



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110671132 A

(43)申请公布日 2020.01.10

(21)申请号 201911055494.2

(22)申请日 2019.10.31

(71)申请人 中铁二十局集团有限公司

地址 710016 陕西省西安市未央区太华路  
89号

(72)发明人 任少强 申运涛 谢江胜 刘之涛  
马传明 曹运祥 王建军 张会安  
王森 葛亮亮 高王峰 吴小波

(74)专利代理机构 西安创知专利事务所 61213  
代理人 景丽娜

(51)Int.Cl.

E21D 11/10(2006.01)

E21D 11/18(2006.01)

E21D 21/00(2006.01)

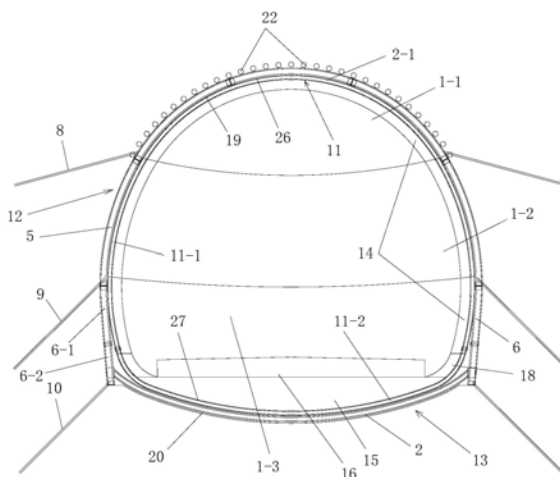
权利要求书5页 说明书24页 附图5页

(54)发明名称

一种基于套拱的深埋黄土隧道变形控制施工结构及方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于套拱的深埋黄土隧道变形控制施工结构及方法,该结构包括对隧道洞进行初期支护的隧道初期支护结构和布设于隧道初期支护结构内侧的增强套拱,隧道初期支护结构与增强套拱组成增强后初支结构;该方法包括步骤:一、隧道开挖及初期支护;二、增强套拱施工。本发明设计合理且施工简便、使用效果好,采用增强套拱对隧道初期支护结构进行加固并形成增强后初支结构,在增强套拱与隧道初期支护结构之间设置隔离层,并且增强套拱采用多个套拱单元对隧道初期支护结构分段式进行加固,不仅施工简便,并且使施工成型的增强后初支结构具有一定的自适应能力,能有效适应隧道周侧土体变形情况,从而有效减轻增强后初支结构的抗变形能力。



1. 一种基于套拱的深埋黄土隧道变形控制施工结构,其特征在于:包括对所施工黄土隧道的隧道洞(1)进行初期支护的隧道初期支护结构和布设于所述隧道初期支护结构内侧且对所述隧道初期支护结构进行加固的增强套拱,所述隧道初期支护结构和所述增强套拱均为隧道洞(1)进行全断面支护的全断面支护结构;所述隧道洞(1)的横断面积大于 $100\text{m}^2$ ,所述隧道洞(1)的埋深大于 $80\text{m}$ ;所述隧道初期支护结构与位于其内侧的所述增强套拱组成增强后初支结构;

所述增强套拱包括多个套拱单元,多个所述套拱单元的结构均相同且其沿所施工黄土隧道的隧道纵向延伸方向由后向前布设,每个所述套拱单元与所述隧道初期支护结构之间均设置有一层隔离层(26),所述隔离层(26)为由铺装在该所述套拱单元与所述隧道初期支护结构之间的无纺布形成的全断面隔层,所述隔离层(26)的横断面形状与隧道洞(1)的横断面形状相同;

所述隧道洞(1)由上至下分为上部洞体(1-1)、中部洞体(1-2)和下部洞体(1-3);所述上部洞体(1-1)为由后向前对所施工黄土隧道进行上台阶开挖后形成的洞体,所述中部洞体(1-2)为由后向前对所施工黄土隧道进行中台阶开挖后形成的洞体,所述下部洞体(1-3)为由后向前对所施工黄土隧道进行下台阶开挖后形成的洞体;

所述隧道初期支护结构分为对隧道洞(1)的拱墙进行初期支护的拱墙初期支护结构(12)和对隧道洞(1)底部进行初期支护的初期支护仰拱(13);

所述隧道初期支护结构包括对隧道洞(1)进行全断面支护的全断面支撑结构、对隧道洞(1)的拱墙进行初期支护的拱墙网喷支护结构和对隧道洞(1)底部进行初期支护的仰拱网喷支护结构;所述全断面支撑结构包括多榀沿隧道纵向延伸方向由后向前布设的全断面支撑架,前后相邻两榀所述全断面支撑架均通过多道纵向连接钢筋紧固连接为一体,所述纵向连接钢筋呈水平布设且其沿隧道纵向延伸方向布设,多道所述纵向连接钢筋沿所述全断面支撑架的轮廓线进行布设;所述全断面支撑结构中多榀所述全断面支撑架呈均匀布设,前后相邻两榀所述全断面支撑架之间的间距为 $L$ ,其中 $L$ 的取值范围为 $0.5\text{m}\sim 0.8\text{m}$ ;

所述全断面支撑架的形状与隧道洞(1)的横断面形状相同,每榀所述全断面支撑架均由一个对隧道洞(1)的拱墙进行支护的拱墙支撑拱架和一个对隧道洞(1)底部进行支护的隧道仰拱支架(2)拼接而成,所述隧道仰拱支架(2)位于所述拱墙支撑拱架的正下方且二者位于同一隧道横断面上,所述隧道仰拱支架(2)与所述拱墙支撑拱架形成一个封闭式全断面支架;

所述拱墙网喷支护结构与所述全断面支撑结构中的所有拱墙钢拱架组成拱墙初期支护结构(12),所述仰拱网喷支护结构与所述全断面支撑结构中的所有隧道仰拱支架(2)组成初期支护仰拱(13);

所述拱墙支撑拱架由一个位于上部洞体(1-1)内的上部拱架(3)、两个对称布设于上部拱架(3)左右两侧下方且均位于中部洞体(1-2)内的中部侧支架(5)、两个对称布设于上部拱架(3)左右两侧下方且均位于下部洞体(1-3)内的下部侧支架(6),所述隧道仰拱支架(2)位于下部洞体(1-3)内;每个所述中部侧支架(5)均连接于一个所述下部侧支架(6)上端与上部拱架(3)的一端之间;所述隧道仰拱支架(2)的左端与一个所述下部侧支架(6)底部紧固连接,所述隧道仰拱支架(2)的右端与另一个所述下部侧支架(6)底部紧固连接;

每个所述套拱单元均包括 $M$ 榀沿隧道纵向延伸方向由后向前布设的型钢拱架(11)和一

层由喷射于隔离层(26)上的混凝土形成的内侧混凝土喷射层(27),所述内侧混凝土喷射层(27)的层厚不小于25cm,M榀所述钢拱架(11)呈均匀布设且前后相邻两榀所述钢拱架(11)之间的间距为0.8m~1.2m;每榀所述型钢拱架(11)均为对隧道洞(1)进行全断面支护的全断面支架,M榀所述型钢拱架(11)均固定于内侧混凝土喷射层(27)内,所述型钢拱架(11)的形状与隧道洞(1)的横断面形状相同,其中M为正整数且 $M \geq 4$ ;每个所述套拱单元中M榀所述型钢拱架(11)通过多道纵向钢筋紧固连接为一体,所述纵向钢筋呈水平布设且其沿隧道纵向延伸方向布设,多道所述纵向钢筋沿所述型钢拱架(11)的轮廓线进行布设;每榀所述型钢拱架(11)均包括一个对隧道洞(1)的拱墙进行支护的拱墙型钢支架(11-1)和一个对隧道洞(1)底部进行支撑的仰拱型钢支架(11-2),所述仰拱型钢支架(11-2)位于拱墙型钢支架(11-1)的正下方且二者均为拱形支架,所述仰拱型钢支架(11-2)的左端与拱墙型钢支架(11-1)的左端底部紧固连接,所述仰拱型钢支架(11-2)的右端与拱墙型钢支架(11-1)的右端底部紧固连接。

2.按照权利要求1所述的一种基于套拱的深埋黄土隧道变形控制施工结构,其特征在于:还包括对隧道洞(1)的拱墙进行加固的径向注浆加固结构;所述上部洞体(1-1)与中部洞体(1-2)组成隧道上洞体,所述径向注浆加固结构位于所述隧道上洞体外侧;

所述径向注浆加固结构为通过多排径向注浆孔(28)向所述隧道上洞体外侧土体内注浆加固后形成的加固结构,多排所述径向注浆孔(28)沿隧道延伸方向由后向前布设,每排所述径向注浆孔(25)均包括多个沿所述隧道上洞体的开挖轮廓线由左至右布设于同一隧道断面上的径向注浆孔(28),每个所述径向注浆孔(28)均为一个从所述隧道上洞体内部由内向外钻进至土体内的钻孔,每排所述径向注浆孔(28)中多个所述径向注浆孔(28)呈均匀布设,前后相邻两排所述径向注浆孔(28)中的径向注浆孔(28)呈交错布设;所述径向注浆孔(28)的长度不小于3m。

3.按照权利要求1所述的一种基于套拱的深埋黄土隧道变形控制施工结构,其特征在于:所述增强后初支结构内布设有隧道二次衬砌,所述隧道二次衬砌为对隧道洞(1)进行全断面支护的全断面支护结构,所述隧道二次衬砌为钢筋混凝土衬砌;所述增强套拱中所有套拱单元均固定于所述隧道初期支护结构与所述隧道二次衬砌之间。

4.按照权利要求3所述的一种基于套拱的深埋黄土隧道变形控制施工结构,其特征在于:所述隧道二次衬砌分为对隧道洞(1)的拱墙进行支护的拱墙二次衬砌(14)和对隧道洞(1)底部进行支护的仰拱二次衬砌(15);所述仰拱二次衬砌(15)位于初期支护仰拱(13)上方,所述仰拱二次衬砌(15)上设置有仰拱回填层(16),所述仰拱二次衬砌(15)的上表面为水平面,所述拱墙二次衬砌(14)的左右两侧底部均为水平面,所述拱墙二次衬砌(14)支撑于仰拱二次衬砌(15)上且二者浇筑为一体,所述仰拱回填层(16)为混凝土填充层;

所述拱墙型钢支架(11-1)与仰拱型钢支架(11-2)之间的连接处位于仰拱二次衬砌(15)的上表面上方。

5.按照权利要求1所述的一种基于套拱的深埋黄土隧道变形控制施工结构,其特征在于:还包括对隧道洞(1)拱部进行超前支护的隧道超前支护结构;

所述全断面支撑结构外侧布设有锚固体系,所述锚固体系包括多个沿隧道纵向延伸方向由后向前布设的锚固组,每榀所述全断面支撑架外侧均布设有一个所述锚固组,每榀所述全断面支撑架与其上所布设的所述锚固组均布设于隧道洞(1)的同一个横断面上;

每个所述锚固组均包括左右两组对称布设于上部拱架(3)左右两侧底部外侧的上锁脚锚管(8)、左右两组对称布设的中锁脚锚管(9)和左右两组对称布设的下锁脚锚管(10),两组所述上锁脚锚管(8)、两组所述中锁脚锚管(9)和两组所述下锁脚锚管(10)均布设于隧道洞(1)的同一个横断面上;每个所述中部侧支架(5)的底部外侧均设置有一组所述中锁脚锚管(9),每个所述下部侧支架(6)的底部外侧均设置有一组所述下锁脚锚管(10);每组所述上锁脚锚管(8)均包括上下两个平行布设的上锁脚锚管(8),每组所述中锁脚锚管(9)均包括上下两个平行布设的中锁脚锚管(9),每组所述下锁脚锚管(10)均包括上下两个平行布设的下锁脚锚管(10);所述上锁脚锚管(8)、中锁脚锚管(9)和下锁脚锚管(10)均为由内至外进入隧道洞(1)周侧土层内的锁脚锚管,所述锁脚锚管由内向外逐渐向下倾斜。

6.一种利用如权利要求所述变形控制施工结构对深埋黄土隧道进行变形控制的施工方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

步骤一、隧道开挖及初期支护:沿隧道纵向延伸方向由后向前对所施工黄土隧道进行开挖,开挖过程中同步由后向前对开挖成型的隧道洞(1)进行初期支护,获得施工成型的所述隧道初期支护结构;

步骤二、增强套拱施工:步骤一中由后向前对开挖成型的隧道洞(1)进行初期支护过程中,沿隧道纵向延伸方向由后向前在已施工完成的所述隧道初期支护结构内侧对所述增强套拱进行施工,获得施工成型的所述增强后初支结构;

由后向前对所述增强套拱进行施工时,由后向前对所述增强套拱中的多个所述套拱单元分别进行施工,多个所述套拱单元的施工方法均相同;所述隧道初期支护结构中内侧布设有所述套拱单元的隧道初期支护结构节段为待增强初支节段;

对所述增强套拱中的任一个所述套拱单元进行施工时,过程如下:

步骤D1、隔离层铺设:由后向前在当前所施工套拱单元外侧的所述待增强初支节段内壁上铺设一层隔离层(26);

步骤D2、型钢拱架安装:步骤D1中由后向前铺设隔离层(26)过程中,由后向前在步骤一中所述待增强初支节段内对当前所施工套拱单元的M樨所述型钢拱架(11)分别进行安装,并使每樨所述型钢拱架(11)均支立于步骤D1中所述隔离层(26)内侧,同时使步骤D1中所述隔离层(26)垫装于所安装的M樨所述型钢拱架(11)与所述待增强初支节段的内壁之间;

步骤D3、纵向钢筋安装:步骤D2中M樨所述型钢拱架(11)均安装完成后,将M樨所述型钢拱架(11)通过多道所述纵向钢筋紧固连接为一体;

步骤D4、混凝土喷射:由后向前在步骤D1中所述隔离层(26)上喷射混凝土并形成内侧混凝土喷射层(27),并使步骤D2中M樨所述型钢拱架(11)和步骤D3中多道所述纵向钢筋均固定于内侧混凝土喷射层(27)内,同时使步骤D1中所述隔离层(26)垫装于所述待增强初支节段与内侧混凝土喷射层(27)之间。

7.按照权利要求6所述的施工方法,其特征在于:所述增强后初支结构内布设有隧道二次衬砌,所述隧道二次衬砌为对隧道洞(1)进行全断面支护的全断面支护结构,所述隧道二次衬砌为钢筋混凝土衬砌;所述增强套拱中所有套拱单元均固定于所述隧道二次衬砌内;

所述隧道二次衬砌分为对隧道洞(1)的拱墙进行支护的拱墙二次衬砌(14)和对隧道洞(1)底部进行支护的仰拱二次衬砌(15);所述仰拱二次衬砌(15)位于初期支护仰拱(13)上方,所述仰拱二次衬砌(15)上设置有仰拱回填层(16),所述仰拱二次衬砌(15)的上表面为

水平面,所述拱墙二次衬砌(14)的左右两侧底部均为水平面,所述拱墙二次衬砌(14)支撑于仰拱二次衬砌(15)上且二者浇筑为一体,所述仰拱回填层(16)为混凝土填充层;

步骤二中由后向前对所述增强套拱进行施工过程中,由后向前在施工成型的所述增强后初支结构内侧对所述隧道二次衬砌进行施工;

由后向前对所述隧道二次衬砌进行施工时,由后向前在已施工完成的初期支护仰拱(13)上对仰拱二次衬砌(15)进行施工,获得施工成型的仰拱二次衬砌(15);由后向前对仰拱二次衬砌(15)进行施工过程中,由后向前在已施工完成的仰拱二次衬砌(15)上对拱墙二次衬砌(14)进行施工,并使所施工拱墙二次衬砌(14)与位于其下方的仰拱二次衬砌(15)连接为一体,获得施工成型的所述隧道二次衬砌;

本步骤中,由后向前对仰拱二次衬砌(15)进行施工过程中,沿隧道纵向延伸方向由后向前在已施工完成的仰拱二次衬砌(15)上对仰拱回填层(16)进行施工。

8.按照权利要求6或7所述的施工方法,其特征在于:步骤D1中所述待增强初支节段由大变形段和两个分别位于所述大变形段前后两侧的变形过渡段连接而成,所述大变形段为所述隧道初期支护结构施工完成后24小时内所述隧道洞(1)的拱顶下沉值超过10mm和/或水平收敛值超过15mm的隧道节段,所述隧道洞(1)的拱顶下沉值为所述隧道初期支护结构拱顶内壁的绝对下沉值,所述隧道洞(1)的水平收敛值为隧道洞(1)最大开挖位置处所述隧道初期支护结构内壁的水平收敛值;两个所述变形过渡段均为所施工黄土隧道中与所述大变形段相邻且相互连通的隧道段,两个所述变形过渡段的长度均不小于 $3L$ 。

9.按照权利要求6或7所述的施工方法,其特征在于:步骤D4中进行混凝土喷射后,还需对步骤D1中所述待增强初支节段的拱墙进行径向注浆加固,并获得径向注浆加固结构;

所述上部洞体(1-1)与中部洞体(1-2)组成隧道上洞体,所述径向注浆加固结构位于所述隧道上洞体外侧;

所述径向注浆加固结构为通过多排径向注浆孔(28)向所述隧道上洞体外侧土体内注浆加固后形成的加固结构,多排所述径向注浆孔(28)沿隧道延伸方向由后向前布设,每排所述径向注浆孔(28)均包括多个沿所述隧道上洞体的开挖轮廓线由左至右布设于同一隧道断面上的径向注浆孔(28),每个所述径向注浆孔(28)均为一个从所述隧道上洞体内部由内向外钻进至土体内的钻孔,每排所述径向注浆孔(28)中多个所述径向注浆孔(28)呈均匀布设,前后相邻两排所述径向注浆孔(28)中的径向注浆孔(28)呈交错布设;所述径向注浆孔(28)的长度不小于3m;

每排所述径向注浆孔(28)均位于前后相邻两榀所述全断面支撑架之间,并且每排所述径向注浆孔(28)均位于前后相邻两榀所述型钢拱架(11)之间;

对步骤D1中所述待增强初支节段的拱墙进行径向注浆加固时,由后向前通过多排所述径向注浆孔(28)分别进行注浆加固。

10.按照权利要求6或7所述的施工方法,其特征在于:步骤一中进行隧道开挖及初期支护之前,需对隧道洞(1)拱部进行超前支护,并获得隧道超前支护结构;

所述隧道超前支护结构包括多个沿隧道纵向延伸方向由后向前对隧道洞(1)拱部进行超前支护的超前小导管注浆支护结构;多个所述超前小导管注浆支护结构的结构均相同,前后相邻两个所述超前小导管注浆支护结构之间的搭接长度不小于0.5m;

每个所述超前小导管注浆支护结构均包括多根由后向前钻进至隧道洞(1)掌子面前方

土体内的注浆小导管(22)和一个对多根所述注浆小导管(22)进行导向的小导管导向架,多根所述注浆小导管(22)沿上部洞体(1-1)的拱部轮廓线由左至右布设于同一隧道断面上;每个所述超前小导管注浆支护结构中所有注浆小导管(22)的结构和尺寸均相同;所述小导管导向架为一个所述上部拱架(3),所述小导管导向架上开有多个对注浆小导管(22)进行导向的导向孔,多个所述导向孔沿上部洞体(1-1)的拱部轮廓线由左至右布设。

## 一种基于套拱的深埋黄土隧道变形控制施工结构及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于隧道施工技术领域,尤其是涉及一种基于套拱的深埋黄土隧道变形控制施工结构及方法。

### 背景技术

[0002] 黄土是指在地质时代中的第四纪期间,以风力搬运的黄色粉土沉积物。黄土湿陷系数(也称湿陷系数)是评价黄土湿陷性的力学参数,指在一定压力下,黄土湿陷系数是指土样浸水前后高度之差与土样原始高度之比。黄土湿陷系数是评价黄土湿陷性的一个重要指标,可由试验直接测出。根据黄土湿陷系数不同,黄土分为湿陷性黄土和非湿陷性黄土。在我国西北地区大量建设交通基础设施,使穿越黄土地层的隧道工程越来越多。黄土地层具有多孔性、垂直节理发育、透水性强和沉陷性等地质特性,在隧道工程施工中易产生掌子面坍塌和初期支护结构大变形等情况。

[0003] 黄土本身土质软弱、竖向节理发育,在富水情况下自稳能力变差,隧道施工风险大;工程实践经验表明,深埋黄土隧道施工时常产生较大的围岩变形且持续时间也较长,若开挖方法和支护以及施工参数选择不合理,会导致围岩变形过大、支护结构开裂,甚至发生钢架扭曲、压溃等现象。深埋老黄土一般不具有湿陷性,含水率一般为10%~30%,但含水率对隧道变形影响比较大,黄土遇水围岩力学性质变差,常导致隧道支护强度不足而发生较大变形,容易造成隧道坍塌。对埋深大于50m的深埋黄土隧道进行施工时,施工难度非常大,所存在的施工风险更高,并且隧道变形难以控制,主要表现在以下三个方面:第一、围岩力学指标低、变形大:对于深埋黄土隧道,与隧道所处位置地应力水平相比,围岩强度较低,强度应力比小,易发生塑性变形,在隧道施工中拱顶下沉和拱脚收敛变形较大,整体上呈现出变形量大、变形持续时间较长等特点;黄土隧道一般采用柔性初期支护,若支护强度不够,隧道易变形过大导致坍塌;第二、含水率对变形影响大:深埋黄土隧道在施工过程中,含水率对隧道变形影响比较大,遇水围岩性质变差,荷载增大,导致隧道支护强度不足而发生较大的变形,容易造成隧道坍塌;第三、初支结构容易变形破坏:深埋老黄土隧道的围岩压力监测结果表明,隧道拱顶、拱腰处围岩压力普遍较大,拱顶和拱腰处初支结构容易发生破坏、钢架容易出现扭曲变形。尤其是对横断面大于100m<sup>2</sup>的大断面深埋黄土隧道进行施工时,施工难度更大,隧道变形更难以控制。如对横断面大于100m<sup>2</sup>且埋深为90m以上的大断面深埋黄土隧道进行施工时,黄土为砂质老黄土或黏质老黄土,竖向节理发育,开挖过程后,初期支护出现变形速率高(具体为拱顶下沉值的变化速率为10mm/d~20mm/d,水平收敛值的变化速率为15mm/d~35mm/d)、累计变形大(具体为拱顶下沉值和水平收敛值的累计值均达到100mm以上)等特点,说明深埋黄土隧道的变形量相当大,并且变形持续时间较长,支护结构设计不合理时常造成结构开裂、钢架压屈等现象。

### 发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题在于针对上述现有技术中的不足,提供一种基于套拱

的深埋黄土隧道变形控制施工结构,其结构设计合理且施工简便、使用效果好,采用增强套拱对隧道初期支护结构进行加固并形成增强后初支结构,能有效隧道初期支护效果,并对深埋黄土隧道初期支护变形进行有效控制;同时,在增强套拱与隧道初期支护结构之间设置隔离层,能进一步对增强套拱外侧土体变形进行控制;并且增强套拱采用多个套拱单元对隧道初期支护结构分段式进行加固,不仅施工简便,并且使施工成型的增强后初支结构具有一定的自适应能力,能有效适应隧道周侧土体变形情况,从而有效减轻增强后初支结构的抗变形能力。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:一种基于套拱的深埋黄土隧道变形控制施工结构,其特征在于:包括对所施工黄土隧道的隧道洞进行初期支护的隧道初期支护结构和布设于所述隧道初期支护结构内侧且对所述隧道初期支护结构进行加固的增强套拱,所述隧道初期支护结构和所述增强套拱均为隧道洞进行全断面支护的全断面支护结构;所述隧道洞的横断面积大于 $100\text{m}^2$ ,所述隧道洞的埋深大于 $80\text{m}$ ;所述隧道初期支护结构与位于其内侧的所述增强套拱组成增强后初支结构;

[0006] 所述增强套拱包括多个套拱单元,多个所述套拱单元的结构均相同且其沿所施工黄土隧道的隧道纵向延伸方向由后向前布设,每个所述套拱单元与所述隧道初期支护结构之间均设置有一层隔离层,所述隔离层为由铺装在该所述套拱单元与所述隧道初期支护结构之间的无纺布形成的全断面隔离层,所述隔离层的横断面形状与隧道洞的横断面形状相同;

[0007] 所述隧道洞由上至下分为上部洞体、中部洞体和下部洞体;所述上部洞体为由后向前对所施工黄土隧道进行上台阶开挖后形成的洞体,所述中部洞体为由后向前对所施工黄土隧道进行中台阶开挖后形成的洞体,所述下部洞体为由后向前对所施工黄土隧道进行下台阶开挖后形成的洞体;

[0008] 所述隧道初期支护结构分为对隧道洞的拱墙进行初期支护的拱墙初期支护结构和对隧道洞底部进行初期支护的初期支护仰拱;

[0009] 所述隧道初期支护结构包括对隧道洞进行全断面支护的全断面支撑结构、对隧道洞的拱墙进行初期支护的拱墙网喷支护结构和对隧道洞底部进行初期支护的仰拱网喷支护结构;所述全断面支撑结构包括多榀沿隧道纵向延伸方向由后向前布设的全断面支撑架,前后相邻两榀所述全断面支撑架均通过多道纵向连接钢筋紧固连接为一体,所述纵向连接钢筋呈水平布设且其沿隧道纵向延伸方向布设,多道所述纵向连接钢筋沿所述全断面支撑架的轮廓线进行布设;所述全断面支撑结构中多榀所述全断面支撑架呈均匀布设,前后相邻两榀所述全断面支撑架之间的间距为 $L$ ,其中 $L$ 的取值范围为 $0.5\text{m}\sim 0.8\text{m}$ ;

[0010] 所述全断面支撑架的形状与隧道洞的横断面形状相同,每榀所述全断面支撑架均由一个对隧道洞的拱墙进行支护的拱墙支撑拱架和一个对隧道洞底部进行支护的隧道仰拱支架拼接而成,所述隧道仰拱支架位于所述拱墙支撑拱架的正下方且二者位于同一隧道横断面上,所述隧道仰拱支架与所述拱墙支撑拱架形成一个封闭式全断面支架;

[0011] 所述拱墙网喷支护结构与所述全断面支撑结构中的所有拱墙钢拱架组成拱墙初期支护结构,所述仰拱网喷支护结构与所述全断面支撑结构中的所有隧道仰拱支架组成初期支护仰拱;

[0012] 所述拱墙支撑拱架由一个位于上部洞体内的上部拱架、两个对称布设于上部拱架左右两侧下方且均位于中部洞体内的中部侧支架、两个对称布设于上部拱架左右两侧下方



且均位于下部洞体内的下部侧支架,所述隧道仰拱支架位于下部洞体内;每个所述中部侧支架均连接于一个所述下部侧支架上端与上部拱架的一端之间;所述隧道仰拱支架的左端与一个所述下部侧支架底部固定连接,所述隧道仰拱支架的右端与另一个所述下部侧支架底部固定连接;

[0013] 每个所述套拱单元均包括M榀沿隧道纵向延伸方向由后向前布置的型钢拱架和一层由喷射于隔离层上的混凝土形成的内侧混凝土喷射层,所述内侧混凝土喷射层的层厚不小于25cm,M榀所述钢拱架呈均匀布置且前后相邻两榀所述钢拱架之间的间距为0.8m~1.2m;每榀所述型钢拱架均为对隧道洞进行全断面支护的全断面支架,M榀所述型钢拱架均固定于内侧混凝土喷射层内,所述型钢拱架的形状与隧道洞的横断面形状相同,其中M为正整数且 $M \geq 4$ ;每个所述套拱单元中M榀所述型钢拱架通过多道纵向钢筋固定连接为一体,所述纵向钢筋呈水平布置且其沿隧道纵向延伸方向布置,多道所述纵向钢筋沿所述型钢拱架的轮廓线进行布置;每榀所述型钢拱架均包括一个对隧道洞的拱墙进行支护的拱墙型钢支架和一个对隧道洞底部进行支撑的仰拱型钢支架,所述仰拱型钢支架位于拱墙型钢支架的正下方且二者均为拱形支架,所述仰拱型钢支架的左端与拱墙型钢支架的左端底部固定连接,所述仰拱型钢支架的右端与拱墙型钢支架的右端底部固定连接。

[0014] 上述一种基于套拱的深埋黄土隧道变形控制施工结构,其特征是:还包括对隧道洞的拱墙进行加固的径向注浆加固结构;所述上部洞体与中部洞体组成隧道上洞体,所述径向注浆加固结构位于所述隧道上洞体外侧;

[0015] 所述径向注浆加固结构为通过多排径向注浆孔向所述隧道上洞体外侧土体内注浆加固后形成的加固结构,多排所述径向注浆孔沿隧道延伸方向由后向前布置,每排所述径向注浆孔均包括多个沿所述隧道上洞体的开挖轮廓线由左至右布置于同一隧道断面上的径向注浆孔,每个所述径向注浆孔均为一个从所述隧道上洞体内部由内向外钻进至土体内的钻孔,每排所述径向注浆孔中多个所述径向注浆孔呈均匀布置,前后相邻两排所述径向注浆孔中的径向注浆孔呈交错布置;所述径向注浆孔的长度不小于3m。

[0016] 上述一种基于套拱的深埋黄土隧道变形控制施工结构,其特征是:所述增强后初支结构内布设有隧道二次衬砌,所述隧道二次衬砌为对隧道洞进行全断面支护的全断面支护结构,所述隧道二次衬砌为钢筋混凝土衬砌;所述增强套拱中所有套拱单元均固定于所述隧道初期支护结构与所述隧道二次衬砌之间。

[0017] 上述一种基于套拱的深埋黄土隧道变形控制施工结构,其特征是:所述隧道二次衬砌分为对隧道洞的拱墙进行支护的拱墙二次衬砌和对隧道洞底部进行支护的仰拱二次衬砌;所述仰拱二次衬砌位于初期支护仰拱上方,所述仰拱二次衬砌上设置有仰拱回填层,所述仰拱二次衬砌的上表面为水平面,所述拱墙二次衬砌的左右两侧底部均为水平面,所述拱墙二次衬砌支撑于仰拱二次衬砌上且二者浇筑为一体,所述仰拱回填层为混凝土填充层;

[0018] 所述拱墙型钢支架与仰拱型钢支架之间的连接处位于仰拱二次衬砌的上表面上方。

[0019] 上述一种基于套拱的深埋黄土隧道变形控制施工结构,其特征是:还包括对隧道洞拱部进行超前支护的隧道超前支护结构;

[0020] 所述全断面支撑结构外侧布设有锚固体系,所述锚固体系包括多个沿隧道纵向延

伸方向由后向前布设的锚固组,每榀所述全断面支撑架外侧均布设有一个所述锚固组,每榀所述全断面支撑架与其上所布设的所述锚固组均布设于隧道洞的同一个横断面上;

[0021] 每个所述锚固组均包括左右两组对称布设于上部拱架左右两侧底部外侧的上锁脚锚管、左右两组对称布设的中锁脚锚管和左右两组对称布设的下锁脚锚管,两组所述上锁脚锚管、两组所述中锁脚锚管和两组所述下锁脚锚管均布设于隧道洞的同一个横断面上;每个所述中部侧支架的底部外侧均设置有一组所述中锁脚锚管,每个所述下部侧支架的底部外侧均设置有一组所述下锁脚锚管;每组所述上锁脚锚管均包括上下两个平行布设的上锁脚锚管,每组所述中锁脚锚管均包括上下两个平行布设的中锁脚锚管,每组所述下锁脚锚管均包括上下两个平行布设的下锁脚锚管;所述上锁脚锚管、中锁脚锚管和下锁脚锚管均为由内至外进入隧道洞周侧土层内的锁脚锚管,所述锁脚锚管由内向外逐渐向下倾斜。

[0022] 同时,本发明还公开了一种方法步骤简单、设计合理且施工简便、使用效果好的深埋黄土隧道变形控制施工方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

[0023] 步骤一、隧道开挖及初期支护:沿隧道纵向延伸方向由后向前对所施工黄土隧道进行开挖,开挖过程中同步由后向前对开挖成型的隧道洞进行初期支护,获得施工成型的所述隧道初期支护结构;

[0024] 步骤二、增强套拱施工:步骤一中由后向前对开挖成型的隧道洞进行初期支护过程中,沿隧道纵向延伸方向由后向前在已施工完成的所述隧道初期支护结构内侧对所述增强套拱进行施工,获得施工成型的所述增强后初支结构;

[0025] 由后向前对所述增强套拱进行施工时,由后向前对所述增强套拱中的多个所述套拱单元分别进行施工,多个所述套拱单元的施工方法均相同;所述隧道初期支护结构中内侧布设有所述套拱单元的隧道初期支护结构节段为待增强初支节段;

[0026] 对所述增强套拱中的任一个所述套拱单元进行施工时,过程如下:

[0027] 步骤D1、隔离层铺设:由后向前在当前所施工套拱单元外侧的所述待增强初支节段内壁上铺设一层隔离层;

[0028] 步骤D2、型钢拱架安装:步骤D1中由后向前铺设隔离层过程中,由后向前在步骤一中所述待增强初支节段内对当前所施工套拱单元的M榀所述型钢拱架分别进行安装,并使每榀所述型钢拱架均支立于步骤D1中所述隔离层内侧,同时使步骤D1中所述隔离层垫装于所安装的M榀所述型钢拱架与所述待增强初支节段的内壁之间;

[0029] 步骤D3、纵向钢筋安装:步骤D2中M榀所述型钢拱架均安装完成后,将M榀所述型钢拱架通过多道所述纵向钢筋紧固连接为一体;

[0030] 步骤D4、混凝土喷射:由后向前在步骤D1中所述隔离层上喷射混凝土并形成内侧混凝土喷射层,并使步骤D2中M榀所述型钢拱架和步骤D3 中多道所述纵向钢筋均固定于内侧混凝土喷射层内,同时使步骤D1中所述隔离层垫装于所述待增强初支节段与内侧混凝土喷射层之间。

[0031] 上述施工方法,其特征是:所述增强后初支结构内布设有隧道二次衬砌,所述隧道二次衬砌为对隧道洞进行全断面支护的全断面支护结构,所述隧道二次衬砌为钢筋混凝土衬砌;所述增强套拱中所有套拱单元均固定于所述隧道二次衬砌内;

[0032] 所述隧道二次衬砌分为对隧道洞的拱墙进行支护的拱墙二次衬砌和对隧道洞底

部进行支护的仰拱二次衬砌；所述仰拱二次衬砌位于初期支护仰拱上方，所述仰拱二次衬砌上设置有仰拱回填层，所述仰拱二次衬砌的上表面为水平面，所述拱墙二次衬砌的左右两侧底部均为水平面，所述拱墙二次衬砌支撑于仰拱二次衬砌上且二者浇筑为一体，所述仰拱回填层为混凝土填充层；

[0033] 步骤二中由后向前对所述增强套拱进行施工过程中，由后向前在施工成型的所述增强后初支结构内侧对所述隧道二次衬砌进行施工；

[0034] 由后向前对所述隧道二次衬砌进行施工时，由后向前在已施工完成的初期支护仰拱上对仰拱二次衬砌进行施工，获得施工成型的仰拱二次衬砌；由后向前对仰拱二次衬砌进行施工过程中，由后向前在已施工完成的仰拱二次衬砌上对拱墙二次衬砌进行施工，并使所施工拱墙二次衬砌与位于其下方的仰拱二次衬砌连接为一体，获得施工成型的所述隧道二次衬砌；

[0035] 本步骤中，由后向前对仰拱二次衬砌进行施工过程中，沿隧道纵向延伸方向由后向前在已施工完成的仰拱二次衬砌上对仰拱回填层进行施工。

[0036] 上述施工方法，其特征是：步骤D1中所述待增强初支节段由大变形段和两个分别位于所述大变形段前后两侧的变形过渡段连接而成，所述大变形段为所述隧道初期支护结构施工完成后24小时内所述隧道洞的拱顶下沉值超过10mm和/或水平收敛值超过15mm的隧道节段，所述隧道洞的拱顶下沉值为所述隧道初期支护结构拱顶内壁的绝对下沉值，所述隧道洞的水平收敛值为隧道洞最大开挖位置处所述隧道初期支护结构内壁的水平收敛值；两个所述变形过渡段均为所施工黄土隧道中与所述大变形段相邻且相互连通的隧道段，两个所述变形过渡段的长度均不小于3L。

[0037] 上述施工方法，其特征是：步骤D4中进行混凝土喷射后，还需对步骤D1中所述待增强初支节段的拱墙进行径向注浆加固，并获得径向注浆加固结构；

[0038] 所述上部洞体与中部洞体组成隧道上洞体，所述径向注浆加固结构位于所述隧道上洞体外侧；

[0039] 所述径向注浆加固结构为通过多排径向注浆孔向所述隧道上洞体外侧土体内注浆加固后形成的加固结构，多排所述径向注浆孔沿隧道延伸方向由后向前布设，每排所述径向注浆孔均包括多个沿所述隧道上洞体的开挖轮廓线由左至右布设于同一隧道断面上的径向注浆孔，每个所述径向注浆孔均为一个从所述隧道上洞体内部由内向外钻进至土体内的钻孔，每排所述径向注浆孔中多个所述径向注浆孔呈均匀布设，前后相邻两排所述径向注浆孔中的径向注浆孔呈交错布设；所述径向注浆孔的长度不小于3m；

[0040] 每排所述径向注浆孔均位于前后相邻两榀所述全断面支撑架之间，并且每排所述径向注浆孔均位于前后相邻两榀所述型钢拱架之间；

[0041] 对步骤D1中所述待增强初支节段的拱墙进行径向注浆加固时，由后向前通过多排所述径向注浆孔分别进行注浆加固。

[0042] 上述施工方法，其特征是：步骤一中进行隧道开挖及初期支护之前，需对隧道洞拱部进行超前支护，并获得隧道超前支护结构；

[0043] 所述隧道超前支护结构包括多个沿隧道纵向延伸方向由后向前对隧道洞拱部进行超前支护的超前小导管注浆支护结构；多个所述超前小导管注浆支护结构的结构均相同，前后相邻两个所述超前小导管注浆支护结构之间的搭接长度不小于0.5m；

[0044] 每个所述超前小导管注浆支护结构均包括多根由后向前钻进至隧道洞掌子面前方土体内的注浆小导管和一个对多根所述注浆小导管进行导向的小导管导向架,多根所述注浆小导管沿上部洞体的拱部轮廓线由左至右布设于同一隧道断面上;每个所述超前小导管注浆支护结构中所有注浆小导管的结构和尺寸均相同;所述小导管导向架为一个所述上部拱架,所述小导管导向架上开有多个对注浆小导管进行导向的导向孔,多个所述导向孔沿上部洞体的拱部轮廓线由左至右布设。

[0045] 本发明与现有技术相比具有以下优点:

[0046] 1、所采用的变形控制施工结构设计合理、施工简便且投入成本较低。

[0047] 2、所采用的增强后初支结构设计合理、施工简便且使用效果好,采用增强套拱对隧道初期支护结构进行加固并形成增强后初支结构,能有效隧道初期支护效果,并对深埋黄土隧道初期支护变形进行有效控制;同时,在增强套拱与隧道初期支护结构之间设置隔离层,能进一步对增强套拱外侧土体变形进行控制;并且增强套拱采用多个套拱单元对隧道初期支护结构分段式进行加固,不仅施工简便,并且使施工成型的增强后初支结构具有一定的自适应能力,能有效适应隧道周侧土体变形情况,从而有效减轻增强后初支结构的抗变形能力。

[0048] 3、所采用的全断面支撑架能对隧道洞进行全断面支护,支护稳固、可靠,并且全断面支撑架由拱墙支撑拱架和隧道仰拱支架拼装而成,拱墙支撑拱架由上部拱架、两个中部侧部支架和两个下部侧部支架拼装而成,实际进行隧道开挖时能简便进行组装,满足隧道洞断面分块支撑需求,使上部洞体的初期支护不受中部洞体和下部洞体内初期支护施工的影响,中部洞体的初期支护也不受下部洞体初期支护施工的影响,并且上部洞体和中部洞体的初期支护均在开挖完成后立即进行施工,因而支护及时、稳固,再加上此时隧道洞尚未全面开挖,因而隧道上部洞体和中部洞体内初期支护结构的支撑稳固性能进一步得到保证,并且隧道上部洞体和中部洞体内的初期支护过程更易于进行,同时支护更有力,更有利于隧道施工安全。

[0049] 4、采用锚固体系对隧道洞围岩进行全断面固定,进一步提高初期支护稳定性。并且,锚固体系与全断面支撑架连接为一体,进一步提高整体稳固性,同时,施工简便。

[0050] 5、超前支护采用超前小导管注浆支护结构,施工简便且施工效率高,能有效确保大断面黄土隧道的超前支护强度和支护效果,能对黄土隧道拱部变形进行有效限制。所采用的超前小导管注浆支护结构设计合理、施工简便且使用效果好,对隧道洞拱部进行有效加固并形成一个稳固的拱墙承载环,能有效提高洞体周侧岩层的自稳能力,能有效节省施工成本、节约工期,同时施工设备简单,并且隧道进洞施工后及时进行初期支护施工,工序衔接紧密。并且,支护过程中对周侧土层的扰动小,施工成本较低,能有效解决受隧道开挖后所产生的水平压力影响隧道拱部容易出现受压变形、沉降等问题,能对隧道拱部进行稳固支护。

[0051] 6、将二次衬砌仰拱的上表面调整为水平面并使仰拱二次衬砌与仰拱填充层的界面调整为水平面,施工简便且施工效率高,仰拱填充层与仰拱二次衬砌可同时浇筑,能大幅简化仰拱二次衬砌与仰拱填充层的施工过程,并且仰拱二次衬砌与仰拱填充层的混凝土不会混为一体,能有效确保仰拱二次衬砌与仰拱填充层的施工质量,避免因混凝土等级不同而造成的仰拱二次衬砌与仰拱填充层的施工质量不能保证等问题。同时,仰拱二次衬砌

的上表面为水平面,混凝土浇筑过程中无需保证仰拱二次衬砌的弧形,无需采用弧形模板,浇筑方便大幅简便,浇筑简便,并且仰拱二次衬砌的施工质量易于保证。

[0052] 7、隧道二次衬砌结构合理,隧道二次衬砌由仰拱二次衬砌和拱墙二次衬砌连接而成,将仰拱二次衬砌内部的中间弧形部分优化为水平面。优化后的仰拱二次衬砌使隧道仰拱结构的刚度整体大幅提升,并且施工中无需安装弧形模板,混凝土振捣简便且振捣质量易控,仰拱二次衬砌的外观尺寸和施工质量更易于控制,并且能大幅提高隧道仰拱的施工效率,所述隧道二次衬砌的封闭时间大大缩短,并且没有弧形模板的干扰使得仰拱混凝土易于振捣,混凝土质量大大提升。同时,将现有的二衬拱墙衬砌与两个矮边墙连接组成整体衬砌(即拱墙二次衬砌)进行施工,并且采用二衬台车对拱墙二次衬砌进行施工,一次施工成型,能进一步提高隧道二次衬砌的施工效率,加快所述隧道二次衬砌封闭时间,缩短所述隧道二次衬砌的封环时间,进一步提高所施工黄土隧道的结构稳定性,同时能有效减少所述隧道二次衬砌中的施工缝,使隧道二次衬砌的整体性更强,整体受力效果更佳。

[0053] 8、所采用的增强套拱结构设计合理且通过多个套拱单元对隧道初期支护结构分段式进行加固,不仅施工简便,并且在隧道初期支护结构与隧道二次衬砌结构之间形成一个过渡性的全断面支护结构,能对隧道初期支护结构变形进行有效缓冲与纠正,从而能隧道洞整体结构更稳固,并且隧道变形控制效果更佳。

[0054] 9、将对所施工黄土隧道的隧道洞拱部进行超前支护的隧道超前支护结构以及对隧道洞进行全断面支护的增强后初支结构和隧道二次衬砌组成联合支护体系,对大断面黄土隧道变形进行有效控制,能有效提高深埋黄土隧道的稳固性。

[0055] 10、所采用的径向注浆加固结构设计合理、施工简便且使用效果好,能对增强后初支结构的联合支护效果进行进一步补充;并且,当增强后初支结构侵入隧道二次衬砌且需对增强后初支结构进行换拱时,能有效换拱过程中隧道洞的稳固性,避免发生安全事故。

[0056] 11、所采用的变形控制方法步骤简单、设计合理且施工简便、使用效果好,采用三台阶开挖方式并对中部洞体开挖面与上部洞体开挖面和下部洞体开挖面之间的间距均进行限定,实现大断面隧道的短台阶或微台阶开挖,确保开挖成型隧道洞的稳定性;采用增强套拱对隧道初期支护结构进行加固并形成增强后初支结构,能有效隧道初期支护效果,并对深埋黄土隧道初期支护变形进行有效控制;同时,在增强套拱与隧道初期支护结构之间设置隔离层,能进一步对增强套拱外侧土体变形进行控制;并且增强套拱采用多个套拱单元对隧道初期支护结构分段式进行加固,不仅施工简便,并且使施工成型的增强后初支结构具有一定的自适应能力,能有效适应隧道周侧土体变形情况,从而有效减轻增强后初支结构的抗变形能力。另外,采用全断面支撑架结构隧道洞进行分层支护,并采用锚固体系对隧道洞外侧进行整体加固,确保大断面黄土隧道洞的结构稳定性,确保施工安全;同时,将下部洞体开挖面后侧的隧底回填土层作为供湿喷机械手前后移动的临时移动平台,并对上部洞体和中部洞体的开挖高度进行限定,实现开挖过程中通过湿喷机械手进行混凝土喷射的目的,能有效加快施工进度,并能使初期支护快速封闭成环,进一步确保隧道结构稳固性,施工简单,施工速度快,并且施工过程安全、可靠。同时,隧道二次衬砌结构设计合理且施工方法简单、施工质量易于控制,从而能大幅度降低施工成本,节约施工工期,并能确保施工安全。由上述内容可知,所采用的支护方法通过三台阶施工方法,具有安全可靠、机械化程度高、施工速度快、劳动强度低、工期提前、节约成本等特点,根据黄土隧道地质特性,将

下台阶与仰拱初支同时施工,能够保证在最短时间及时封闭成环,防治围岩变形过大,确保施工安全;并且,简化施工工法,防止各工序之间的干扰,可最大限度满足机械化施工,降低劳动强度,且采用空间全断面流水施工,能够提高施工效率,降低工程成本。另外,取消临时仰拱,降低了工程成本,且避免了临时仰拱拆除过程中出现安全风险。

[0057] 下面通过附图和实施例,对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

### 附图说明

[0058] 图1为本发明变形控制施工结构的横断面结构示意图。

[0059] 图2为本发明变形控制施工结构除增强套拱外的纵断面结构示意图。

[0060] 图3为本发明湿喷机械手的施工状态示意图。

[0061] 图4为本发明隧道洞内侧下部的横断面结构示意图。

[0062] 图5为本发明径向注浆加固结构的横断面结构示意图。

[0063] 图6为本发明径向注浆加固结构的纵断面结构示意图。

[0064] 图7为本发明前模板的结构示意图。

[0065] 图8为采用本发明对黄土隧道进行变形控制施工时的方法流程框图。

[0066] 附图标记说明:

- |        |              |              |              |
|--------|--------------|--------------|--------------|
| [0067] | 1—隧道洞;       | 1-1—上部洞体;    | 1-2—中部洞体;    |
| [0068] | 1-3—下部洞体;    | 2—隧道仰拱支架;    | 2-1—上部拱架;    |
| [0069] | 5—中部侧支架;     | 6—下部侧支架;     | 6-1—上架体;     |
| [0070] | 6-2—下架体;     | 7—隧底回填土层;    |              |
| [0071] | 8—上锁脚锚管;     | 9—中锁脚锚管;     | 10—下锁脚锚管;    |
| [0072] | 11—型钢拱架;     | 11-1—拱墙型钢支架; | 11-2—仰拱型钢支架; |
| [0073] | 12—拱墙初期支护结构; | 13—初期支护仰拱;   | 14—拱墙二次衬砌;   |
| [0074] | 15—仰拱二次衬砌;   | 16—仰拱回填层;    | 17—可移动仰拱栈桥;  |
| [0075] | 18—矮边墙;      | 19—拱墙混凝土喷射层; |              |
| [0076] | 20—仰拱混凝土喷射层; | 21—湿喷机械手;    | 22—注浆小导管;    |
| [0077] | 23—水沟电缆槽;    | 24—侧模板;      | 25—前模板;      |
| [0078] | 26—隔离层;      | 27—内侧混凝土喷射层; |              |
| [0079] | 28—径向注浆孔。    |              |              |

### 具体实施方式

[0080] 如图1、图2所示的一种基于套拱的深埋黄土隧道变形控制施工结构,包括对所施工黄土隧道的隧道洞1进行初期支护的隧道初期支护结构和布设于所述隧道初期支护结构内侧且对所述隧道初期支护结构进行加固的增强套拱,所述隧道初期支护结构和所述增强套拱均为隧道洞1进行全断面支护的全断面支护结构;所述隧道洞1的横断面积大于 $100\text{m}^2$ ,所述隧道洞1的埋深大于80m;所述隧道初期支护结构与位于其内侧的所述增强套拱组成增强后初支结构;

[0081] 所述增强套拱包括多个套拱单元,多个所述套拱单元的结构均相同且其沿所施工黄土隧道的隧道纵向延伸方向由后向前布设,每个所述套拱单元与所述隧道初期支护结构

之间均设置有一层隔离层26,所述隔离层26为由铺装在该所述套拱单元与所述隧道初期支护结构之间的无纺布形成的全断面隔层,所述隔离层26的横断面形状与隧道洞1的横断面形状相同;

[0082] 所述隧道洞1由上至下分为上部洞体1-1、中部洞体1-2和下部洞体1-3;所述上部洞体1-1为由后向前对所施工黄土隧道进行上台阶开挖后形成的洞体,所述中部洞体1-2为由后向前对所施工黄土隧道进行中台阶开挖后形成的洞体,所述下部洞体1-3为由后向前对所施工黄土隧道进行下台阶开挖后形成的洞体;

[0083] 所述隧道初期支护结构分为对隧道洞1的拱墙进行初期支护的拱墙初期支护结构12和对隧道洞1底部进行初期支护的初期支护仰拱13;

[0084] 所述隧道初期支护结构包括对隧道洞1进行全断面支护的全断面支撑结构、对隧道洞1的拱墙进行初期支护的拱墙网喷支护结构和对隧道洞1底部进行初期支护的仰拱网喷支护结构;所述全断面支撑结构包括多榀沿隧道纵向延伸方向由后向前布置的全断面支撑架,前后相邻两榀所述全断面支撑架均通过多道纵向连接钢筋紧固连接为一体,所述纵向连接钢筋呈水平布置且其沿隧道纵向延伸方向布置,多道所述纵向连接钢筋沿所述全断面支撑架的轮廓线进行布置;所述全断面支撑结构中多榀所述全断面支撑架呈均匀布置,前后相邻两榀所述全断面支撑架之间的间距为L,其中L的取值范围为0.5m~0.8m;

[0085] 所述全断面支撑架的形状与隧道洞1的横断面形状相同,每榀所述全断面支撑架均由一个对隧道洞1的拱墙进行支护的拱墙支撑拱架和一个对隧道洞1底部进行支护的隧道仰拱支架2拼接而成,所述隧道仰拱支架2位于所述拱墙支撑拱架的正下方且二者位于同一隧道横断面上,所述隧道仰拱支架2与所述拱墙支撑拱架形成一个封闭式全断面支架;

[0086] 所述拱墙网喷支护结构与所述全断面支撑结构中的所有拱墙钢拱架组成拱墙初期支护结构12,所述仰拱网喷支护结构与所述全断面支撑结构中的所有隧道仰拱支架2组成初期支护仰拱13;

[0087] 所述拱墙支撑拱架由一个位于上部洞体1-1内的上部拱架3、两个对称布置于上部拱架3左右两侧下方且均位于中部洞体1-2内的中部侧支架5、两个对称布置于上部拱架3左右两侧下方且均位于下部洞体1-3内的下部侧支架6,所述隧道仰拱支架2位于下部洞体1-3内;每个所述中部侧支架5均连接于一个所述下部侧支架6上端与上部拱架3的一端之间;所述隧道仰拱支架2的左端与一个所述下部侧支架6底部紧固连接,所述隧道仰拱支架2的右端与另一个所述下部侧支架6底部紧固连接;每个所述下部侧支架6均由一个上架体6-1和位于上架体6-1下方的下架体6-2连接而成;

[0088] 每个所述套拱单元均包括M榀沿隧道纵向延伸方向由后向前布置的型钢拱架11和一层由喷射于隔离层26上的混凝土形成的内侧混凝土喷射层27,所述内侧混凝土喷射层27的层厚不小于25cm,M榀所述钢拱架11呈均匀布置且前后相邻两榀所述钢拱架11之间的间距为0.8m~1.2m;每榀所述型钢拱架11均为对隧道洞1进行全断面支护的全断面支架,M榀所述型钢拱架11均固定于内侧混凝土喷射层27内,所述型钢拱架11的形状与隧道洞1的横断面形状相同,其中M为正整数且 $M \geq 4$ ;每个所述套拱单元中M榀所述型钢拱架11通过多道纵向钢筋紧固连接为一体,所述纵向钢筋呈水平布置且其沿隧道纵向延伸方向布置,多道所述纵向钢筋沿所述型钢拱架11的轮廓线进行布置;每榀所述型钢拱架11均包括一个对隧道洞1的拱墙进行支护的拱墙型钢支架11-1和一个对隧道洞1底部进行支撑的仰拱型钢

支架11-2,所述仰拱型钢支架11-2位于拱墙型钢支架11-1的正下方且二者均为拱形支架,所述仰拱型钢支架11-2的左端与拱墙型钢支架11-1的左端底部固定连接,所述仰拱型钢支架11-2的右端与拱墙型钢支架11-1的右端底部固定连接。

[0089] 每个所述套拱单元中前后相邻两榀所述钢拱架11之间的间距大于前后相邻两榀所述全断面支撑架之间的间距,每榀所述钢拱架11均位于前后相邻两榀所述全断面支撑架之间。这样,所述钢拱架11和所述全断面支撑架的支护效果能相互补充且受力相互分担,不会出现同一支护断面上变形严重的情况;并且发生初期支护侵限后,对所述套拱单元进行拆除后,不会对所述全断面支撑架的支护作用造成较大影响,确保换拱过程中的施工安全。

[0090] 本实施例中, $L=0.6\text{m}$ , $M$ 榀所述钢拱架11中前后相邻两榀所述钢拱架11之间的间距为 $1\text{m}$ 。

[0091] 实际施工时,可根据具体需要,对 $L$ 的取值大小以及 $M$ 榀所述钢拱架11中前后相邻两榀所述钢拱架11之间的间距分别进行相应调整。

[0092] 结合图5、图6,本发明所述的变形控制施工结构,还包括对隧道洞1的拱墙进行加固的径向注浆加固结构;所述上部洞体1-1与中部洞体1-2组成隧道上洞体,所述径向注浆加固结构位于所述隧道上洞体外侧;

[0093] 所述径向注浆加固结构为通过多排径向注浆孔28向所述隧道上洞体外侧土体内注浆加固后形成的加固结构,多排所述径向注浆孔28沿隧道延伸方向由后向前布置,每排所述径向注浆孔28均包括多个沿所述隧道上洞体的开挖轮廓线由左至右布置于同一隧道断面上的径向注浆孔28,每个所述径向注浆孔28均为一个从所述隧道上洞体内部由内向外钻进至土体内的钻孔,每排所述径向注浆孔28中多个所述径向注浆孔28呈均匀布置,前后相邻两排所述径向注浆孔28中的径向注浆孔28呈交错布置;所述径向注浆孔28的长度不小于 $3\text{m}$ 。

[0094] 本实施例中,每排所述径向注浆孔28中相邻两个所述径向注浆孔28内端的环向间距为 $1.2\text{m}\sim 1.8\text{m}$ ,前后相邻两排所述径向注浆孔28的间距为 $1.8\text{m}\sim 2.2\text{m}$ ,所述径向注浆孔28的长度为 $3\text{m}$ 。

[0095] 实际施工时,可根据具体需要,对每排所述径向注浆孔28中相邻两个所述径向注浆孔28内端的环向间距、前后相邻两排所述径向注浆孔28的间距以及径向注浆孔28的长度分别进行相应调整。

[0096] 本步骤中,通过多排所述径向注浆孔28分别进行注浆加固时,所注浆液为无收缩水泥基灌浆料,能有效增强径向注浆加固效果。

[0097] 实际施工时,所注浆液也可以采用普通纯水泥浆,水灰比 $0.5:1\sim 1:1$ 。

[0098] 实际进行径向注浆加固时,注浆压力为 $0.5\text{MPa}\sim 1.0\text{MPa}$ ,注浆顺序由下而上进行,按两序孔进行,即先跳孔跳排注单序孔,然后注剩余的二序孔。注浆结束标准以注浆压力升高至 $1.0\text{MPa}$ 且持续注 $10\text{min}$ 以上,注浆量小于初始进浆量的 $1/4$ 结束注浆。

[0099] 本实施例中,所述增强后初支结构内布设有隧道二次衬砌,所述隧道二次衬砌为对隧道洞1进行全断面支护的全断面支护结构,所述隧道二次衬砌为钢筋混凝土衬砌;所述增强套拱中所有套拱单元均固定于所述隧道初期支护结构与所述隧道二次衬砌之间。

[0100] 本实施例中,所述隧道二次衬砌分为对隧道洞1的拱墙进行支护的拱墙二次衬砌14和对隧道洞1底部进行支护的仰拱二次衬砌15;所述仰拱二次衬砌15位于初期支护仰拱



13上方,所述仰拱二次衬砌15上设置有仰拱回填层16,所述仰拱二次衬砌15的上表面为水平面,所述拱墙二次衬砌14的左右两侧底部均为水平面,所述拱墙二次衬砌14支撑于仰拱二次衬砌15上且二者浇筑为一体,所述仰拱回填层16为混凝土填充层,详见图4;

[0101] 所述拱墙型钢支架11-1与仰拱型钢支架11-2之间的连接处位于仰拱二次衬砌15的上表面上方。

[0102] 同时,本发明所述的变形控制施工结构,还包括对隧道洞1拱部进行超前支护的隧道超前支护结构;

[0103] 所述全断面支撑结构外侧布设有锚固体系,所述锚固体系包括多个沿隧道纵向延伸方向由后向前布设的锚固组,每榀所述全断面支撑架外侧均布设有一个所述锚固组,每榀所述全断面支撑架与其上所布设的所述锚固组均布设于隧道洞1的同一个横断面上;

[0104] 每个所述锚固组均包括左右两组对称布设于上部拱架3左右两侧底部外侧的上锁脚锚管8、左右两组对称布设的中锁脚锚管9和左右两组对称布设的下锁脚锚管10,两组所述上锁脚锚管8、两组所述中锁脚锚管9和两组所述下锁脚锚管10均布设于隧道洞1的同一个横断面上;每个所述中部侧支架5的底部外侧均设置有一组所述中锁脚锚管9,每个所述下部侧支架6的底部外侧均设置有一组所述下锁脚锚管10;每组所述上锁脚锚管8均包括上下两个平行布设的上锁脚锚管8,每组所述中锁脚锚管9均包括上下两个平行布设的中锁脚锚管9,每组所述下锁脚锚管10均包括上下两个平行布设的下锁脚锚管10;所述上锁脚锚管8、中锁脚锚管9和下锁脚锚管10均为由内至外进入隧道洞1周侧土层内的锁脚锚管,所述锁脚锚管由内向外逐渐向下倾斜。

[0105] 如图8所示的一种深埋黄土隧道进行变形控制施工方法,包括以下步骤:

[0106] 步骤一、隧道开挖及初期支护:沿隧道纵向延伸方向由后向前对所施工黄土隧道进行开挖,开挖过程中同步由后向前对开挖成型的隧道洞1进行初期支护,获得施工成型的所述隧道初期支护结构;

[0107] 步骤二、增强套拱施工:步骤一中由后向前对开挖成型的隧道洞1进行初期支护过程中,沿隧道纵向延伸方向由后向前在已施工完成的所述隧道初期支护结构内侧对所述增强套拱进行施工,获得施工成型的所述增强后初支结构;

[0108] 由后向前对所述增强套拱进行施工时,由后向前对所述增强套拱中的多个所述套拱单元分别进行施工,多个所述套拱单元的施工方法均相同;所述隧道初期支护结构中内侧布设有所述套拱单元的隧道初期支护结构节段为待增强初支节段;

[0109] 对所述增强套拱中的任一个所述套拱单元进行施工时,过程如下:

[0110] 步骤D1、隔离层铺设:由后向前在当前所施工套拱单元外侧的所述待增强初支节段内壁上铺设一层隔离层26;

[0111] 步骤D2、型钢拱架安装:步骤D1中由后向前铺设隔离层26过程中,由后向前在步骤一中所述待增强初支节段内对当前所施工套拱单元的M榀所述型钢拱架11分别进行安装,并使每榀所述型钢拱架11均支立于步骤D1中所述隔离层26内侧,同时使步骤D1中所述隔离层26垫装于所安装的M榀所述型钢拱架11与所述待增强初支节段的内壁之间;

[0112] 步骤D3、纵向钢筋安装:步骤D2中M榀所述型钢拱架11均安装完成后,将M榀所述型钢拱架11通过多道所述纵向钢筋紧固连接为一体;

[0113] 步骤D4、混凝土喷射:由后向前在步骤D1中所述隔离层26上喷射混凝土并形成内

侧混凝土喷射层27,并使步骤D2中M樨所述型钢拱架11 和步骤D3中多道所述纵向钢筋均固定于内侧混凝土喷射层27内,同时使步骤D1中所述隔离层26垫装于所述待增强初支节段与内侧混凝土喷射层 27之间。

[0114] 由于所述增强后初支结构内布设有隧道二次衬砌,所述隧道二次衬砌为对隧道洞1进行全断面支护的全断面支护结构,所述隧道二次衬砌为钢筋混凝土衬砌;所述增强套拱中所有套拱单元均固定于所述隧道二次衬砌内,因而能进一步增强所述增强套拱的支护效果。

[0115] 本实施例中,步骤二中由后向前对所述增强套拱进行施工过程中,由后向前在施工成型的所述增强后初支结构内侧对所述隧道二次衬砌进行施工;

[0116] 由后向前对所述隧道二次衬砌进行施工时,由后向前在已施工完成的初期支护仰拱13上对仰拱二次衬砌15进行施工,获得施工成型的仰拱二次衬砌15;由后向前对仰拱二次衬砌15进行施工过程中,由后向前在已施工完成的仰拱二次衬砌15上对拱墙二次衬砌14进行施工,并使所施工拱墙二次衬砌14与位于其下方的仰拱二次衬砌15连接为一体,获得施工成型的所述隧道二次衬砌;

[0117] 本步骤中,由后向前对仰拱二次衬砌15进行施工过程中,沿隧道纵向延伸方向由后向前在已施工完成的仰拱二次衬砌15上对仰拱回填层16 进行施工。

[0118] 本实施例中,步骤D1中所述待增强初支节段由大变形段和两个分别位于所述大变形段前后两侧的变形过渡段连接而成,所述大变形段为所述隧道初期支护结构施工完成后24小时内所述隧道洞1的拱顶下沉值超过 10mm和/或水平收敛值超过15mm的隧道节段,所述隧道洞1的拱顶下沉值为所述隧道初期支护结构拱顶内壁的绝对下沉值,所述隧道洞1的水平收敛值为隧道洞1最大开挖位置处所述隧道初期支护结构内壁的水平收敛值;两个所述变形过渡段均为所施工黄土隧道中与所述大变形段相邻且相互连通的隧道段,两个所述变形过渡段的长度均不小于3L。因而,采用本发明在变形初期便能对所述隧道初期支护结构进行有效加固,对所述隧道初期支护结构变形进行有效控制,确保隧道初期支护效果,并保证施工安全。

[0119] 本实施例中,步骤D4中进行混凝土喷射后,还需对步骤D1中所述待增强初支节段的拱墙径向注浆加固,并获得径向注浆加固结构,使所述径向注浆加固结构与所述待增强初支节段中内侧混凝土喷射层27紧固连接为一体,对所述增强后初支结构外侧土体进行加固,从源头上对所述增强后初支结构变形进行进一步控制;

[0120] 所述上部洞体1-1与中部洞体1-2组成隧道上洞体,所述径向注浆加固结构位于所述隧道上洞体外侧;

[0121] 所述径向注浆加固结构为通过多排径向注浆孔28向所述隧道上洞体外侧土体内注浆加固后形成的加固结构,多排所述径向注浆孔28沿隧道延伸方向由后向前布设,每排所述径向注浆孔28均包括多个沿所述隧道上洞体的开挖轮廓线由左至右布设于同一隧道断面上的径向注浆孔28,每个所述径向注浆孔28均为一个从所述隧道上洞体内部由内向外钻进至土体内的钻孔,每排所述径向注浆孔28中多个所述径向注浆孔28呈均匀布设,前后相邻两排所述径向注浆孔28中的径向注浆孔28呈交错布设;所述径向注浆孔28的长度不小于3m;

[0122] 每排所述径向注浆孔28均位于前后相邻两樨所述全断面支撑架之间,并且每排所

述径向注浆孔28均位于前后相邻两榀所述型钢拱架11之间；

[0123] 对步骤D1中所述待增强初支节段的拱墙进径向注浆加固时，由后向前通过多排所述径向注浆孔28分别进行注浆加固。

[0124] 本实施例中，由后向前通过多排所述径向注浆孔28分别进行注浆加固时，所注浆液为无收缩水泥基灌浆料。

[0125] 本实施例中，步骤一中进行隧道开挖及初期支护之前，需对隧道洞1拱部进行超前支护，并获得隧道超前支护结构；

[0126] 所述隧道超前支护结构包括多个沿隧道纵向延伸方向由后向前对隧道洞1拱部进行超前支护的超前小导管注浆支护结构；多个所述超前小导管注浆支护结构的结构均相同，前后相邻两个所述超前小导管注浆支护结构之间的搭接长度不小于0.5m；

[0127] 每个所述超前小导管注浆支护结构均包括多根由后向前钻进至隧道洞1掌子面前方土体内的注浆小导管22和一个对多根所述注浆小导管22进行导向的小导管导向架，多根所述注浆小导管22沿上部洞体1-1的拱部轮廓线由左至右布设于同一隧道断面上；每个所述超前小导管注浆支护结构中所有注浆小导管22的结构和尺寸均相同；所述小导管导向架为一个所述上部拱架3，所述小导管导向架上开有多个对注浆小导管22进行导向的导向孔，多个所述导向孔沿上部洞体1-1的拱部轮廓线由左至右布设。

[0128] 如图1、图2所示，本实施例中，所述隧道超前支护结构包括多个沿隧道纵向延伸方向由后向前对隧道洞1拱部进行超前支护的超前小导管注浆支护结构；多个所述超前小导管注浆支护结构的结构均相同，前后相邻两个所述超前小导管注浆支护结构之间的搭接长度不小于0.5m；

[0129] 每个所述超前小导管注浆支护结构均包括多根由后向前钻进至隧道洞1掌子面前方土体内的注浆小导管22和一个对多根所述注浆小导管22进行导向的小导管导向架，多根所述注浆小导管22沿上部洞体1-1的拱部轮廓线由左至右布设于同一隧道断面上；每个所述超前小导管注浆支护结构中所有注浆小导管22的结构和尺寸均相同；所述小导管导向架为一个所述上部拱架2-1，所述小导管导向架上开有多个对注浆小导管22进行导向的导向孔，多个所述导向孔沿上部洞体1-1的拱部轮廓线由左至右布设。

[0130] 本实施例中，所述注浆小导管22采用直径为 $\Phi 42\text{mm}$ 且壁厚为3.5mm的热轧无缝钢管，注浆小导管22的长度为3.5m~4.0m，并且在隧道洞1拱部 $120^\circ$ 范围设置注浆小导管22，注浆小导管22的环向间距为40cm。步骤一中进行隧道开挖及初期支护之前，先采用所述超前小导管注浆支护结构对所施工隧道拱部进行超前支护。

[0131] 所述注浆小导管22安设采用钻孔打入法，即先按设计要求钻孔，然后将注浆小导管22穿过所述小导管导向架，用锤击或钻机顶进，顶入长度不小于注浆小导管22总长度的90%，且外露长度以利于注浆管路的接入，并用高压风将钢管内的砂石吹出。并且，采用注浆小导管22注浆时，所注浆液为水泥砂浆，以增强注浆小导管22的强度。

[0132] 所述上部洞体1-1和中部洞体1-2的开挖高度均为3.5m~4.5m，所述下部洞体1-3的开挖面后方设置有隧底回填土层7，所述隧底回填土层7位于下部洞体1-3内；结合图3，所述隧底回填土层7为供湿喷机械手21进行前后移动的临时移动平台。同时，通过隧底回填土层7也能进一步提高隧道洞1底部的结构稳固性。

[0133] 本实施例中，所述隧底回填土层7的上表面为水平面，并且隧底回填土层7的上表

面与仰拱回填层16的上表面相平齐。

[0134] 本实施例中,所述上部拱架2-1与中部侧支架5之间、所述中部侧支架5与下部侧支架6之间以及所述下部侧支架6与隧道仰拱支架2之间均通过连接螺栓进行固定连接。所述上部拱架2-1的两端、中部侧支架5的两端、下部侧支架6的两端和隧道仰拱支架2的两端均设置有供所述连接螺栓安装的连接钢板。

[0135] 为确保加工质量并提高现场施工效率,所述全断面支撑架采用工厂化集中加工与配送,并满足所有工作面半小时内配送到位的要求。

[0136] 实际施工时,所述隧道洞1的开挖高度为11m~15m,所述隧道洞1的开挖宽度为10m~15m。并且,所施工隧道为埋深大于50m的深埋隧道。

[0137] 本实施例中,所述隧道洞1的开挖高度为12m,所述上部洞体1-1的高度(即上台阶高度)为4m,所述中部洞体1-2的高度(即中台阶高度)为3.5m。实际施工过程中,可根据具体需要,对隧道洞1的开挖高度以及上部洞体1-1的高度和中部洞体1-2的高度分别进行相应调整。

[0138] 为确保开挖安全,所述上部洞体1-1采用中部预留核心土的方式进行开挖,所述上部洞体1-1内核心土的顶面净空高度为1.5m~1.8m。所述中部洞体1-2和下部洞体1-3开挖过程中是否预留核心土根据掌子面的稳定性而定。

[0139] 所述拱墙网喷支护结构包括挂装在隧道洞1拱墙上的拱墙钢筋网片和一层喷射于隧道洞1拱墙上的拱墙混凝土喷射层19,所述拱墙钢筋网片固定在所述拱墙钢拱架上,所述拱墙钢筋网片与所述拱墙钢拱架均固定于拱墙混凝土喷射层19内。

[0140] 本实施例中,所述拱墙混凝土喷射层19和仰拱混凝土喷射层20均为采用湿喷机械手21喷射形成的混凝土层。

[0141] 实际施工时,所述隧底回填土层7后端与上部洞体1-1的开挖面之间的水平间距不大于45m。

[0142] 实际对下部洞体1-3进行开挖过程中,及时对开挖成型的下部洞体1-3进行初期支护,并获得初期支护仰拱13;所述下部洞体1-3初期支护完成后,及时在初期支护仰拱13上对隧底回填土层7进行回填。对隧底回填土层7进行回填时,采用下部洞体1-3内的洞渣(即渣土)对隧底回填土层7进行回填。

[0143] 对上部洞体1-1、中部洞体1-2和下部洞体1-3进行开挖过程中,均采用挖掘机将开挖形成的洞渣装至自卸汽车,并通过自卸汽车进行外运。对开挖形成的洞渣进行外运时,还需预留用于回填隧底回填土层7所用的洞渣,且将预留的洞渣置于下部洞体1-3的内侧一侧以便及时对隧底回填土层7进行回填。

[0144] 本实施例中,所述全断面支撑结构中多榀所述全断面支撑架呈均匀布设,前后相邻两榀所述全断面支撑架之间的间距为L,其中L的取值范围为0.5m~1m。

[0145] 实际施工时,可根据具体需要,对前后相邻两榀所述全断面支撑架之间的间距(即L的取值大小)进行相应调整。

[0146] 为确保锚固效果,本实施例中,所述中锁脚锚管9和下锁脚锚管10与竖直面之间的夹角均为45°。

[0147] 所述上部拱架2-1为圆弧形,每个所述上锁脚锚管8与其所连接位置处上部拱架2-1的拱架切面之间的夹角均为45°;所述拱架切面为与上部拱架2-1的外轮廓线呈垂直布设

的平面。其中,每个所述上锁脚锚管8所连接位置处上部拱架2-1的拱架切面均为与该上锁脚锚管8所连接位置处上部拱架2-1的外轮廓线呈垂直布设的平面。

[0148] 本实施例中,所述拱墙支撑拱架和隧道仰拱支架2均为格栅钢架。

[0149] 并且,每个所述下部侧支架6底部均垫装有一块泡沫铝垫板或混凝土垫板,以控制位移及沉降。

[0150] 沿隧道纵向延伸方向由后向前对所施工黄土隧道进行开挖,开挖过程中同步由后向前对开挖成型的隧道洞1进行初期支护,获得施工成型的所述隧道初期支护结构;由后向前对开挖成型的隧道洞1进行初期支护过程中,由后向前对所述增强套拱进行施工,获得施工成型的所述增强后初支结构;由后向前对所述增强套拱进行施工过程中,同步由后向前在已施工完成的所述增强后初支结构内对所述隧道二次衬砌进行施工。

[0151] 本实施例中,步骤二中由后向前对所述增强套拱进行施工过程中,沿隧道纵向延伸方向由后向前在已施工完成的所述增强后初支结构内侧对所述隧道二次衬砌进行施工;

[0152] 由后向前对所述隧道二次衬砌进行施工时,由后向前在已施工完成的初期支护仰拱13上对仰拱二次衬砌15进行施工,获得施工成型的仰拱二次衬砌15;由后向前对仰拱二次衬砌15进行施工过程中,由后向前在已施工完成的仰拱二次衬砌15上对拱墙二次衬砌14进行施工,并使所施工拱墙二次衬砌14与位于其下方的仰拱二次衬砌15连接为一体,获得施工成型的所述隧道二次衬砌;

[0153] 本步骤中,由后向前对仰拱二次衬砌15进行施工过程中,沿隧道纵向延伸方向由后向前在已施工完成的仰拱二次衬砌15上对仰拱回填层16 进行施工。

[0154] 本实施例中,步骤一中进行隧道开挖及初期支护时,包括以下步骤:

[0155] 步骤B1、上部洞体开挖及初期支护:沿隧道纵向延伸方向由后向前对所施工黄土隧道的上部洞体1-1进行开挖;

[0156] 所述上部洞体1-1开挖过程中,由后向前对开挖成型的上部洞体1-1 拱部进行网喷支护,同时由后向前在开挖成型的上部洞体1-1内安装上部拱架2-1,完成上部洞体1-1的开挖及初期支护施工过程;

[0157] 步骤B2、中部洞体开挖及初期支护:步骤B1中进行上部洞体开挖及初期支护过程中,沿隧道纵向延伸方向由后向前在已开挖成型的上部洞体 1-1下方对中部洞体1-2进行开挖;

[0158] 所述中部洞体1-2开挖过程中,由后向前对开挖成型的中部洞体1-2 左右两侧分别进行网喷支护,同时由后向前在开挖成型的中部洞体1-2左右两侧分别安装中部侧支架5,并使每个所述中部侧支架5均与步骤B1 中所述上部拱架2-1紧固连接为一体,完成中部洞体1-2的开挖及初期支护施工过程;

[0159] 本步骤中,所述中部洞体1-2的开挖面位于上部洞体1-1的开挖面后方且二者之间的水平间距为4m~6m;

[0160] 步骤B3、下部洞体开挖及初期支护:步骤B2中进行中部洞体开挖及初期支护过程中,沿隧道纵向延伸方向由后向前在已开挖成型的中部洞体 1-2下方对下部洞体1-3进行开挖;

[0161] 所述下部洞体1-3开挖过程中,由后向前对开挖成型的下部洞体1-3 左右两侧分别进行网喷支护,网喷支护过程中同步由后向前在开挖成型的下部洞体1-3左右两侧分别

安装下部侧支架6,并使每个所述下部侧支架6均与步骤B2中所述中部侧支架5紧固连接为一体;同时,由后向前在下部洞体1-3底部安装隧道仰拱支架2并使所安装隧道仰拱支架2与下部洞体1-3左右两侧所安装的下部侧支架6紧固连接为一体;所述隧道仰拱支架2安装过程中,同步由后向前在隧道洞1底部喷射一层混凝土形成仰拱混凝土喷射层20,并使隧道仰拱支架2固定于仰拱混凝土喷射层20内,完成下部洞体1-3的开挖及初期支护施工过程;

[0162] 本步骤中,所述下部洞体1-3的开挖面位于中部洞体1-2的开挖面后方且二者之间的水平间距为4m~6m;

[0163] 本步骤中,由后向前对下部洞体1-3进行开挖过程中,获得开挖成型的隧道洞1;由后向前对开挖成型的中部洞体1-3左右两侧分别进行网喷支护后,获得施工成型的所述拱墙网喷支护结构;所述拱墙网喷支护结构与仰拱混凝土喷射层20连接。

[0164] 本实施例中,步骤B1中对上部洞体1-1进行开挖时,采用带松土器的挖掘机进行开挖,并且在上部洞体1-1的四周侧均预留30cm~50cm厚度的土层作为人工修整层,人工修整层由人工采用刀具进行开挖,确保开挖精度,严禁挖掘机触碰所述全断面支撑架,确保安全和防止超挖,必要时预留核心土保证掌子面稳定。

[0165] 步骤B1中由后向前在开挖成型的中部洞体1-1内安装上部拱架2-1过程中,在每个已安装完成上部拱架2-1的左右两侧底部分别设置泡沫铝垫板或混凝土垫板以控制位移及沉降,并在每个已安装完成上部拱架2-1的左右两侧分别打设上锁脚锚管8;同时,在每个已安装完成上部拱架2-1的左右两侧底部分别铺设一层砂垫层以利于上部拱架2-1与中部侧支架5进行螺栓连接。

[0166] 步骤B2中对中部洞体1-2进行开挖时,采用带松土器的挖掘机进行开挖,并且在中部洞体1-2的左右两侧和底部均预留30cm~50cm厚度的土层作为人工修整层,严禁机械一次开挖至边,人工修整层由人工采用刀具进行开挖,确保开挖精度,严禁挖掘机触碰所述全断面支撑架,确保安全和防止超挖,必要时预留核心土保证掌子面稳定。

[0167] 步骤B2中由后向前在开挖成型的中部洞体1-2左右两侧分别安装中部侧支架5过程中,在每个已安装完成中部侧支架5底部分别设置泡沫铝垫板或混凝土垫板以控制位移及沉降,并在每个已安装完成中部侧支架5外侧分别打设中锁脚锚管9;同时,在每个已安装完成中部侧支架5底部分别铺设一层砂垫层以利于中部侧支架5与下部侧支架6进行螺栓连接。

[0168] 步骤B3中对下部洞体1-3进行开挖时,采用带松土器的挖掘机进行开挖,并且在下部洞体1-3的左右两侧和底部均预留30cm~50cm厚度的土层作为人工修整层,严禁机械一次开挖至边,人工修整层由人工采用刀具进行开挖,确保开挖精度,严禁挖掘机触碰所述全断面支撑架,确保安全和防止超挖,必要时预留核心土保证掌子面稳定。

[0169] 步骤B3中由后向前在开挖成型的中部洞体1-3左右两侧分别安装下部侧支架6过程中,在每个已安装完成下部侧支架6底部分别设置泡沫铝垫板或混凝土垫板以控制位移及沉降,并在每个已安装完成下部侧支架6外侧分别打设下锁脚锚管10。

[0170] 由于所施工黄土隧道采用台阶法开挖,对所施工黄土隧道进行开挖过程中,所述全断面支撑架分步进行安装且其暂时不能封闭成环,造成初期支护极易出现较大变形。本发明采用上锁脚锚管8、中锁脚锚管9和下锁脚锚管10分别对上部拱架2-1、中部侧支架5和下部侧支架6的拱脚进行约束,能有效防止上部拱架2-1、中部侧支架5和下部侧支架6的拱

脚发生转动和移动,提高钢架整体稳定性,以防止初支出现较大变形。

[0171] 本实施例中,所述上锁脚锚管8、中锁脚锚管9和下锁脚锚管10均为壁厚5mm、长度4m且直径 $\Phi 42$ mm的无缝钢管,上锁脚锚管8、中锁脚锚管9和下锁脚锚管10的内端均通过连接钢筋焊接固定在所述全断面支撑架上。所述上锁脚锚管8、中锁脚锚管9和下锁脚锚管10的长度和打入角度设计合理,不仅有利于限制围岩的变形,而且有助于发挥支护结构的承载力。并且,每个锚固位置处所述上锁脚锚管8、中锁脚锚管9和下锁脚锚管10的数量均为两个,能进一步提高锚固效果。

[0172] 所述上锁脚锚管8、中锁脚锚管9和下锁脚锚管10为倾斜锚管,对所述倾斜锚管进行安装时,先对所述倾斜锚管所安装的钻孔进行钻设,因作业空间有限,为切实有效保证锁脚锚管的钻孔深度及角度,采用“三次钻进法”进行钻孔,依次选用长度为2m、3m和4m的钻杆,将钻孔深度按1.5m、2.5m和4m的顺序逐步钻进至设计深度。钻孔完成后,对所述倾斜锚管进行安装,安装时用凿岩机接送管器将直接将所述倾斜锚管打入钻孔中。

[0173] 本实施例中,步骤B1中进行上部洞体开挖及初期支护时,所述上部洞体1-1的开挖进尺为2L~3L;

[0174] 步骤B2中进行中部洞体开挖及初期支护时,所述中部洞体1-2的开挖进尺为2L~3L;

[0175] 步骤B3中进行下部洞体开挖及初期支护时,所述下部洞体1-3的开挖进尺为2L~3L。

[0176] 本实施例中,步骤B1中由后向前对上部洞体1-1拱部进行网喷支护时,先由后向前在上部洞体1-1拱部挂装拱部钢筋网片,同时由后向前在上部洞体1-1内安装上部拱架2-1,并使所挂装的拱部钢筋网片与所安装的上部拱架2-1紧固连接;再由后向前在开挖成型的上部洞体1-1内壁上喷射一层混凝土,形成拱部混凝土喷射层,并使所挂装的拱部钢筋网片与所安装的上部拱架2-1均固定于所述拱部混凝土喷射层内,完成上部洞体1-1的开挖及初期支护施工过程;

[0177] 步骤B2中由后向前对中部洞体1-2左右两侧分别进行网喷支护时,先由后向前在中部洞体1-2左右两侧分别挂装中部钢筋网片,同时由后向前在中部洞体1-2左右两侧分别安装中部侧支架5,并使所挂装的中部钢筋网片与所安装的中部侧支架5紧固连接,同时使所挂装的中部钢筋网片与步骤B1中所述拱部钢筋网片紧固连接;再由后向前在中部洞体1-2的左右两侧内壁上分别喷射一层混凝土,形成中部混凝土喷射层,使所述中部混凝土喷射层与步骤B1中所述拱部混凝土喷射层连接,并使所挂装的中部钢筋网片与所安装的中部侧支架5均固定于所述中部混凝土喷射层内,完成中部洞体1-2的开挖及初期支护施工过程;

[0178] 步骤B3中由后向前对下部洞体1-3左右两侧分别进行网喷支护时,先由后向前在下部洞体1-3左右两侧分别挂装下部钢筋网片,同时由后向前在下部洞体1-3左右两侧分别安装下部侧支架6,并使所挂装的下部钢筋网片与所安装的下部侧支架6紧固连接,同时使所挂装的下部钢筋网片与步骤B2中所述中部钢筋网片紧固连接;再由后向前在下部洞体1-3的左右两侧内壁上分别喷射一层混凝土,形成下部混凝土喷射层,使所述下部混凝土喷射层与步骤B2中所述中部混凝土喷射层连接,并使所挂装的下部钢筋网片与所安装的下部侧支架6均固定于所述下部混凝土喷射层内,完成下部洞体1-3左右两侧的网喷支护过程,获得施工成型的所述拱墙网喷支护结构;

[0179] 步骤B1中所述拱部钢筋网片、步骤B2中所述中部钢筋网片与步骤B3中所述下部钢筋网片由上至下连接组成所述拱墙钢筋网片,步骤B1中所述拱部混凝土喷射层、步骤B2中所述中部混凝土喷射层与步骤B3中所述下部混凝土喷射层由上至下连接组成拱墙混凝土喷射层19。

[0180] 如图2所示,本实施例中,步骤B1中所述上部洞体1-1的开挖进尺、步骤B2中所述中部洞体1-2的开挖进尺与步骤B3中所述下部洞体1-3的开挖进尺均相同;

[0181] 步骤一中进行隧道开挖及初期支护时,所述湿喷机械手21通过隧底回填土层7沿隧道纵向延伸方向分多次进行向前移动,每次向前移动距离均与下部洞体1-3的开挖进尺相同;

[0182] 所述湿喷机械手21每次向前移动到位后,位于隧底回填土层7前方的已开挖成型下部洞体1-3的长度均与下部洞体1-3的开挖进尺相同,此时位于隧底回填土层7前方的已开挖成型下部洞体1-3为当前所开挖下部洞体;

[0183] 所述湿喷机械手21每次向前移动到位后,先采用湿喷机械手21由后向前对当前所开挖下部洞体内的所述下部混凝土喷射层和仰拱混凝土喷射层20同步进行喷射,同时完成当前所开挖下部洞体的开挖及初期支护施工过程;待当前所开挖下部洞体的开挖及初期支护施工过程完成后,在当前所开挖下部洞体内已施工成型的初期支护仰拱13上施工隧底回填土层7,此时所施工的隧底回填土层7为供湿喷机械手21下一次向前移动所用的移动平台;

[0184] 待当前所开挖下部洞体内的所述下部混凝土喷射层和仰拱混凝土喷射层20均喷射完成后,再采用湿喷机械手21由后向前对位于当前所开挖下部洞体前方且此时已开挖成型的上部洞体1-1和中部洞体1-2分别进行混凝土喷射,同时完成位于当前所开挖下部洞体前方的上部洞体1-1和中部洞体1-2的开挖及初期支护施工过程;

[0185] 待位于当前所开挖下部洞体前方且此时已开挖成型的上部洞体1-1和中部洞体1-2内混凝土喷射完成后,对湿喷机械手21进行下一次向前移动。

[0186] 由上述内容可知,所述初期支护仰拱13的施工过程与下部洞体1-3的开挖过程同步进行,因而下部洞体1-3开挖与初期支护仰拱13施工同步进行,能确保初期支护及时封闭成环,并保证在最短时间内初期支护封闭成环,防治围岩变形过大,确保施工安全。并且,初期支护封闭成环后,为大型机械在洞内移动提高便利,从而能最大限度满足大型机械化施工需求,降低劳动强度,实现上中下台阶同步作业,实现全断面流水施工,能有效提高施工效率,降低工程成本,达到安全、经济、高效的施工目的,实际施工时,所述上部洞体1-1的开挖面与下部洞体1-3的开挖面之间的水平间距为8m~10m。因而,初期支护仰拱13封闭成环(即初期支护封闭成环)的进度与上部洞体1-1的开挖面之间的水平间距为8m~10m,能确保隧道开挖过程安全、可靠顺利,并能确保大断面黄土隧道的稳固性。

[0187] 并且,由于初期支护仰拱13封闭成环(即初期支护封闭成环)的进度与上部洞体1-1的开挖面之间的水平间距为8m~10m,因而能确保湿喷机械手21的工作长度满足施工需求,确保湿喷机械手21能对前方的上部洞体1-1进行混凝土喷射。

[0188] 本实施例中,所述拱墙混凝土喷射层19和仰拱混凝土喷射层20的层厚均为30cm且均采用C25混凝土。

[0189] 所述湿喷机械手21为移动式混凝土喷射机械手。本实施例中,所述湿喷机械手21



为中国铁建重工集团有限公司生产的HPS3016S型湿喷机械手(也称为HPS3016轮胎式混凝土喷射台车)或中铁岩锋成都科技有限公司生产的TKJ-20型湿喷机械手(也称为TKJ-20型混凝土喷射机械手)。

[0190] 本实施例中,所述上部洞体1-1和所述中部洞体1-2的开挖高度均能满足湿喷机械手21的操作空间。

[0191] 对于预留核心土的台阶进行开挖时,在喷射混凝土前进行挖除或局部修整,以确保湿喷机械手21有足够的正常作业空间。

[0192] 对拱墙混凝土喷射层19和仰拱混凝土喷射层20进行喷射时,先进行初喷,再进行复喷。其中,实际进行初喷时,沿隧道开挖断面从一侧拱脚开始喷射,经过拱部直至另一侧拱脚结束;首次喷射时喷射厚度应控制在边墙10cm~15cm,拱部5cm~10cm。

[0193] 待初喷混凝土初凝后,按照自下而上的顺序进行复喷。仰拱在喷射时应先喷射中间后喷射两边,中间喷射厚度应大于两边厚度。

[0194] 边墙复喷时在第一次初喷基础上直接喷射至设计厚度。拱部每次喷射厚度应控制在4cm~5cm,每次喷射间隔5~10min,这样可以大幅减少回弹量。喷射过程中,喷嘴与受喷面间距宜为1.0cm~1.5m,喷嘴喷射过程中作连续、缓慢的横向或环向移动。若受喷面被钢架、钢筋网遮挡时,根据具体情况变换喷嘴的喷射角度和与受喷面的距离,将钢架、钢筋网背后喷填密实。喷射过程中如遇到受喷面有裂隙渗漏水时,应先喷射无水处,逐渐喷射覆盖至有渗水处,在喷射渗水处时速凝剂使用量可在标准用量的基础上增加0.5%~2.0%的掺量,总掺量不得超过水泥用量的6.0%。

[0195] 喷射混凝土后,应立即进行潮湿性养护,一般养护不少于14d。喷射混凝土作业的环境温度不得低于5℃。

[0196] 为进一步提高所施工黄土隧道底部的稳定性,所述隧道初期支护结构中前后相邻两榀所述隧道仰拱支架2之间均通过多道由左至右布置的纵向连接件进行紧固连接,多道所述纵向连接件均呈水平布置且其沿所述隧道仰拱支架的轮廓线进行布置。

[0197] 本实施例中,所述纵向连接件为槽钢。

[0198] 实际施工时,所述纵向连接件也可以采用其它类型的型钢。

[0199] 本实施例中,步骤二中对拱墙二次衬砌14进行施工时,采用二衬台车沿隧道纵向延伸方向由后向前对拱墙二次衬砌14进行施工。因而,实际施工简便,并且施工效率高,施工质量易于保证。

[0200] 所述隧道二次衬砌的左右两个矮边墙18为拱墙二次衬砌14左右两侧底部的衬砌节段。

[0201] 步骤二中对拱墙二次衬砌14进行施工时,同步完成两个所述矮边墙 18的施工过程,并且左右两个矮边墙18也采用二衬台车进行施工。其中所述二衬台车为常规的衬砌台车,只需根据拱墙二次衬砌14的横截面形状对衬砌台车的成型模板进行加工即可。因而,所述二衬台车上所装的成型模板为拱墙二次衬砌14的成型模板,具体是对拱墙二次衬砌14的内壁进行成型的弧形模板,结构简单,并且施工简便。并且,由于所述仰拱二次衬砌15的上表面为水平面,因而所述成型模板能平稳支撑于仰拱二次衬砌15上,支撑稳固、可靠,并能有效确保所施工成型隧道二次衬砌的施工质量。

[0202] 因而,步骤二中进行二衬施工及仰拱回填时,所述仰拱二次衬砌15 的施工进度快

于拱墙二次衬砌14的施工进度,从而能进一步确保所施工黄土隧道底部的稳固性,并能有效加快所述隧道二次衬砌的封闭成环时间。

[0203] 根据本领域公知常识,隧道二次衬砌(简称二次衬砌或二衬)是隧道工程施工中在隧道初期支护结构(简称初期支护或初支)内侧施作的模筑混凝土或钢筋混凝土衬砌,与隧道初期支护结构共同组成复合式衬砌。所述隧道二次衬砌包括左右两个矮边墙18,两个所述矮边墙18对称布设于二衬仰拱的左右两侧上方,所述矮边墙18是铁路隧道二次衬砌中的一个术语,又称小边墙。所述隧道二次衬砌由隧底衬砌和布设于所述隧道仰拱正上方的二衬拱墙衬砌连接而成,所述隧底衬砌由二衬仰拱和两个所述矮边墙18连接组成,所述隧底衬砌也称为隧道仰拱,因而两个所述矮边墙18为所述隧道仰拱的一部分,所述隧道仰拱为改善上部支护结构受力条件而设置在隧道底部的反向拱形结构,是隧道结构的主要组成部分之一。两个所述矮边墙18对称布设于所述二衬仰拱的左右两侧上方,所述二衬拱墙衬砌的左右两侧底部与所述二衬仰拱之间均通过一个所述矮边墙18连接,所述隧底衬砌与所述二衬拱墙衬砌均为钢筋混凝土衬砌且二者的横截面均为拱形。

[0204] 目前,对隧道复合式衬砌进行施工时,一般采用将初支与所述二衬仰拱一起施作的方法,并在所述二衬仰拱上施作一定高度的矮边墙18,然后再进行仰拱填充,存在施工工序多、效率低等问题。同时,由于仰拱填充应在所述二衬仰拱的混凝土终凝后浇筑,并且必须保证所述二衬仰拱的弧形,这就要求所述二衬仰拱与矮边墙18的施工必须借助模板成型,否则仰拱施工将会出现下列问题:首先不能很好成型;其次振捣难以进行,因为混凝土一旦振捣就会向底部溜滑。另外,目前很少有隧道施工时采用仰拱模板,往往是仅在仰拱填充顶面位置安装矮边墙侧模板,仰拱填充与所述二衬仰拱同时浇筑。待仰拱填充到位后,工人将混凝土铲进矮边墙模板,稍作插捣,不敢振捣。这样一来,矮边墙18的质量就大打折扣,而且所述二衬仰拱与仰拱填充的混凝土等级不同,往往是先倾倒所述二衬仰拱的混凝土于隧底,然后再倾倒仰拱填充的混凝土,两者混在一起。由于矮边墙18本属于隧道仰拱,却使用的是填充混凝土,加上不振捣,矮边墙18的强度其实是相当低的。而且从拆模后可以看出,蜂窝麻面严重,外观质量也羞于见人,只好采用调制的水泥浆抹面进行掩盖;还存在模板重复利用凹凸不平,不加整修,不涂刷脱模剂等问题,施工成型的矮边墙18的台阶线型极差,导致二衬台车模板与其接触不紧密,错台和漏浆严重。因此适当优化二次衬砌结构,在确保隧道结构安全的前提下,能有效提升施工效率,使得工程更加经济、合理。

[0205] 本实施例中,两个所述矮边墙18为拱墙二次衬砌14左右两侧底部的衬砌节段,因而两个所述矮边墙18为拱墙二次衬砌7的一部分。

[0206] 为保证仰拱二次衬砌15与矮边墙18的施工质量,并有效提高施工效率,对仰拱二次衬砌15与仰拱填充层16的交界面进行调整,将仰拱二次衬砌15与仰拱填充层16的交界面调整为平面,仰拱填充层16与仰拱二次衬砌15可同时浇筑,这样能大幅简化仰拱二次衬砌15与仰拱填充层16的施工过程,并且仰拱二次衬砌15与仰拱填充层16的混凝土不会混为一体,能有效确保仰拱二次衬砌15与仰拱填充层16的施工质量,避免因混凝土等级不同而造成的仰拱二次衬砌15与仰拱填充层16的施工质量不能保证等问题。同时,仰拱二次衬砌15的上表面为水平面,混凝土浇筑过程中无需保证仰拱二次衬砌15的弧形,无需采用弧形模板,浇筑方便大幅简便,浇筑简便,并且仰拱二次衬砌15的施工质量易于保证。

[0207] 所述隧道二衬衬砌内左右两侧对称设置有水沟电缆槽23,所述水沟电缆槽23为所

施工黄土隧道1内预先设计的用于排水和敷设电缆的沟槽。本实施例中,所述仰拱填充层16布设于两个所述水沟电缆槽23之间。两个所述水沟电缆槽23对称支撑于仰拱二次衬砌15的左右两侧上方,两个所述水沟电缆槽23对称布设于仰拱填充层16的左右两侧。

[0208] 所述仰拱二次衬砌15的上表面浇筑成平面,并且对仰拱二次衬砌15的上表面高度进行确定时,根据预先设计的所述隧道仰拱的内轮廓线(即所述隧道仰拱的设计内轮廓线,该设计内轮廓线为弧形轮廓线)与预先设计的水沟电缆槽23底部之间的交点进行确定,所述仰拱二次衬砌15的上表面和所述隧道仰拱的设计内轮廓线与预先设计的水沟电缆槽23底部之间的交点布设于同一水平面上。本实施例中,所述仰拱二次衬砌15采用与预先设计的所述隧道仰拱同标号的混凝土一次浇筑而成,所述仰拱填充层16采用与预先设计的仰拱填充同标号的混凝土一次浇筑而成。本实施例中,所述仰拱填充层16采用C20混凝土浇筑而成。并且,仰拱二次衬砌15与仰拱填充层16分开浇筑。对仰拱二次衬砌15与仰拱填充层16进行混凝土浇筑过程中,严格按照大体积混凝土分层振捣。

[0209] 本实施例中,对仰拱二次衬砌15进行浇筑时,采用移动式仰拱栈桥 17进行整幅浇筑,且将仰拱二次衬砌15内部的中弧形部分优化为水平面。

[0210] 优化后的仰拱二次衬砌15使隧道仰拱结构的刚度整体大幅提升,并且施工中无需安装弧形模板,混凝土振捣简便且振捣质量易控,仰拱二次衬砌15的外观尺寸和施工质量更易于控制,并且能大幅提高隧道仰拱的施工效率,所述隧道二次衬砌的封闭时间大大缩短,并且没有弧形模板的干扰使得仰拱混凝土易于振捣,混凝土质量大大提升。本实施例中,由于仰拱二次衬砌15的上表面为水平面,因而对仰拱二次衬砌15进行混凝土浇筑时,无需采用成型模板,只需对所浇筑混凝土的上表面高度进行监测即可,待所浇筑混凝土的上表面高度与仰拱二次衬砌15的上表面高度相同时,完成仰拱二次衬砌15的混凝土浇筑施工过程,因而能大幅度简化仰拱二次衬砌15的施工过程。

[0211] 另外,需说明的是:本发明并非仅仅将仰拱二次衬砌15的混凝土浇筑为平面,而是将仰拱二次衬砌15内的所述仰拱钢筋笼的上表面也设置为水平面,确保仰拱二次衬砌15的整个横断面内均设置有钢筋笼,并且所述仰拱钢筋笼的上表面为水平面,能有效简化所述仰拱钢筋笼的绑扎过程。

[0212] 本实施例中,将现有的所述二衬拱墙衬砌与两个所述矮边墙18连接组成拱墙二次衬砌14,因而将现有的所述二衬拱墙衬砌与两个所述矮边墙 18作为整体衬砌进行施工,并且采用二衬台车对拱墙二次衬砌14进行施工。因而,现有的所述二衬拱墙衬砌与两个所述矮边墙18采用二衬台车一次施工成型,能进一步提高所述隧道二次衬砌的施工效率,加快所述隧道二次衬砌封闭时间,缩短所述隧道二次衬砌的封环时间,进一步提高所施工黄土隧道的结构稳定性。

[0213] 并且,将现有的所述二衬拱墙衬砌与两个所述矮边墙18浇筑为一体,能有效减少所述隧道二次衬砌中的施工缝,使所述隧道二次衬砌的整体性更强,整体受力效果更佳。同时,能有效解决现有隧道二次衬砌施工方法中先对仰拱进行超前施工再利用组合钢模板对矮边墙进行施工时存在的以下问题:第一、避免仰拱超前施工后再利用组合钢模板对矮边墙18进行施工时,矮边墙18施工过程对已施工完成的二衬仰拱可能造成的损害;第二、避免为防止矮边墙18施工过程对已施工完成的二次衬底仰拱8可能造成的损害,必须等到二衬仰拱终凝后再对矮边墙18进行施工,因而施工效率大幅度提高,施工工期有效缩短;第三、

矮边墙18与二衬仰拱连接处的施工质量与连接强度能得到保证,能有效节约施工成本,并能进一步提高施工效率,减少后期加强措施施工成本和施工工期。

[0214] 所述仰拱二次衬砌15的一次浇筑长度按照对拱墙二次衬砌14进行施工的二衬台车的长度进行确定,并且仰拱二次衬砌15的一次浇筑长度为二衬台车长度(即一环拱墙二次衬砌14的纵向长度)的2倍或3倍,能大幅提高隧道仰拱的施工效率,进一步确保所施工黄土隧道1的稳定性。本实施例中,仰拱二次衬砌15的一次浇筑长度为二衬台车长度(即一环拱墙二次衬砌14的纵向长度)的2倍,所述二衬台车的长度为12m,仰拱二次衬砌15的一次最大浇筑长度为24m。

[0215] 对所施工黄土隧道1进行开挖过程中,对仰拱二次衬砌15进行浇筑时,一次开挖,一次清底且分次浇筑,减少了工序间的施工干扰,减少了施工缝,保证了施工质量。并且,对仰拱二次衬砌15进行施工时,先进行清底,然后进行钢筋绑扎,最后浇筑混凝土。

[0216] 本实施例中,所述仰拱二次衬砌15和拱墙二次衬砌14均为钢筋混凝土衬砌;

[0217] 步骤二中由后向前对仰拱二次衬砌15进行施工时,由后向前在已施工完成的初期支护仰拱13上对仰拱二次衬砌15内的钢筋笼进行绑扎,此时所绑扎钢筋笼为仰拱钢筋笼;由后向前对所述仰拱钢筋笼进行绑扎过程中,由后向前对仰拱二次衬砌15进行混凝土浇筑,并使已绑扎完成的所述仰拱钢筋笼浇筑于仰拱二次衬砌15内,同时使所施工仰拱二次衬砌15与位于其下方的初期支护仰拱13固定连接为一体;

[0218] 步骤二中由后向前对拱墙二次衬砌14进行施工时,由后向前在已施工完成的仰拱二次衬砌15上对拱墙二次衬砌14内的钢筋笼进行绑扎,并使所绑扎钢筋笼与位于其正下方的所述仰拱钢筋笼固定连接,此时所绑扎钢筋笼为拱墙钢筋笼;由后向前对所述拱墙钢筋笼进行绑扎过程中,由后向前对拱墙二次衬砌14进行混凝土浇筑,使已绑扎完成的所述拱墙钢筋笼浇筑于拱墙二次衬砌14内,并使所施工拱墙二次衬砌14与位于其下方的初期支护仰拱13固定连接为一体,同时使所施工拱墙二次衬砌14与位于其外侧的所述增强后初支结构固定连接为一体;

[0219] 所述仰拱钢筋笼的绑扎进度快于所述拱墙钢筋笼的绑扎进度,所述仰拱二次衬砌15的混凝土浇筑进度快于拱墙二次衬砌14的混凝土浇筑进度。本实施例中,所述仰拱钢筋笼的上表面为水平面。

[0220] 如图2所示,本实施例中,步骤二中进行二衬施工及仰拱回填时,所述仰拱回填层16的施工进度与仰拱二次衬砌15的施工进度相同,能有效加快隧道施工进度,同时由于仰拱回填层16与仰拱二次衬砌15之间的交界面为水平面,因而仰拱回填层16与仰拱二次衬砌15的混凝土浇筑互不影响,不会出现仰拱回填层16与仰拱二次衬砌15的混凝土混合影响仰拱回填层16与仰拱二次衬砌15施工质量的问题。

[0221] 实际施工时,所述仰拱回填层16与仰拱二次衬砌15组成隧道仰拱及回填结构,所述仰拱回填层16与仰拱二次衬砌15的施工进度相同,对所述隧道仰拱及回填结构进行施工时,所采用的成型模板由左右两个对称布设的侧模板24和一个对所述隧道仰拱及回填结构的前侧壁进行成型的前模板25拼接而成,所述仰拱二次衬砌15的上表面无需采用模板,所述成型模板结构简单,所述侧模板24为矩形模板且其为对仰拱回填层16的左侧壁或右侧壁进行成型的竖向模板,两个所述侧模板24均沿隧道纵向延伸方向布设,两个所述侧模板24之间的净距与仰拱回填层16的横向宽度相同;两个所述侧模板24的高度均不小于仰拱回填

层16的层厚,两个所述侧模板24的底面布设于同一水平面上且二者的底面均与仰拱二次衬砌 15的上表面高度相平齐;如图7所示,所述前模板25与侧模板24呈垂直布设,所述前模板25为对仰拱回填层16与仰拱二次衬砌15的前侧壁进行成型的竖向模板;所述前模板25由上模板和位于所述上模板的正下方的下模板组成,所述下模板为对仰拱二次衬砌15的前侧壁进行成型的模板,所述下模板的形状和尺寸均与仰拱二次衬砌15的横截面形状和尺寸相同,所述下模板底部支撑于初期支护仰拱13上;所述上模板为对仰拱回填层16的前侧壁进行成型的模板,所述上模板为矩形模板且其高度不小于仰拱回填层16的层厚,所述上模板的底面与仰拱二次衬砌15的上表面相平齐。本实施例中,所述上模板与所述下模板加工制作为一体。

[0222] 本实施例中,所述可移动仰拱栈桥17包括栈桥本体和安装在所述栈桥本体底部的所述成型模板。

[0223] 本实施例中,所施工黄土隧道沿隧道纵向延伸方向由后向前分为多个隧道节段;

[0224] 所述仰拱回填层16与仰拱二次衬砌15组成隧道仰拱及回填结构,步骤二中进行二衬施工及仰拱回填时,采用可移动仰拱栈桥17由后向前对所述隧道仰拱及回填结构进行施工;

[0225] 采用可移动仰拱栈桥17由后向前对所述隧道仰拱及回填结构进行施工时,由后向前对所施工黄土隧道的多个所述隧道节段分别进行隧道仰拱及回填施工,每个所述隧道节段的长度均不大于可移动仰拱栈桥17的工作长度;多个所述隧道节段的隧道仰拱及回填施工方法均相同;

[0226] 对所施工黄土隧道的任一个所述隧道节段进行隧道仰拱及回填施工时,过程如下:

[0227] 步骤A1:栈桥水平前移:沿隧道纵向延伸方向,将可移动仰拱栈桥 17向前水平移动至当前所施工隧道节段的施工位置处;

[0228] 步骤A2、仰拱二次衬砌浇筑:采用步骤A1中移动到位的可移动仰拱栈桥17,由下至上对当前所施工隧道节段的仰拱二次衬砌15进行混凝土浇筑;

[0229] 步骤A3、仰拱回填:待步骤A2中完成仰拱二次衬砌浇筑后,采用步骤A1中移动到位的可移动仰拱栈桥17,由下至上对当前所施工隧道节段的仰拱回填层16进行混凝土浇筑;

[0230] 待步骤A2中和步骤A3中所浇筑的混凝土均终凝后,完成当前所施工隧道节段的隧道仰拱及回填施工过程;

[0231] 步骤A4、返回步骤A1,对一个所述隧道节段进行隧道仰拱及回填施工。

[0232] 所述可移动仰拱栈桥17为仰拱施工栈桥,由于隧底回填土层7的上表面与仰拱回填层16的上表面相平齐,隧底回填土层7与仰拱回填层16 组成供可移动仰拱栈桥17移动的水平移动平台。并且,如图2所示,所述可移动仰拱栈桥17的前侧支撑于隧底回填土层7上,可移动仰拱栈桥 17的后侧支撑于已施工成型的仰拱回填层16上,实际施工非常简便。

[0233] 本实施例中,对所施工黄土隧道的任一个所述隧道节段进行隧道仰拱及回填施工之前,先沿隧道纵向延伸方向由后向前对当前所施工隧道节段内的隧底回填土层7进行清理。

[0234] 本实施例中,所述仰拱钢筋笼底部包括多道由后向前布设的拱形钢筋,每道所述拱形钢筋均位于隧道洞1的一个隧道横断面上,多道所述拱形钢筋均呈平行布设且其形状

均与仰拱二次衬砌15的形状相同；每道所述拱形钢筋的左右两端均伸出至仰拱二次衬砌15上方，每道所述拱形钢筋两端伸出至仰拱二次衬砌15上方的节段均为用于连接所述拱墙钢筋笼的钢筋外露段；

[0235] 由后向前对所述拱墙钢筋笼进行绑扎过程中，将所绑扎拱墙钢筋笼与位于其下方的所述钢筋外露段进行紧固连接。

[0236] 以上所述，仅是本发明的较佳实施例，并非对本发明作任何限制，凡是根据本发明技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、变更以及等效结构变化，均仍属于本发明技术方案的保护范围内。

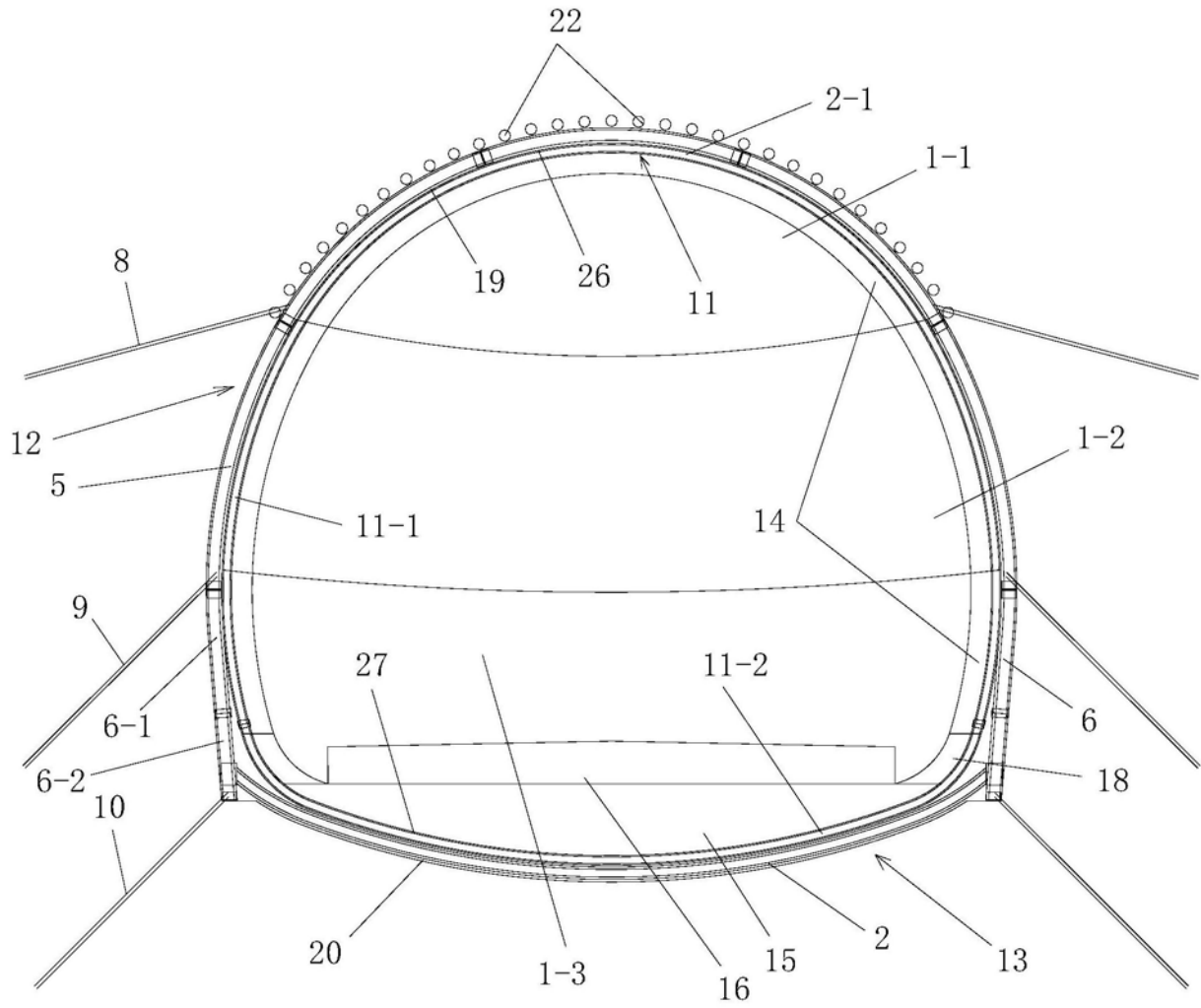


图1

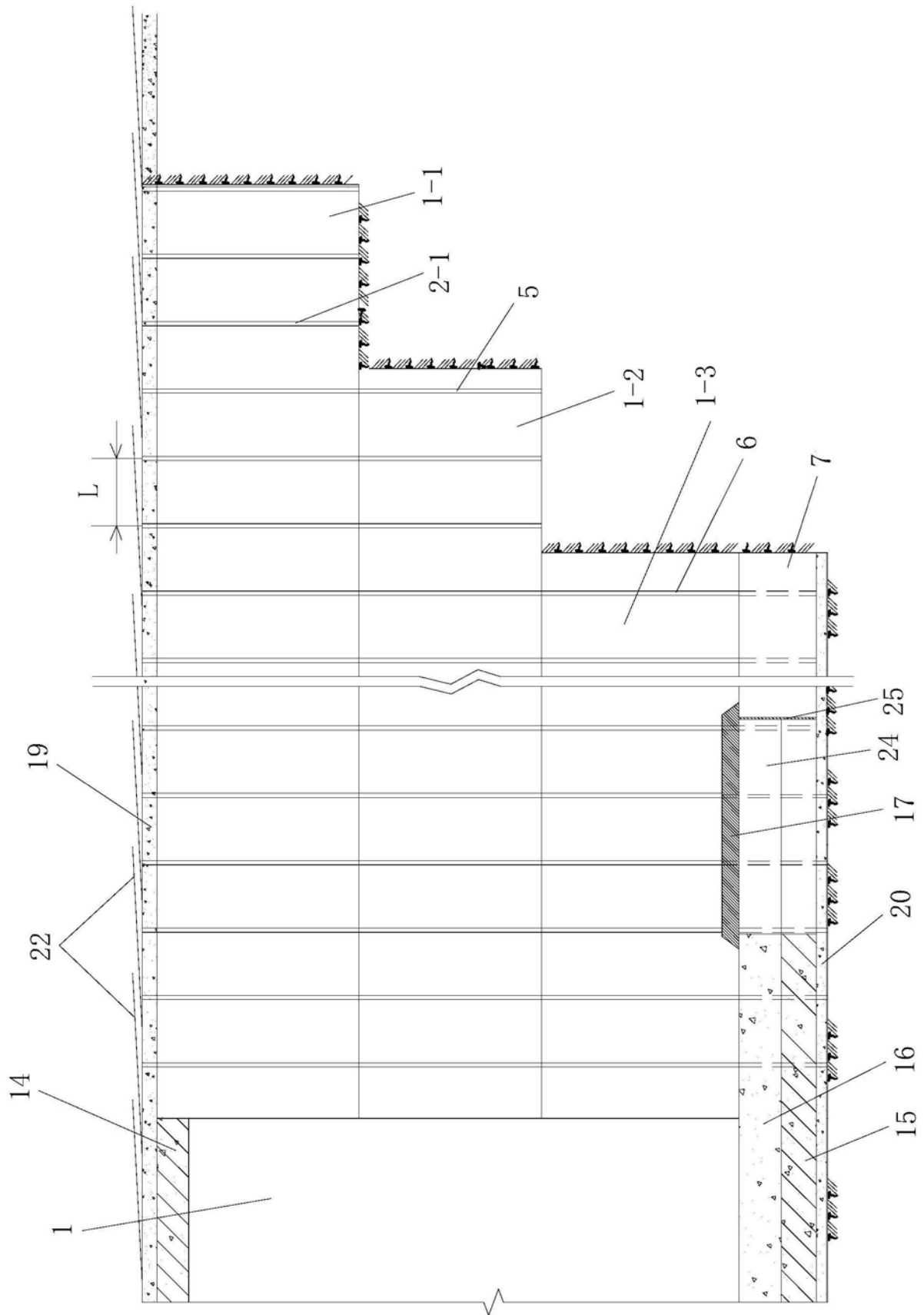


图2



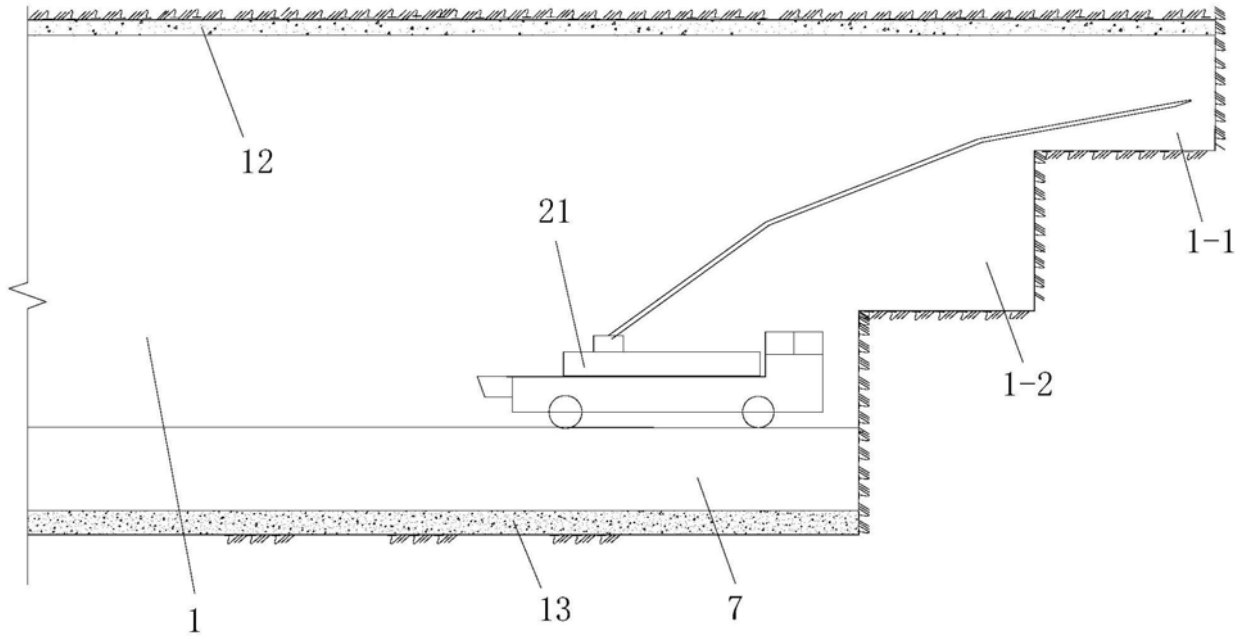


图3

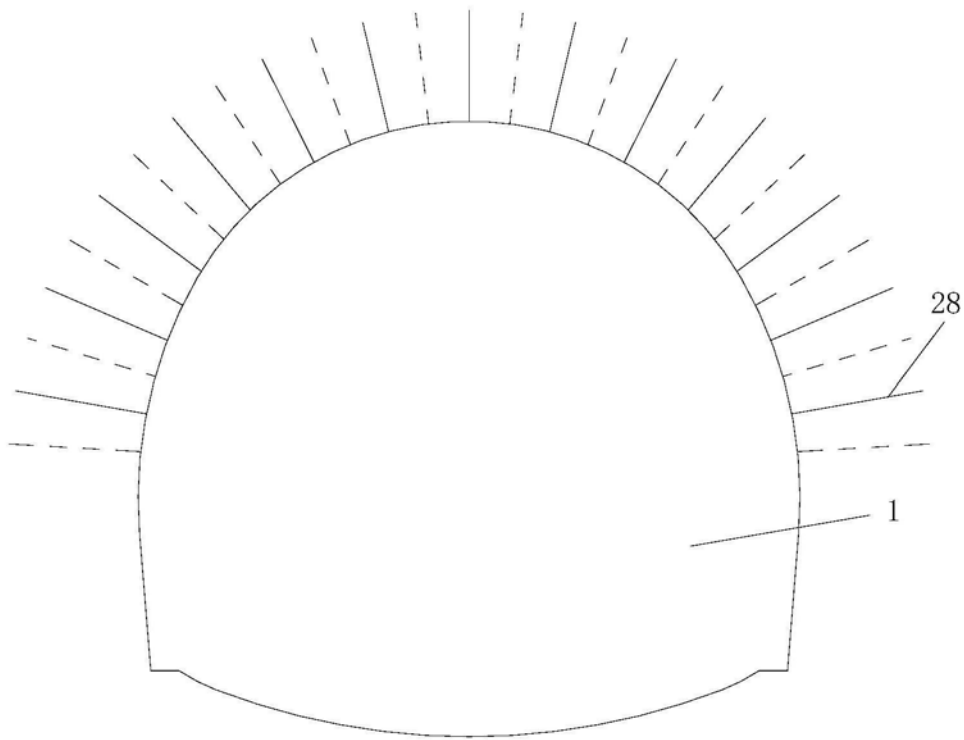


图4

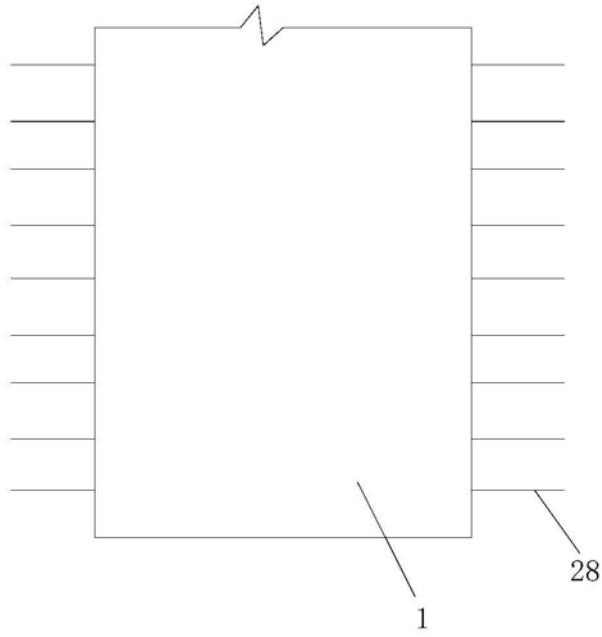


图5

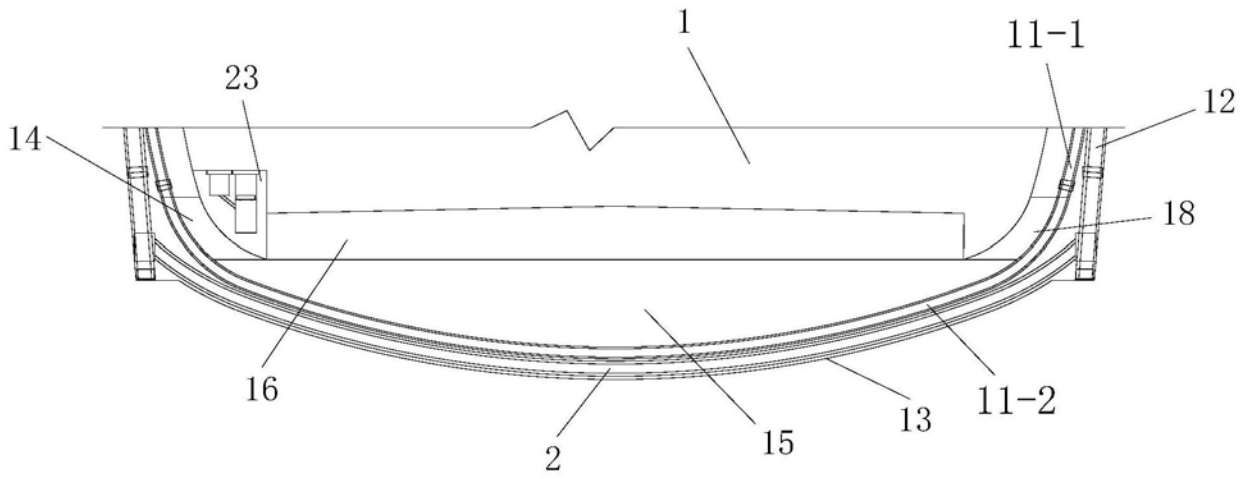


图6

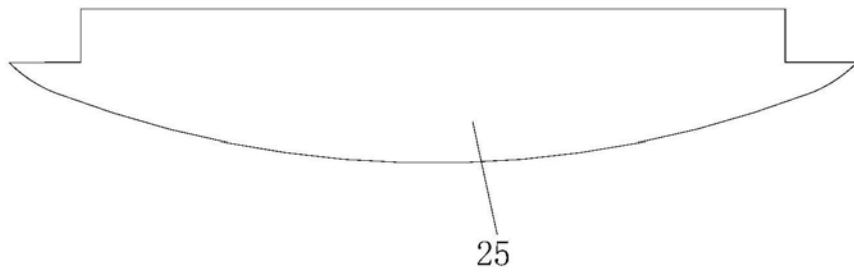


图7

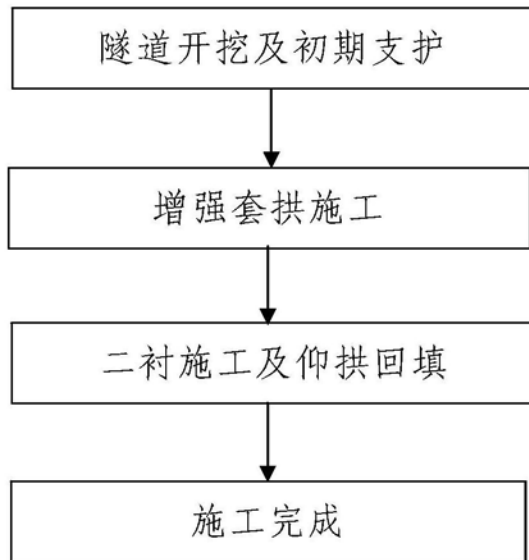


图8