



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111236973 B

(45) 授权公告日 2020. 11. 20

(21) 申请号 202010033967.5

E21D 11/18 (2006.01)

(22) 申请日 2020.01.13

E21D 11/38 (2006.01)

E21D 21/00 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111236973 A

(43) 申请公布日 2020.06.05

(73) 专利权人 西南交通大学

地址 610036 四川省成都市二环路北一段

(72) 发明人 严健 何川 董唯杰 汪波

徐国文

(74) 专利代理机构 成都东恒知盛知识产权代理

事务所(特殊普通合伙)

51304

代理人 何健雄 廖祥文

(56) 对比文件

CN 103061779 A, 2013.04.24

CN 109838263 A, 2019.06.04

CN 106437784 A, 2017.02.22

CN 107218061 A, 2017.09.29

CN 108952759 A, 2018.12.07

EP 1094197 A1, 2001.04.25

齐春等. 深部复合地层管片衬砌与可压缩层联合支护技术研究.《工程力学》.2019,

审查员 张秀

(51) Int. Cl.

E21D 11/10 (2006.01)

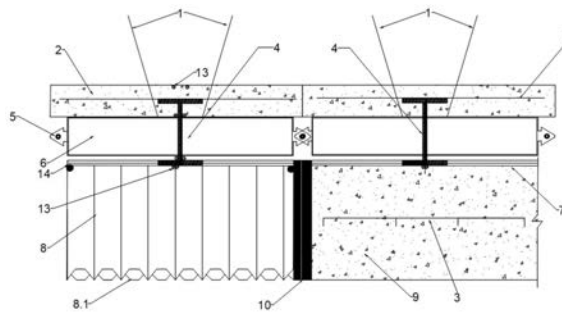
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种用于板块活动带隧道的韧性结构

(57) 摘要

本发明公开了一种用于板块活动带隧道的韧性结构,包括让压式锚杆、初喷混凝土层、钢筋网片、圆孔型蜂窝工字钢拱架、铰链、可滑动钢套筒、防水层、蜂窝状钢箱预制模块节、蜂窝状散热孔、二衬混凝土层、橡胶条、钢箱预制模块顶部滑槽、钢箱预制模块顶部旋转盘卡座、多功能结构健康监测感知元件和起吊环,通过让压锚杆的主动支护及释能作用、蜂窝状钢箱预制模块节的可压缩变形吸能作用,共同起到释放部分围岩压力及形变能、吸收地震动荷载作用积聚能量的功能,进而增加了隧道结构的安全系数,在地震发生时可主动响应并方便后期进行恢复,有良好的抗震韧性。



1. 一种用于板块活动带隧道的韧性结构,包括让压式锚杆(1)、初喷混凝土层(2)、钢筋网片(3)、圆孔型蜂窝工字钢拱架(4)、铰链(5)、可滑动钢套筒(6)、防水层(7)、蜂窝状钢箱预制模块节(8)、蜂窝状散热孔(8.1)、二衬混凝土层(9)、橡胶条(10)、钢箱预制模块顶部滑槽(11)、钢箱预制模块顶部旋转盘卡座(12)、多功能结构健康监测感知元件(13)和起吊环(14);

所述二衬混凝土层(9)位于最外层,所述防水层(7)焊接于二衬混凝土层(9)上表面,所述橡胶条(10)粘结于二衬混凝土层(9)与防水层(7)与蜂窝状钢箱预制模块节(8)之间;所述蜂窝状钢箱预制模块节(8)的顶部固定有钢箱预制模块顶部滑槽(11)和钢箱预制模块顶部旋转盘卡座(12);所述蜂窝状钢箱预制模块节(8)与初喷混凝土层(2)之间设置有圆孔型蜂窝工字钢拱架(4),所述圆孔型蜂窝工字钢拱架(4)腹板开孔,开孔为蜂窝圆形开孔(4.1),所述可滑动钢套筒(6)采用金属管材,内有拉力弹簧,两端封闭,端头焊有铰链(5),带铰链的可滑动钢套筒(6)穿插于圆孔型蜂窝工字钢拱架(4)腹板蜂窝圆形开孔(4.1)内;

所述初喷混凝土层(2)位于最里层,包裹钢筋网和围岩,紧贴可滑动钢套筒(6),所述圆孔型蜂窝工字钢拱架(4)上翼缘与让压式锚杆(1)的一端、钢筋网片(3)焊接,并包裹于初喷混凝土层(2)内;下翼缘与钢箱预制模块顶部滑槽(11)和钢箱预制模块顶部旋转盘卡座(12)进行卡扣连接;让压式锚杆(1)的另一端留在通过初喷混凝土层(2)的外面。

2. 根据权利要求1所述的用于板块活动带隧道的韧性结构,其特征在于:所述的蜂窝状钢箱预制模块节(8)内部为蜂窝状结构,内部为多块垂直排列的压弯型金属板组成的蜂窝状折板(815),外部左侧板(811)、外部右侧板(812)、前板(813)和后板(814)为具有延展性可弯折的薄金属板焊接组成箱体将蜂窝状折板(815)包围其中,各外侧面设管槽用以插入橡胶条。

3. 根据权利要求2所述的用于板块活动带隧道的韧性结构,其特征在于:所述的蜂窝状折板(815)板材为轧制优质低碳钢板或铝合金材料,蜂窝状折板厚度为0.3-1.0cm,保证蜂窝状钢箱预制模块节(8)具有压缩性,所述箱体外部左侧板(811)、外部右侧板(812)、前板(813)和后板(814)的厚度为0.15-0.5cm。

4. 根据权利要求1所述的用于板块活动带隧道的韧性结构,其特征在于:所述的蜂窝状钢箱预制模块节(8)外设箱体,箱体外型可为长方体或弧形管片状,通过采用模块化工厂加工预制,箱体尺寸可调,其长度、高度和宽度尺寸根据围岩级别和支护设计参数选择,所述箱体外焊有起吊环(14),可以单独作为管节使用,亦可作为半预制件现场进行拼装连接成环置于设计位置,与二衬混凝土层共同形成隧道永久结构;箱体上下为蜂窝状散热孔(8.1),为敞开式结构,蜂窝状钢箱预制模块节(8)可以通过散热孔释放热量,所述蜂窝状钢箱预制模块节(8)单独或成环使用时要求散热孔临空面与二衬混凝土层(9)表面平齐。

5. 根据权利要求1所述的用于板块活动带隧道的韧性结构,其特征在于:所述的防水层(7)根据蜂窝状钢箱预制模块节(8)与二衬混凝土层(9)空间位置不同,在隧道轴向、环向连接处分别设置,采用超声波焊机固定,双缝热合爬焊机焊接并紧贴二衬混凝土层(9)内侧和四周,所述防水层(7)采用EVA 防水板或橡胶条。

6. 根据权利要求1所述的用于板块活动带隧道的韧性结构,其特征在于:所述的让压式锚杆(1)采用全长粘结式让压锚杆,杆体采用高强度螺纹钢,端头滚丝,带托盘、螺母、根据设计数量和角度布设,尺寸、数量根据隧道结构设计计算确定,一组蜂窝状钢箱预制模块节

(8)连接2-4根锚杆,锚杆杆体钻孔埋入围岩中,端部与圆孔型蜂窝工字钢拱架(4)焊接固定成一体。

7.根据权利要求1所述的用于板块活动带隧道的韧性结构,其特征在于:所述的可滑动钢套筒(6)穿插于圆孔型蜂窝工字钢拱架(4)腹板蜂窝圆形开孔(4.1)内,在隧道轴向,套筒与套筒之间采用活动铰链连接;在隧道环向,套筒与套筒之间的间距根据设计设定;所述让压式锚杆(1)、圆孔型蜂窝工字钢拱架(4)、初喷混凝土层(2)、蜂窝状钢箱预制模块节(8)、带铰链的可滑动钢套筒(6)形成柔性支护体系。

8.根据权利要求7所述的用于板块活动带隧道的韧性结构,其特征在于:所述的可滑动钢套筒(6)穿插于圆孔型蜂窝工字钢拱架(4)腹板蜂窝圆形开孔(4.1)内,可轴向滑动,通过可滑动钢套筒(6)之间的铰链连接,以及蜂窝状钢箱预制模块节(8)的滑动、旋转和压缩,进而实现隧道轴向、环向和径向均可受压及自由变形。

9.根据权利要求1所述的用于板块活动带隧道的韧性结构,其特征在于:所述的蜂窝状钢箱预制模块节(8)内部及四周设置有温度、位移、压力的多功能结构健康监测感知元件(13),所述多功能结构健康监测感知元件(13)监测数据通过无线或现场布线进行传输,并通过隧道中央控制室进行控制。

10.根据权利要求1所述的用于板块活动带隧道的韧性结构,其特征在于:所述的圆孔型蜂窝工字钢拱架(4),采用 18#以上的宽翼缘H型钢,将H型钢腹板在工厂冷弯加工,并按半圆形样式切割后重新焊接,形成具有梁较高的隧道用弧形蜂窝拱架。

## 一种用于板块活动带隧道的韧性结构

### 技术领域

[0001] 本发明涉及隧道工程、工程抗震、防灾减灾领域,具体涉及一种用于板块活动带隧道的韧性结构。

### 背景技术

[0002] 目前,众多具有重大战略意义的工程在我国青藏高原边缘及纵深开展,其中,川藏铁路是我国正在规划建设的重要铁路干线之一,该铁路线横跨扬子板块、川滇地块、羌塘地块和拉萨地块等大地构造单元,在复杂的地质构造背景条件下,川藏铁路沿线活动断裂、地震和地质灾害极为发育,严重制约着川藏铁路的规划建设。川藏铁路沿线构造应力场和地热场复杂,深埋隧道工程建设时,高地温高地应力复杂环境已成为当前位于板块活动带的隧道工程的主要特点。

[0003] 在热力耦合作用下,岩体内积聚的高温温降、应变能释放时将导致强烈的围岩破坏,对现场施工人员和设备造成极大的危害,同时,对隧道全寿命期结构安全性产生潜在影响。

[0004] 目前,常用的高地温隧道支护结构体系由“隔热材料 + 初期支护 + 防水材料 + 二次衬砌”等组成,适用于围岩温度  $80^{\circ}\text{C}$ ,具有减少了围岩传递给支护结构的热量,增大支护结构向隧道内空气热量辐射的优点,但上述隧道结构未考虑地震设防、高地应力的耦合损伤等问题。

[0005] 针对高地应力硬岩隧道,为防治岩爆常用的方法是提高岩体的储能能力或吸收围岩释放的能量,通过对围岩进行支护来达到预防岩爆的目的,主要采用的结构形式以吸能支护、柔性支护、刚性支护或二者结合的方式为主。针对软岩大变形地层主要有3种方法,一种是加大支护结构刚度,如采用加厚的喷射混凝土、间距更密的高强度钢拱架及较厚的二次衬砌等,但随着隧道开挖过程中应力的逐步释放,支护体系的受力亦会逐步增大。第二种是采用分层支护技术,主要是采用两层或多层施作初期支护。但若第一层喷射混凝土较薄,则容易出现开裂、鼓出或钢拱架扭曲断裂等初期支护破坏现象;可对初喷射混凝土层采用有重型密集的钢拱架、加厚喷混凝土层、加密锚杆间距和增大锚杆长度等进行补强,但又会明显增加了材料用量和工程量。第三种方法是采用具备“强柔性、高可缩性、边支边让”等特点的新型让压支护结构,允许其产生一定的位移量以释放部分围岩压力以及动荷载作用时积聚的能量,以达到充分发挥围岩的自承载能力。这些结构形式优化了支护受力,但未考虑高地温的热害作用以及地震下的结构维持及自恢复问题。

[0006] 针对高地应力、高地温隧道耦合环境下的水工、交通和矿山等地下工程,特别针对穿越板块活动带、横断山脉等造山带的川藏铁路、滇藏铁路等超高地温、极高地应力隧道,主动感知和响应隧道变形和损伤,减少隧道全寿命周期的灾害、对维持围岩稳定、保证结构长期健康安全并预留结构优化空间,在受灾害时能通过更换模块等方式恢复结构功能,进而增加板块活动带高地应力高地温隧道的抗震韧性,具有重要的意义。

## 发明内容

[0007] 为解决现有技术中存在的问题,本发明提供了一种用于板块活动带隧道的韧性结构,解决了上述背景技术中提到的问题。

[0008] 为实现上述目的,本发明提供如下技术方案:一种用于板块活动带隧道的韧性结构,包括让压式锚杆、初喷混凝土层、钢筋网片、圆孔型蜂窝工字钢拱架、铰链、可滑动钢套筒、防水层、蜂窝状钢箱预制模块节、蜂窝状散热孔、二衬混凝土层、橡胶条、钢箱预制模块顶部滑槽、钢箱预制模块顶部旋转盘卡座、多功能结构健康监测感知元件和起吊环;

[0009] 所述二衬混凝土层位于最外层,所述防水层焊接于二衬混凝土层上表面,所述橡胶条粘结于二衬混凝土层与防水层与蜂窝状钢箱预制模块节之间;所述蜂窝状钢箱预制模块节的顶部固定有钢箱预制模块顶部滑槽和钢箱预制模块顶部旋转盘卡座;所述蜂窝状钢箱预制模块节与初喷混凝土层之间设置有圆孔型蜂窝工字钢拱架,所述圆孔型蜂窝工字钢拱架腹板开孔,开孔为蜂窝圆形开孔,所述可滑动钢套筒采用金属管材,内有拉力弹簧,两端封闭,端头焊有铰链,带铰链的可滑动钢套筒穿插于圆孔型蜂窝工字钢拱架腹板蜂窝圆形开孔内;

[0010] 所述初喷混凝土层位于最里层,包裹钢筋网和围岩,紧贴可滑动钢套筒,所述圆孔型蜂窝工字钢拱架上翼缘与让压式锚杆的一端、钢筋网片焊接,并包裹于初喷混凝土层内;下翼缘与钢箱预制模块顶部滑槽和钢箱预制模块顶部旋转盘卡座进行卡扣连接;让压式锚杆的另一端留在通过初喷混凝土层的外面。

[0011] 优选的,所述的蜂窝状钢箱预制模块节内部为蜂窝状结构,内部为多块垂直排列的压弯型金属板组成的蜂窝状折板,外部左侧板、外部右侧板、前板和后板为具有延展性可弯折的薄金属板焊接组成箱体将蜂窝状折板包围其中,各外侧面设管槽用以插入橡胶条。

[0012] 优选的,所述的蜂窝状折板板材为轧制优质低碳钢板或铝合金材料,蜂窝状折板厚度为0.3-1.0cm,保证蜂窝状钢箱预制模块节具有压缩性,所述箱体外部左侧板、外部右侧板、前板和后板的厚度为0.15-0.5cm。

[0013] 优选的,所述的蜂窝状钢箱预制模块节外设箱体,箱体外型可为长方体或弧形管片状,通过采用模块化工厂加工预制,箱体尺寸可调,其长度、高度和宽度尺寸根据围岩级别和支护设计参数选择,所述箱体外焊有起吊环,可以单独作为管节使用,亦可作为半预制件现场进行拼装连接成环置于设计位置,与二衬混凝土层共同形成隧道永久结构;箱体上下为蜂窝状散热孔,为敞开式结构,蜂窝状钢箱预制模块节可以通过散热孔释放热量,所述蜂窝状钢箱预制模块节单独或成环使用时要求散热孔临空面与二衬混凝土层表面平齐。

[0014] 优选的,所述的防水层根据蜂窝状钢箱预制模块节与二衬混凝土层空间位置不同,在隧道轴向、环向连接处分别设置,采用超声波焊机固定,双缝热合爬焊机焊接并紧贴二衬混凝土层内侧和四周,所述防水层采用EVA 防水板或橡胶条。

[0015] 优选的,所述的让压式锚杆采用全长粘结式让压锚杆,杆体采用高强度螺纹钢,端头滚丝,带托盘、螺母,根据设计数量和角度布设,尺寸、数量根据隧道结构设计计算确定,一组蜂窝状钢箱预制模块节连接2-4根锚杆,锚杆杆体钻孔埋入围岩中,端部与圆孔型蜂窝工字钢拱架焊接固定成一体。

[0016] 优选的,所述的可滑动钢套筒穿插于圆孔型蜂窝工字钢拱架腹板蜂窝圆形开孔内,在隧道轴向,套筒与套筒之间采用活动铰链连接;在隧道环向,套筒与套筒之间的间距

根据设计设定;所述让压式锚杆、圆孔型蜂窝工字钢拱架、初喷混凝土层、蜂窝状钢箱预制模块节、带铰链的可滑动钢套筒形成柔性支护体系。

[0017] 优选的,所述的可滑动钢套筒穿插于圆孔型蜂窝工字钢拱架腹板蜂窝圆形开孔内,可轴向滑动,通过可滑动钢套筒之间的铰链连接,以及蜂窝状钢箱预制模块节的滑动、旋转和压缩,进而实现隧道轴向、环向和径向均可受压及自由变形。

[0018] 优选的,所述的蜂窝状钢箱预制模块节内部及四周设置有温度、位移、压力的多功能结构健康监测感知元件,所述多功能结构健康监测感知元件监测数据通过无线或现场布线进行传输,并通过隧道中央控制室进行控制。

[0019] 优选的,所述的圆孔型蜂窝工字钢拱架,采用18#以上的宽翼缘H型钢,将H型钢腹板在工厂冷弯加工,并按半圆形样式切割后重新焊接,形成具有梁较高的隧道用圆孔型蜂窝工字钢拱架。

[0020] 本发明的有益效果是:

[0021] (1)本发明主要用于板块活动带高应力与高地温耦合灾害突出的地震高发区域隧道,所述让压式锚杆、圆孔型蜂窝工字钢拱架、初喷混凝土层、蜂窝状钢箱预制模块节、带铰链可滑动钢套筒形成可更换、可响应的柔性支护体系;其原理为通过让压锚杆的主动支护及释能作用、蜂窝状钢箱预制模块节的可压缩变形吸能作用,共同起到释放部分围岩压力及形变能、吸收地震动荷载作用积聚能量的功能,进而增加了隧道结构的安全系数,在地震发生时可主动响应并后期进行恢复,有良好的抗震韧性。

[0022] (2)本发明的圆孔型蜂窝钢拱架适用于隧道这类轴心受压构件或压弯构件,可滑动钢套筒内穿圆孔型蜂窝工字钢拱架、通过铰链在隧道轴向与相邻结构进行铰接,具有一定的转动能力;蜂窝状钢箱预制模块节顶面焊有旋转盘、滑动卡座,与钢拱架上焊接的卡扣活动连接后,可具有一定的自由转动和滑动能力;通过上述连接,结构在承受围岩荷载时,隧道结构之间、隧道结构和围岩之间只传递垂直剪力,不传递弯,起到减缓板块活动带热力耦合灾害、并具有应对地震动荷载的作用。

[0023] (3)本发明的蜂窝状钢箱预制模块由低碳钢或铝合金制成,具有较高的抗弯能力,重量轻、强度高,压溃后可焊接可拆除,支护结构后期具有增阻性;蜂窝状散热孔为敞开式,具有散热功能,运营期可利用隧道通风或列车活塞风对高地温隧道进行降温,后期亦可在蜂窝孔中喷射一定厚度混凝土修复或填充泡沫混凝土作为隔热层,具有一定的经济性和施工便利性。

[0024] (4)本发明的蜂窝状钢箱预制模块节可采用模块化预制,且尺寸可调,制造方便、制造成本低、施工周期短,可以单独作为管片使用,亦可作为半预制件进行拼装连接成环在隧道环向使用,也可以设置在径向使用,能适应隧道内壁的曲面形状,通过与二衬混凝土共同进行结构计算,按照计算可折减二衬混凝土结构厚度,降低混凝土的用量和工作量,在设计位置进行快速吊装施工,加速隧道的施工进度。

## 附图说明

[0025] 图1为本发明的主视图;

[0026] 图2为本发明蜂窝状钢箱预制模块的俯视图;

[0027] 图3为本发明环向视图;

[0028] 图中,1-让压式锚杆,2-初喷混凝土层,3-钢筋网片,4-圆孔型蜂窝工字钢拱架,4.1-蜂窝圆形开孔,5-铰链,6-可滑动钢套筒,7-防水层,8-蜂窝状钢箱预制模块节,8.1-蜂窝状散热孔,811-外部左侧板,812-外部右侧板,813-前板,814-后板,815-蜂窝状折板,9-二衬混凝土层,10-橡胶条,11-钢箱预制模块顶部滑槽,12-钢箱预制模块顶部旋转盘卡座,13-多功能结构健康监测感知元件,14-起吊环。

### 具体实施方式

[0029] 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、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0030] 请参阅图1-3,本发明提供一种技术方案:一种用于板块活动带隧道的韧性结构,包括让压式锚杆1、初喷混凝土层2、钢筋网片3、圆孔型蜂窝工字钢拱架4、铰链5、可滑动钢套筒6、防水层7、蜂窝状钢箱预制模块节8、蜂窝状散热孔8.1、二衬混凝土层9、橡胶条10、钢箱预制模块顶部滑槽11、钢箱预制模块顶部旋转盘卡座12、多功能结构健康监测感知元件13和起吊环14。

[0031] 进一步的,所述二衬混凝土层9位于最外层,所述防水层7焊接于二衬混凝土层9上表面,所述橡胶条10粘结于二衬混凝土层9与防水层7与蜂窝状钢箱预制模块节8之间;所述蜂窝状钢箱预制模块节8的顶部固定有钢箱预制模块顶部滑槽11和钢箱预制模块顶部旋转盘卡座12;所述蜂窝状钢箱预制模块节8与初喷混凝土层2之间设置有圆孔型蜂窝工字钢拱架4,所述圆孔型蜂窝工字钢拱架4腹板开孔,开孔为蜂窝圆形开孔4.1,所述可滑动钢套筒6采用金属管材,内有拉力弹簧,两端封闭,端头焊有铰链5,带铰链的可滑动钢套筒6穿插于圆孔型蜂窝工字钢拱架4腹板蜂窝圆形开孔4.1内。

[0032] 进一步的,所述初喷混凝土层2位于最里层,包裹钢筋网和围岩,紧贴可滑动钢套筒6,所述圆孔型蜂窝工字钢拱架4上翼缘与让压式锚杆1的一端、钢筋网片3焊接,并包裹于初喷混凝土层2内;下翼缘与钢箱预制模块顶部滑槽11和钢箱预制模块顶部旋转盘卡座12进行卡扣连接;让压式锚杆1的另一端留在通过初喷混凝土层2的外面。

[0033] 进一步的,所述的蜂窝状钢箱预制模块节8内部为蜂窝状结构,内部为多块垂直排列的压弯型金属板组成的蜂窝状折板815,外部左侧板811、外部右侧板812、前板813和后板814为具有延展性可弯折的薄金属板,厚度为0.15-0.5cm,焊接组成箱体将蜂窝状折板815包围其中。

[0034] 进一步的,所述的蜂窝状折板815板材为轧制优质低碳钢板或铝合金材料,蜂窝状折板厚度0.3-1.0cm,保证蜂窝状钢箱预制模块节8具有压缩性。

[0035] 进一步的,所述的蜂窝状钢箱预制模块节8外设箱体,箱体外型可为长方体或弧形管片状,通过采用模块化工厂加工预制,箱体尺寸可调,其长度、高度和宽度尺寸根据围岩级别和支护设计参数选择,所述箱体外焊有起吊环14,可以单独作为管节使用,亦可作为半预制件现场进行拼装连接成环置于设计位置,与二衬混凝土层共同形成隧道永久结构;箱体上下为蜂窝状散热孔8.1,为敞开式结构,蜂窝状钢箱预制模块节8可以通过散热孔释放热量,所述蜂窝状钢箱预制模块节8单独或成环使用时要求散热孔临空面与二衬混凝土层9

表面平齐。

[0036] 进一步的,所述的防水层7根据蜂窝状钢箱预制模块节8与二衬混凝土层9空间位置不同,在隧道轴向、环向连接处分别设置,采用超声波焊机固定,双缝热合爬焊机焊接并紧贴二衬混凝土层9内侧和四周,所述防水层7采用EVA 防水板或橡胶条。

[0037] 进一步的,所述的让压式锚杆1采用全长粘结式让压锚杆,杆体采用高强度螺纹钢,端头滚丝,带托盘、螺母、根据设计数量和角度布设,尺寸、数量根据隧道结构设计计算确定,一组蜂窝状钢箱预制模块节8连接2-4根锚杆,锚杆杆体钻孔埋入围岩中,端部与圆孔型蜂窝工字钢拱架4焊接固定成一体。

[0038] 进一步的,所述的可滑动钢套筒6穿插于圆孔型蜂窝工字钢拱架4腹板蜂窝圆形开孔4.1内,在隧道轴向,套筒与套筒之间采用活动铰链连接;可上下左右转动,进而实现隧道轴向、环向和径向均可受压及自由变形,在隧道环向,套筒与套筒之间的间距根据设计设定;所述让压式锚杆1、圆孔型蜂窝工字钢拱架4、初喷混凝土层2、蜂窝状钢箱预制模块节8、带铰链的可滑动钢套筒6形成柔性支护体系。

[0039] 进一步的,所述的可滑动钢套筒6穿插于圆孔型蜂窝工字钢拱架4腹板蜂窝圆形开孔4.1内,可轴向滑动,通过可滑动钢套筒6之间的铰链5连接,以及蜂窝状钢箱预制模块节8的滑动、旋转和压缩,进而实现隧道轴向、环向和径向均可受压及自由变形。

[0040] 进一步的,所述的蜂窝状钢箱预制模块节8内部及四周设置有温度、位移、压力的多功能结构健康监测感知元件13,所述多功能结构健康监测感知元件13监测数据通过无线或现场布线进行传输,可主动感知并长期监测隧道结构,并通过隧道中央控制室进行控制。

[0041] 进一步的,所述的圆孔型蜂窝工字钢拱架4,采用 18#以上的宽翼缘H型钢,将H型钢腹板在工厂冷弯加工,并按半圆形样式切割后重新焊接,形成具有梁较高的隧道用圆孔型蜂窝工字钢拱架。

[0042] 尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,对于本领域的技术人员来说,其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。



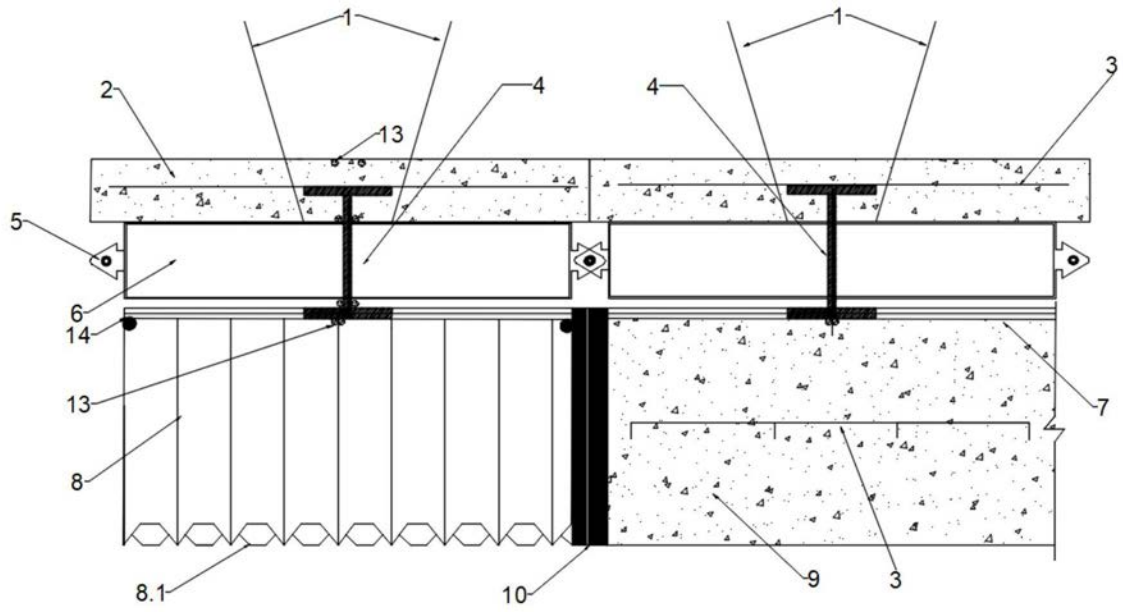


图1

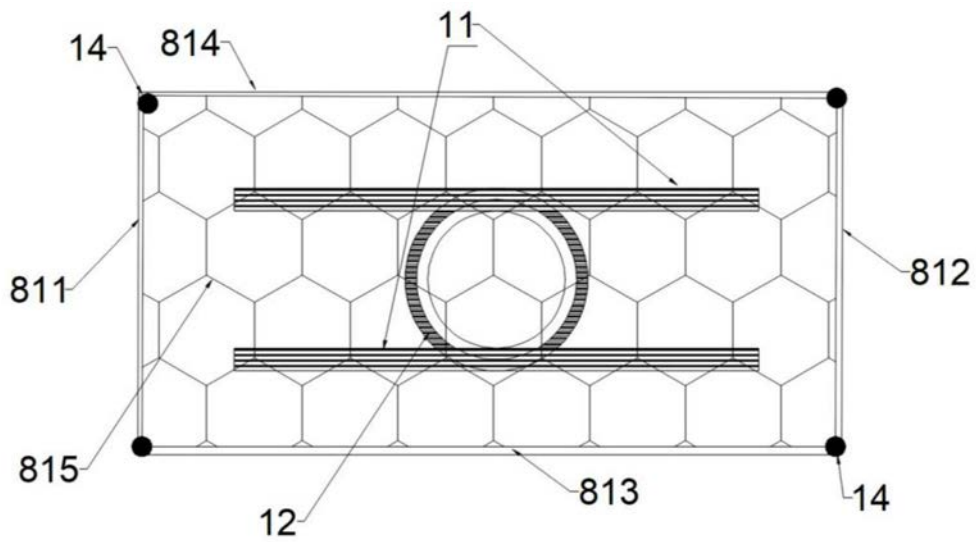


图2

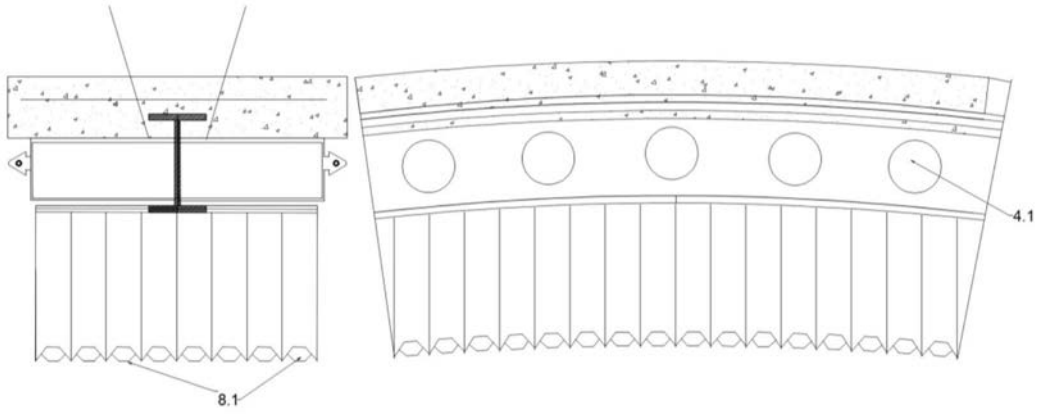


图3