；

竖直向激光测距仪由轴杆以水平方向固定在车体顶部，可绕轴纵向旋转；角度传感器置于竖向激光测距仪的一侧，测量每次激光发射与水平面的夹角。

数据存储模块为数据存储器，置于车身后部，通过数据传输束与掌子面监测模块连通，分别存储时间 t_1 、 t_2 、 $\dots$ 、 t_n 、竖向激光测距仪测得的实时距离值 l_{n1} 、 l_{n2} 、 $\dots$ 、 l_{ni} 及对应的激光发射角度 β_1 、 β_2 、 $\dots$ 、 β_i ；

数据分析模块包括车体调整计算装置、掌子面突出度计算装置和掌子面突出度预判装置，均置于数据存储模块下方。

设置调平保证水平激光测距仪在水平面上转动，便于在掌子面两侧同一高度提前放置反射板，且消除因倾斜造成的测距不准的误差。

车体调整计算装置通过数据传输束接收移动模块中水平向激光测距仪和位于其侧的角度测控器测得的数据计算得到车体到达掌子面轴线位置的路径，并传输至移动模块的角度测控器和距离测控器；

车体调整计算装置利用三角定理计算得到车轮水平方向转动所需角度 α 、行驶距离 X 和车轮前进时滚动角度 θ_x :

$$\alpha = \arctan \frac{R - X_2 \cdot \sin \alpha_0}{X_2 \cdot \cos \alpha_0 - X_0}$$

$$X = \frac{R - X_2 \cdot \alpha_0}{\sin \alpha}$$

$$\theta_x = \frac{180 \cdot X}{\pi \cdot r}$$

其中 R 为 1/2 倍的掌子面底边长, X_0 为拟定测点与掌子面轴线的距离, r 为车轮外缘半径;

也提供第二种车体调整计算原理: 可通过移动模块中的 GPS 定位系统以保证车体在隧道中轴位置。

两种车体调整计算原理的优先程度为: 若隧道正在施工二次衬砌或因施工造成边墙部分遮挡, 则单独采用 GPS 定位。若隧道边墙未有遮挡物, 则采用角度测控器、距离测控器与 GPS 定位的协同预判准则。

当然, 也可采用人工选择的方式确定车体调整准则选取原理与模式。

掌子面突出度计算装置通过数据传输束与数据存储模块连接, 根据调用的存储数据计算掌子面轴线突出度 δn :

$$\delta n = \frac{l_{ni} - l_{1i}}{t_n - t_1} \cdot \cos \beta_i$$

掌子面突出度预判装置对各时间点掌子面轴线突出度进行分析, 预测掌子面轴线突出速度及该掌子面的最大突出度;

当然, 掌子面突出度预判装置内存储有掌子面突出度预测算法。预测掌子面轴线突出速度和掌子面突出度的算法可以是高斯过程回归算法, 也可以是 BP 神经网络算法。通过上述两种优选算法, 可以对掌子面轴线突出速度与掌子面最大突出度进行预测。预测数据自动传输至数据存储模块。

利用计算的突出度可以进行预测, 突出度表示掌子面变形程度, 通过反映隧道围岩情况即可预测塌方; 预测的过程即当掌子面突出度达到一定阈值, 即变形达到极限, 进行塌方预警。

作为一种可选的方案, 数据存储模块的数据存储格式为 .xlsx 格式。

数据存储模块中内置原始测量数据与预测数据可以通过 .xlsx 格式输出。

所述阈值分析器置于车身上, 根据围岩等级设定掌子面突出度的初始阈值, I 级围岩的初始阈值为 $A0$ 、II~III 级围岩的初始阈值为 $B0$ 、IV~V 级围岩的初始阈值为 $C0$ ($A0 < B0 < C0$);

阈值分析器的工作原理是, 若掌子面突出度或掌子面突出速度任一指标超过阈值, 则预警模块进行预警。

阈值分析装置的内置预警动态修正最小值算法, 其原理是: 通过数据分析模块实时获取的掌子面轴线突出度 δn , 当在某时刻围岩发生塌落, 选取为当前阈值与该时刻 δn 的较小值作为新的阈值。

预警模块包括阈值分析装置和声光报警装置, 其中, 声光报警装置置于遥控器前端, 当测得掌子面轴线突出度 δn 小于当前阈值时阈值分析装置向声光报警装置发送无线信号, 报警装置红灯闪烁并发出语音提示。

提供的预警系统还可以包括控制模块, 具体包括显示器、车轮控制旋钮、车体调整按钮、掌子面监测按钮和数据传输部分, 均设于与数据存储模块无线连接的遥控器上; 显示器显示操作提示与数据分析模块计算结果。车轮控制旋钮包括左转、调正和右转档, 通过调整车轮左右转动控制车体前进方向; 车体调整按钮包括校准键和移动键, 控制车体测算出车体与掌子面轴线平齐所需的运行轨迹并进行移动; 所述掌子面监测按钮包括开始键和停止键, 控制竖直向激光测距仪测量得开始与结束;

当校准键控制水平激光测距仪开始转动, 测出对应数据, 计算所得结果车轮水平方向转动所需角度 α 和车轮前进时滚动角度 θx 显示在显示器上; 所述车轮控制旋钮根据显示器显示 α 值转动一定角度, 若 $\alpha < 0$ 则扭至右转档使车轮向右侧转, 反之则扭至左转档; 所述移动键控制车轮按显示器显示 θx 值开始行进;

控制数据传输部分包括存储键、清空键和 *Type-C* 接口, 用来将掌子面检测结果由数据存储模块无线传输至遥控器内存储卡和移动 *PC* 端;

清空键控制遥控器内存储卡内容全部删除, 保证下一个掌子面的监测数据准确性。

远程 *PC* 端为计算机, 通过 *Type-C* 线与遥控器连接调用掌子面监测数据并通过计算显示实时掌子面轴线轮廓图, 其成像原理为以竖直向激光测距仪激光发射点为原点, 水平方向和竖直方向分别为 x , y 轴建立平面直角坐标系, 将测量数据换算成坐标点:

$$x = l_{ni} \cdot \cos\beta_i$$

$$y = l_{ni} \cdot \sin\beta_i$$

PC 端计算机内置可视化功能: 将每一时刻所有坐标点拟合成的曲线则为掌子面轴线轮廓。

当然，在部分实施例中，掌子面突出度预判器利用回归预测分析法对各时间点掌子面轴线凸出度进行分析，形成以时间为横坐标凸出度为纵坐标的图表，通过收敛值、斜率变化等参数预测掌子面轴线突出速度及该掌子面的最大凸出度；

在部分实施例中，可以通过围岩基本质量指标 BQ 确定围岩分级；

在部分实施例中，用最小二乘法将远程 PC 端计算出的离散点拟合成曲线来表示掌子面轴线轮廓，并将各时刻所得图像叠加，更直观地表示掌子面变形情况。

以具体实施例来说，作为一个完整的监测预警系统，本发明主要包括移动模块、掌子面监测模块、数据存储模块、数据分析模块、预警模块、控制模块、远程 PC 端，实现对隧道塌方的监测及预警目的。

如图 1 所示，移动模块：包括自动调平装置、水平激光测距仪（4）、车轮（6）、角度测控器（9）、距离测控器（10）与 GPS 定位系统（11）。其中自动调平装置由水准气泡（1）、圆盘状位置感应器（2）和调平柱（3）组成，通过调平柱伸缩使水准气泡位于圆盘状位置感应器中心，实现车体的实时自动调平功能；水平激光测距仪（4）由可转动的轴杆（5）连接，实现通过水平方向转动自动测量车体到掌子面两端距离的功能；车轮（6）上端齿轮（7）由链条（8）串连，保证四个车轮转向一致；角度测控器（9）和距离测控器（10）实现控制车体移动至掌子面轴线上某一特定位置； GPS 定位系统（11）与水平激光测距方式协同预判，实现对车体的定位功能。

如图 3 所示，掌子面监测模块：包括竖直向激光测距仪（12）和角度传感器（13）。其中竖直向激光测距仪结构同水平激光测距仪相同，由可转动的轴杆（5）连接，实现通过竖直方向转动自动测量车体到掌子面轴线上各点距离的功能；角度传感器（13）与轴杆（5）的一端固定以实现自动测量激光发射角度的功能。

数据存储模块为数据存储器（14），通过数据传输束（15）实现接收和以 $xlsx$ 格式存储监测数据的功能。

数据分析模块：包括车体调整计算装置（16）、掌子面突出度计算装置（17）和掌子面突出度预判装置（18）。车体调整计算装置（16）与 GPS 定位系统（11）协同实现车体移动至掌子面轴线某一特定位置的路径自动计算功能，掌子面突出度计算装置（17）实现掌子面突出度自动计算功能，掌子面突出度预判装置（18）通过高斯过程回归算法或是 BP 神经网络算法分析已有突出度数据实现未来一段时间内掌子面最大突出度及突出速度的实时预测功能。

预警模块包括阈值分析装置(19)和声光报警装置(20)，阈值分析装置(19)通过预警动态修正最小值算法实现下一时刻阈值的确定以及实时突出度比较功能，声光报警装置(20)实现对塌方的提前警报功能。

如图6所示，控制模块包括显示器(21)、车轮控制旋钮(22)、车体调整按钮、掌子面监测按钮和数据传输部分。显示器(21)实现操作提示与数据分析模块计算结果显示功能；车轮控制旋钮(22)控制车体前进方向；车体调整按钮包括校准键(23)和移动键(24)，实现车体位置测量和控制车体移动至掌子面轴线位置的功能；掌子面监测按钮包括开始键(25)和停止键(26)，实现掌子面监测的控制功能；数据传输部分包括存储键(27)、清空键(28)和 *Type-C* 接口(29)，实现监测数据的存储、删除和传输功能。

所述远程 *PC* 端(30)通过计算监测数据并绘制实时掌子面轴线轮廓图，实现可视化功能。

如图3所示，水平激光测距仪(4)与轴杆(5)连接，轴杆上端与角度测控器(9)的指针刚接，即水平激光测距仪发射激光的角度即为轴杆自转角度并与角度测控器指针旋转角度相同，保证了在通过激光测量车体与掌子面两端反射板(如图7所示，在掌子面两侧设置的)距离时角度测控器同时测量出激光的发射角度；同时如图4所示的 *GPS* 定位系统(11)可直接显示车体精确位置以及与掌子面轴线的关系；两者协同作用，根据具体情况选定测定原理与模式，以达到对车体初始位置的快速有效定位。

如图1所示，竖直向激光测距仪(12)和角度传感器(13)结构与上述激光定位装置的结构相同，即将该装置旋转90度使激光测距仪和角度传感器指针沿竖直方向转动，与图6所示的掌子面轴线位置反射板共同作用，达到测量车体与掌子面轴线各反射板距离和激光与水平面夹角的目的。

阈值分析器(19)运用预警动态修正最小值算法将掌子面突出度计算装置(17)计算得出的掌子面轴线突出度与围岩发生塌落时刻的掌子面轴线突出度比较，选取较小值作为新阈值；将实时掌子面轴线突出度与该时刻阈值比较，若掌子面突出度或掌子面突出速度任一指标超过阈值，则通过无线信号触发声光报警装置(20)，该装置闪红灯并发出语音提示，达到对隧道塌方的及时有效预警的目的。

数据存储器(14)通过遥控器将掌子面监测模块得到的初始数据传输到远程 *PC* 端(30)，*PC* 端内置装置通过三角定理计算出掌子面轴线上各点距车体的横向距离和竖向距离，在以车体为原点、正前方和竖直方向为 *x*、*y* 轴的平面直角坐标系中标出并拟合成相应时刻的曲线，达到将掌子面轴线轮廓可视化的目的。

下面，结合一实施例对本发明进行进一步的描述。

A. 判断隧道岩体情况：若隧道正在施工二次衬砌或因施工造成边墙部分遮挡，则仅打开GPS定位系统（11）；若隧道边墙未有遮挡物，则在待测掌子面两端和轴线安装反射片且打开GPS定位系统（11），采用角度测控器、距离测控器与GPS定位的协同预判准则。连接数据传输束（15）并对实验装置连线进行检查；

B. 将车体放置在隧道中与掌子面轴线平行的某一位置，并打开控制开关；

C. 按遥控器上校准键（23），开始通过激光测距仪（4）及角度测控器（9）测量车体与掌子面两端的距离与角度，同时通过GPS定位系统（11）直接对车体进行精确定位，两者协同作用通过数据分析模块计算并传输到遥控器显示屏上；

D. 转动车轮控制旋钮（22），确定车体运行方向；

E. 按移动键（24）根据车体调整计算装置（16）所得数据控制距离测控器（10）转动一定角度，使车体行进对应距离至掌子面轴线上指定位置；

F. 按校准键（23）再次通过水平激光测距仪（4）及GPS定位系统（11）验证车体位于掌子面轴线上；

G. 按开始键（25）控制掌子面监测模块工作，竖直向激光测距仪（12）和角度感应器（13）测得数据通过数据存储器（14）传输至掌子面突出度预判装置（18），运用高斯过程回归算法或BP神经网络算法计算掌子面轴线突出速度和掌子面突出度并发送无线信号显示在显示屏（21）上，掌子面监测结束则按停止键（26）；

H. 按存储键（27）将所得数据存储模块中的数据无线传输至遥控器存储卡内，在监测下一个掌子面前按清空键（28）清空遥控器存储卡内存；

I. 用Type-C线连接遥控器与PC端（30），监测数据传输至PC端内进行数据分析，建立平面直角坐标系，将测量数据换算成坐标点，将每一时刻所有坐标点拟合，自动绘制掌子面轴线轮廓图。

本领域内的技术人员应明白，本公开的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此，本公开可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且，本公开可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质（包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等）上实施的计算机程序产品的形式。

本公开是参照根据本公开实施例的方法、设备（系统）、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/

或方框、以及流程图和 / 或方框图中的流程和 / 或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中，使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制品，该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上，使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理，从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

以上所述仅为本公开的优选实施例而已，并不用于限制本公开，对于本领域的技术人员来说，本公开可以有各种更改和变化。凡在本公开的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本公开的保护范围之内。

上述虽然结合附图对本公开的具体实施方式进行了描述，但并非对本公开保护范围的限制，所属领域技术人员应该明白，在本公开的技术方案的基础上，本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本公开的保护范围之内。

权利要求书

1、一种车载式隧道塌方监测预警系统，其特征是：包括移动车辆，所述移动车辆上搭载有掌子面监测模块、数据存储模块和处理器，其中：

所述移动车辆包括底盘和位于底盘下端的移动机构，所述底盘设置有车身主体前端设置有测距机构，用于测定设置位置与掌子面的距离，所述移动机构上设置有角度测控器，分别通过角度控制移动机构的转动以及与车身主体正前方的夹角，所述移动机构上还设置有行进距离测量机构，以测量移动机构的运动距离；

所述掌子面监测模块包括竖直向激光测距仪和角度传感器，所述竖直向激光测距仪通过转动轴水平设置于车身主体顶部，且竖直向激光测距仪可绕转动轴纵向旋转，所述角度传感器测量竖直向激光测距仪发射的激光与水平面的夹角；

所述数据存储模块，与掌子面监测模块相连接，存储竖直向激光测距仪测得的实时距离值、对应的发射角度和发射时间；

所述处理器，被配置为接收测距机构和角度测控器测得的数据，计算得到车体到达掌子面轴线位置的路径；接收数据存储模块中的存储信息，并计算各时间点掌子面轴线突出度，预测掌子面轴线突出速度及该掌子面的最大突出度，若预测值大于设定的阈值时进行报警处理。

2、如权利要求1所述的一种车载式隧道塌方监测预警系统，其特征是：所述车身主体和底盘之间设置有自动调平机构，实现车身主体的整体水平；所述移动机构为多个车轮，所述车轮与底盘连接，底盘上与车轮相对应的位置与车身主体之间设置有一支撑柱，所述自动调平机构包括水准气泡、圆盘状位置感应器和调平柱，所述圆盘状位置感应器置于车身主体表面中心位置，水准气泡设置于圆盘状位置感应器的圆盘内，所述调平柱置于支撑柱上，通过调整各个调平柱可以使水准气泡位于圆盘状位置感应器的形心。

3、如权利要求1所述的一种车载式隧道塌方监测预警系统，其特征是：所述测距机构为水平激光测距仪，所述角度测控器分别置于车轮和水平激光测距仪上部，分别通过角度控制车轮左右转动与测定水平激光测距仪发射激光时，水平激光测距仪与车体行进正前方的夹角；所述距离测控器置于其中一个车轮外侧，控制车体的行进距离。

4、如权利要求1所述的一种车载式隧道塌方监测预警系统，其特征是：所述移动车辆上还设置有GPS定位系统，提供移动车辆的位置信息；

或，利用所述GPS定位系统保证移动车体沿隧道中轴位置运行，如果隧道正在施工二次衬砌或因施工造成边墙部分遮挡，则单独采用GPS定位进行车体的调整；

如果无遮挡物，则采用角度测控器、距离测控器与 GPS 定位系统进行协同调整车体的运行状态。

5、如权利要求 1 所述的一种车载式隧道塌方监测预警系统，其特征是：所述处理器包括车体调整计算单元，所述车体调整计算单元通过数据传输束接收水平向激光测距仪和位于其侧的角度测控器测得的数据计算得到车体到达掌子面轴线位置的路径，并传输至角度测控器和距离测控器，进一步控制移动机构的行进，利用三角定理计算得到车轮水平方向转动所需角度、行驶距离和车轮前进时滚动角度。

6、如权利要求 1 所述的一种车载式隧道塌方监测预警系统，其特征是：所述处理器包括掌子面突出度计算单元，通过数据传输束与数据存储模块连接，根据调用的存储数据计算掌子面轴线突出度，所述掌子面轴线突出度为竖向激光测距仪 i 时刻测得的实时距离值与初始时刻测得的实时距离值的差值，除以间隔时间后与竖向激光测距仪 i 时刻的发射角度余弦值相乘。

7、如权利要求 1 所述的一种车载式隧道塌方监测预警系统，其特征是：所述处理器包括掌子面突出度预判单元，掌子面突出度预判单元与所述掌子面突出度计算单元连接，利用高斯过程回归预测算法或 BP 神经网络算法，根据突出度的计算值对掌子面轴线突出速度与掌子面最大突出度进行预测。

8、如权利要求 1 所述的一种车载式隧道塌方监测预警系统，其特征是：所述处理器包括预警模块，所述预警模块根据围岩等级设定掌子面突出度的初始阈值，当预测的掌子面轴线突出速度或/和掌子面最大突出度超过设定初始阈值时，进行报警。

9、如权利要求 1 所述的一种车载式隧道塌方监测预警系统，其特征是：所述移动车辆受遥控装置控制，所述遥控装置包括用语控制移动机构的行走的输入模块和用于控制竖直向激光测距仪工作的输入模块；

或，所述数据存储模块和处理器通过通信模块与远程 PC 端交互，所述远程 PC 端调用掌子面监测数据并通过计算显示实时掌子面轴线轮廓图，以竖直向激光测距仪激光发射点为原点，水平方向和竖直方向分别为 x 、 y 轴，建立平面直角坐标系，将测量数据换算成坐标点。

10、基于权利要求 1-9 中任一项所述的系统的工作方法，其特征是：在移动车辆行进的过程中，测量车辆位置与掌子面的距离，测量移动机构的运动距离；

接收测距机构和角度测控器测得的数据，计算得到车体到达掌子面轴线位置的路径；

根据竖直向激光测距仪测得的实时距离值、对应的发射角度和发射时间，计算各时间点

掌子面轴线突出度，预测掌子面轴线突出速度及该掌子面的最大突出度，若预测值大于设定的阈值时进行报警处理。

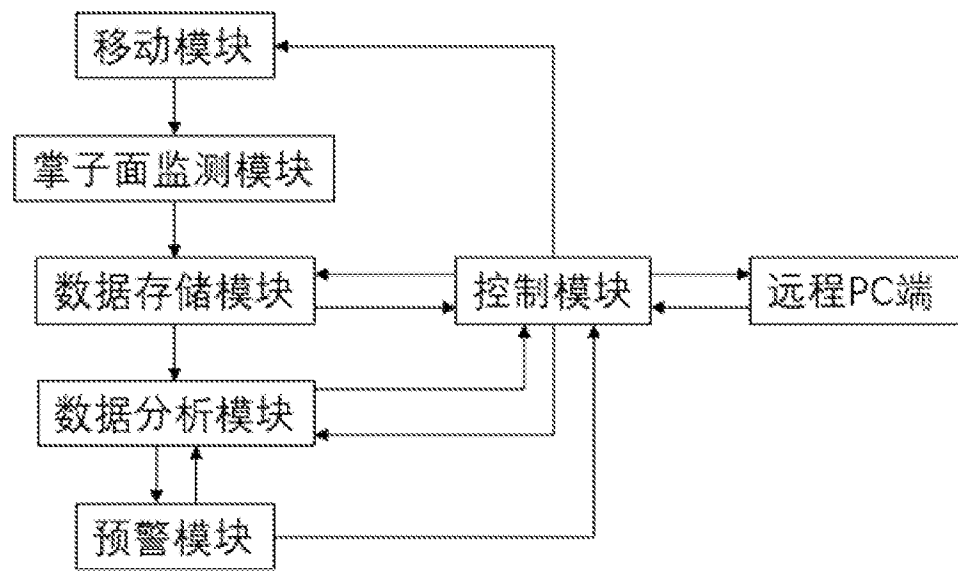


图 1

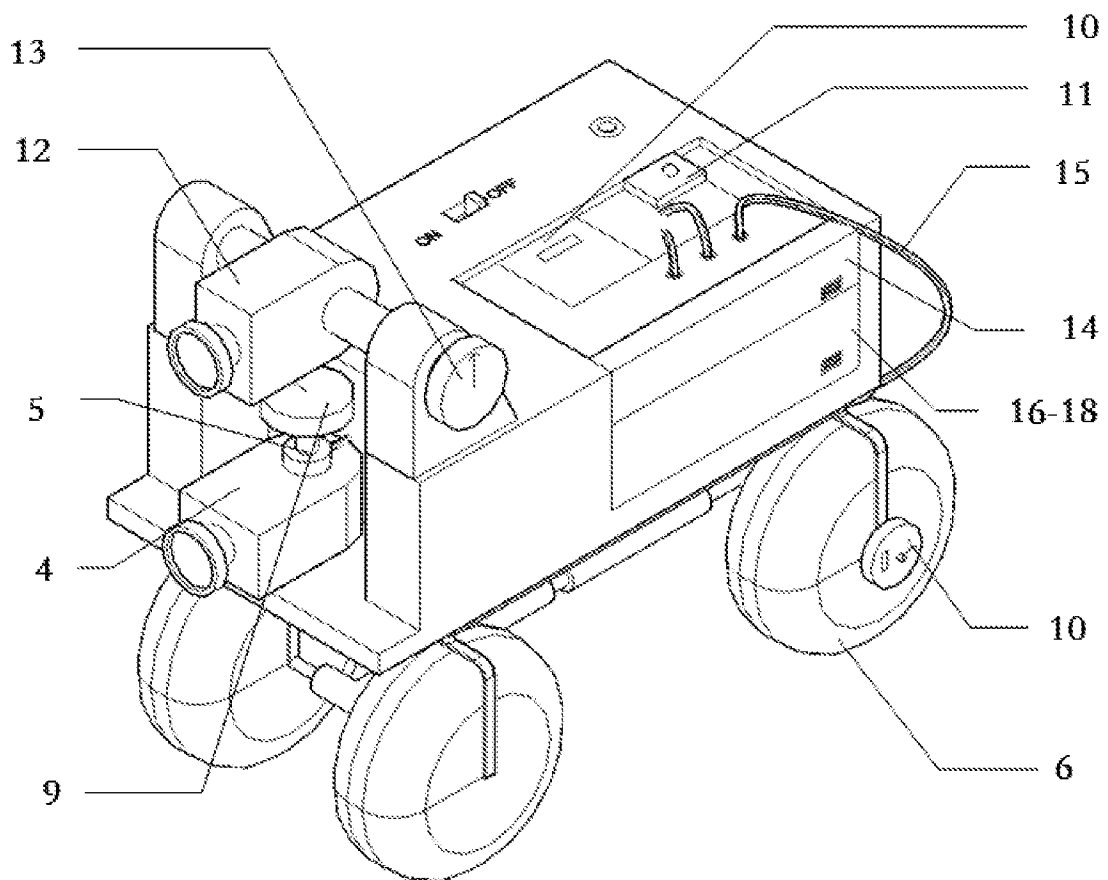


图 2

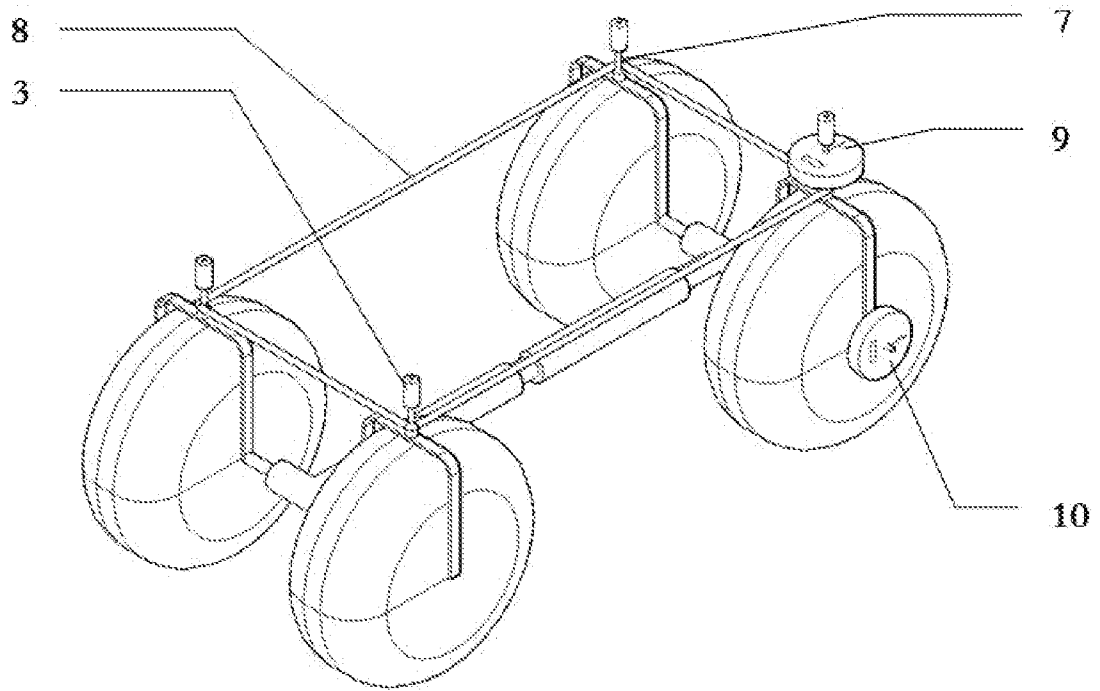


图 3

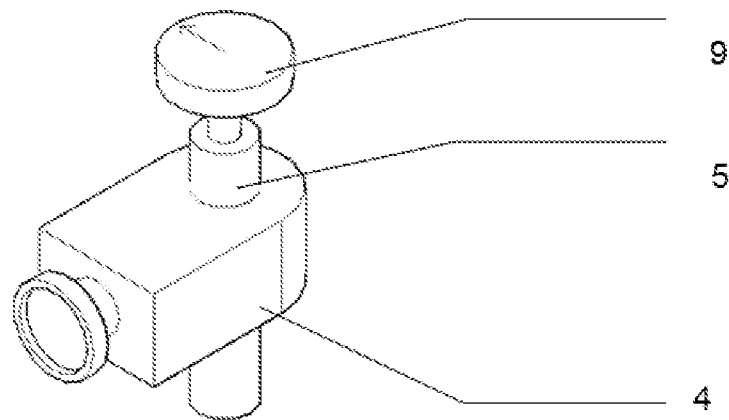


图 4

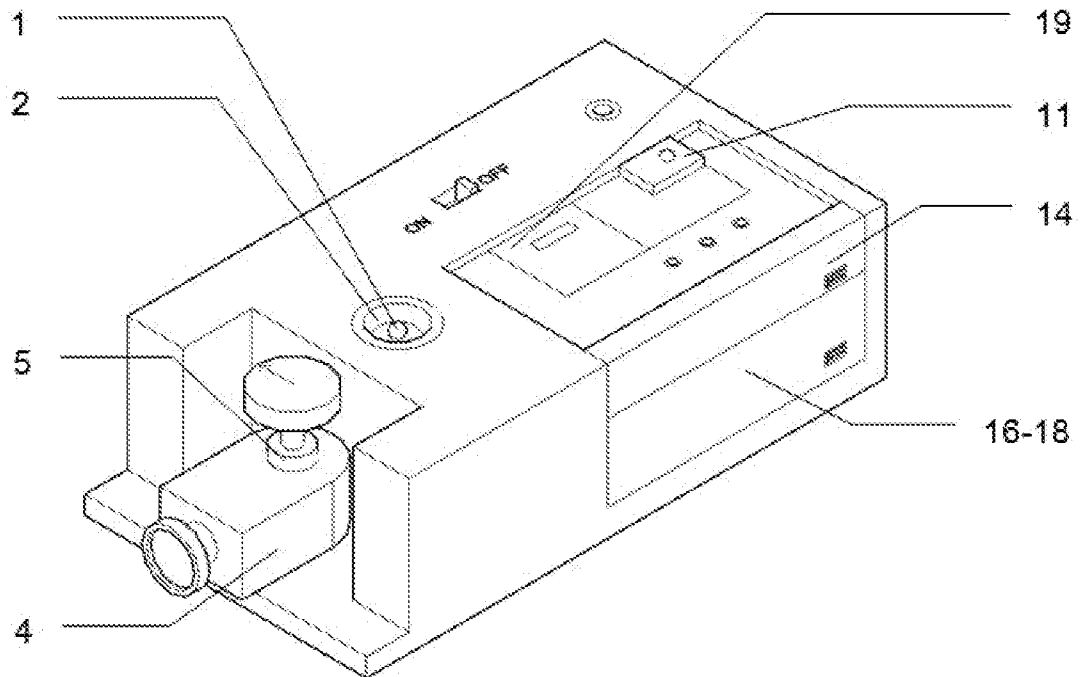


图 5

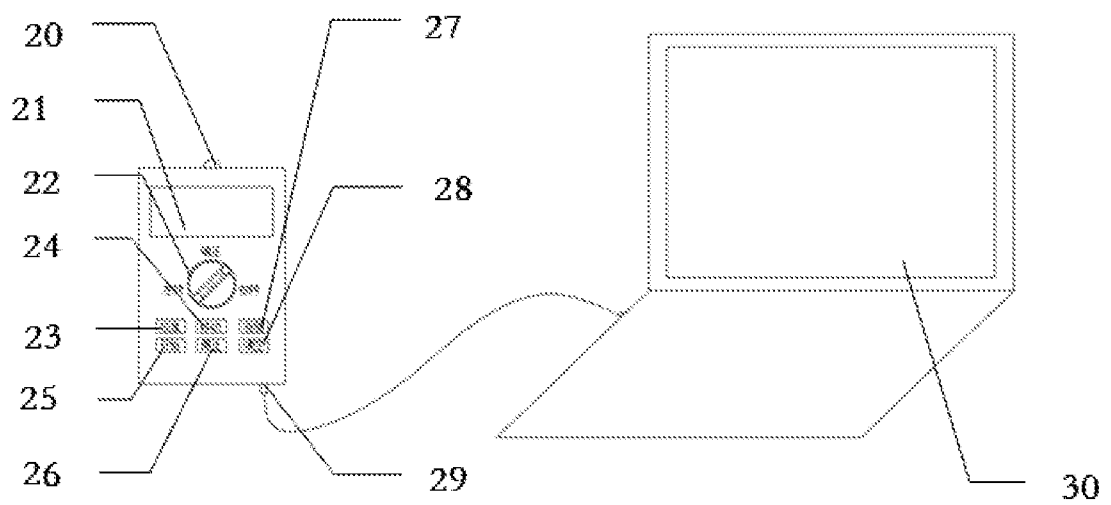


图 6

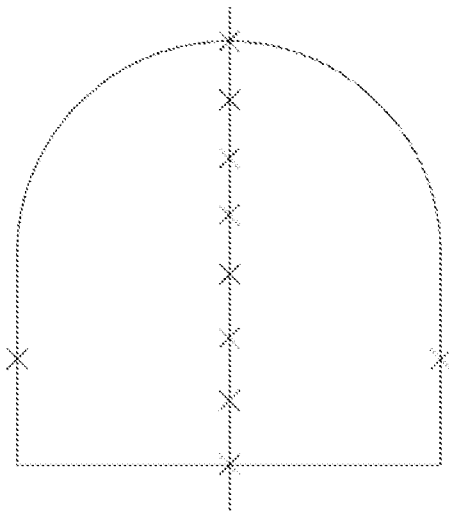


图 7

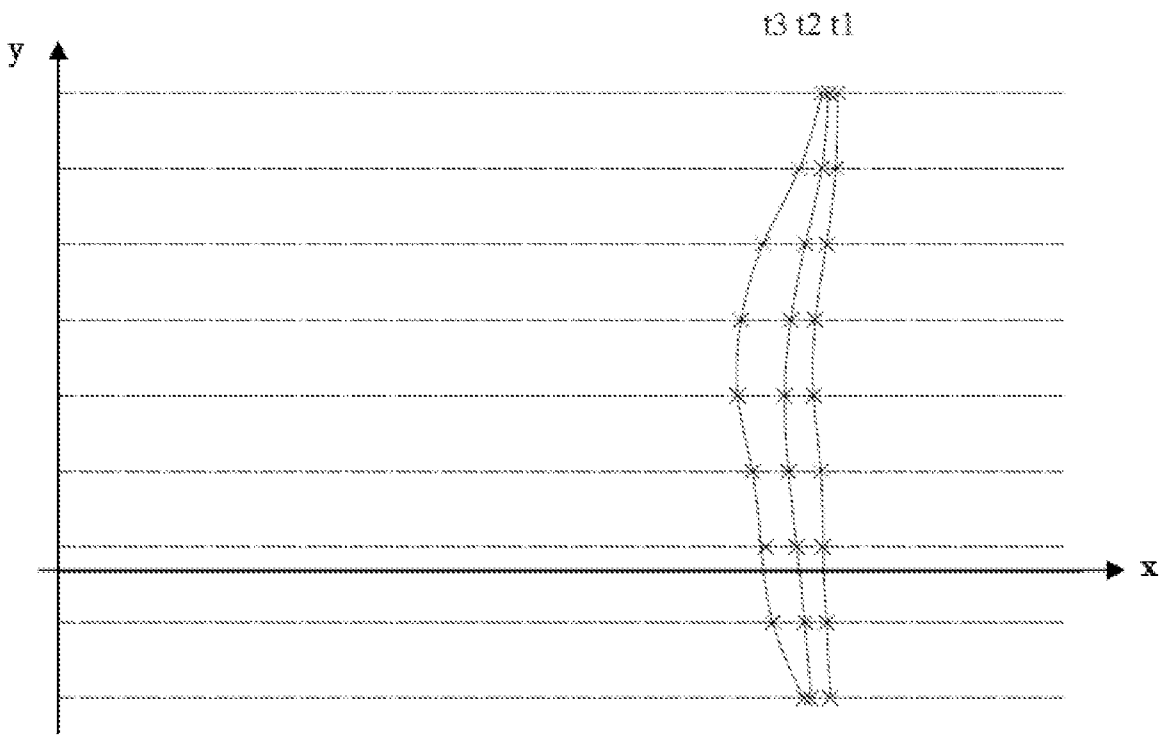


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/073573

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

E21F 17/18(2006.01)i; G01B 11/16(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

E21F,G01B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; SIPOABS; DWPI: 监测, 预警, 报警, 激光, 测距, 隧道, 掌子面, 车载, 角度, monitor+, measur+, warning, laser, ranger, tunnel, face, breast, vehicle, angular

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 110145366 A (SHANDONG UNIVERSITY) 20 August 2019 (2019-08-20) entire document	1-10
Y	CN 108917638 A (ZHEJIANG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 30 November 2018 (2018-11-30) description, paragraphs 82-157, and figures 1-3	1-10
Y	CN 106840014 A (SHAOXING UNIVERSITY) 13 June 2017 (2017-06-13) description, paragraphs 10-20, and figure 1	1-10
A	CN 203659190 U (SHANDONG UNIVERSITY) 18 June 2014 (2014-06-18) entire document	1-10
A	CN 106246204 A (SHANDONG UNIVERSITY) 21 December 2016 (2016-12-21) entire document	1-10
A	CN 107390291 A (SHANDONG UNIVERSITY et al.) 24 November 2017 (2017-11-24) entire document	1-10
A	JP 2005226333 A (MEGA CHIPS CORP.) 25 August 2005 (2005-08-25) entire document	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

09 April 2020

Date of mailing of the international search report

24 April 2020

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/073573

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4104518 A (SIEMENS AG) 01 August 1978 (1978-08-01) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/073573

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	110145366	A	20 August 2019	None			
CN	108917638	A	30 November 2018	None			
CN	106840014	A	13 June 2017	None			
CN	203659190	U	18 June 2014	None			
CN	106246204	A	21 December 2016	None			
CN	107390291	A	24 November 2017	None			
JP	2005226333	A	25 August 2005	None			
US	4104518	A	01 August 1978	FR	2336546	A1	22 July 1977
				DE	2558323	A1	18 November 1976
				GB	1510767	A	17 May 1978
				BE	849609	A	15 April 1977
				YU	271176	A	31 May 1982
				PL	107222	B1	29 February 1980

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/073573

A. 主题的分类

E21F 17/18 (2006.01) i; G01B 11/16 (2006.01) i

按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)

E21F, G01B

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))

CNABS; SIPOABS; DWPI: 监测, 预警, 报警, 激光, 测距, 隧道, 掌子面, 车载, 角度, monitor+, measur+, warning, laser, ranger, tunnel, face, breast, vehicle, angular

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 110145366 A (山东大学) 2019年 8月 20日 (2019 - 08 - 20) 全文	1-10
Y	CN 108917638 A (浙江科技学院) 2018年 11月 30日 (2018 - 11 - 30) 说明书第82-157段, 图1-3	1-10
Y	CN 106840014 A (绍兴文理学院) 2017年 6月 13日 (2017 - 06 - 13) 说明书第10-20段, 图1	1-10
A	CN 203659190 U (山东大学) 2014年 6月 18日 (2014 - 06 - 18) 全文	1-10
A	CN 106246204 A (山东大学) 2016年 12月 21日 (2016 - 12 - 21) 全文	1-10
A	CN 107390291 A (山东大学等) 2017年 11月 24日 (2017 - 11 - 24) 全文	1-10
A	JP 2005226333 A (MEGA CHIPS CORP) 2005年 8月 25日 (2005 - 08 - 25) 全文	1-10
A	US 4104518 A (SIEMENS AG) 1978年 8月 1日 (1978 - 08 - 01) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2020年 4月 9日

国际检索报告邮寄日期

2020年 4月 24日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局 (ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

李全晓

电话号码 86-010-62085426

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/073573

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	110145366	A	2019年 8月 20日	无	
CN	108917638	A	2018年 11月 30日	无	
CN	106840014	A	2017年 6月 13日	无	
CN	203659190	U	2014年 6月 18日	无	
CN	106246204	A	2016年 12月 21日	无	
CN	107390291	A	2017年 11月 24日	无	
JP	2005226333	A	2005年 8月 25日	无	
US	4104518	A	1978年 8月 1日	FR 2336546 A1	1977年 7月 22日
				DE 2558323 A1	1976年 11月 18日
				GB 1510767 A	1978年 5月 17日
				BE 849609 A	1977年 4月 15日
				YU 271176 A	1982年 5月 31日
				PL 107222 B1	1980年 2月 29日