



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108104823 B

(45)授权公告日 2019.05.14

(21)申请号 201711366636.8

(22)申请日 2017.12.18

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 108104823 A

(43)申请公布日 2018.06.01

(73)专利权人 西安科技大学  
地址 710054 陕西省西安市雁塔中路58号

(72)发明人 于远祥 王赋宇

(74)专利代理机构 西安创知专利事务所 61213  
代理人 谭文琰

(51)Int.Cl.  
E21D 9/00(2006.01)  
E21D 20/00(2006.01)  
E21D 11/10(2006.01)  
E21D 11/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 106481343 A,2017.03.08,  
CN 106499397 A,2017.03.15,  
CN 105136370 A,2015.12.09,  
JP 特开2007-162367 A,2007.06.28,  
CN 103216244 A,2013.07.24,  
CN 104018849 B,2016.01.27,

审查员 曹莹莹

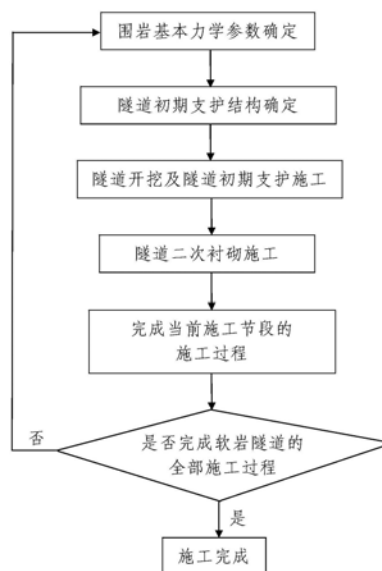
权利要求书5页 说明书15页 附图5页

(54)发明名称

一种深埋软岩隧道施工方法

(57)摘要

本发明公开了一种深埋软岩隧道施工方法,包括步骤:一、围岩基本力学参数确定;二、隧道初期支护结构确定:隧道侧墙失稳判断;隧道侧墙处于稳定状态下顶板冒落拱矢高确定;隧道侧墙处于拉裂-滑移式剪切破坏状态下顶板冒落拱矢高以及侧墙拉裂滑移坍塌区的滑移面倾角、内侧高度、外侧高度与坍塌宽度确定;隧道侧墙处于单斜面剪切破坏状态下顶板冒落拱矢高与侧墙单斜面坍塌区的坍塌宽度确定;支护结构确定;三、隧道开挖及隧道初期支护施工;四、隧道二次衬砌施工;五、下一节段施工;六、多次重复步骤五,直至完成隧道全部施工过程。本发明根据隧道侧墙失稳判断对隧道锚固支护体系的支护结构进行设计,能有效控制隧道围岩变形破坏且施工成本低。



1. 一种深埋软岩隧道施工方法,其特征在于:沿隧道纵向延伸方向由后向前分多个节段对软岩隧道(1)进行施工,多个所述节段的施工方法均相同;所述软岩隧道(1)为深埋隧道,所述软岩隧道(1)的埋深 $H \geq 2B$ ,其中B为软岩隧道(1)的开挖宽度,H和B的单位均为m;对于任一节段进行施工时,包括以下步骤:

步骤一、围岩基本力学参数确定:通过对现场所取岩样进行室内试验,对当前所施工节段的围岩基本力学参数进行测试,并对测试结果进行同步记录;

步骤二、隧道初期支护结构确定:所采用的隧道初期支护结构为对开挖成型的隧道洞拱墙进行支护的锚网喷初期支护结构,所述锚网喷初期支护结构为采用锚网喷支护方法施工成型的初期支护结构;所述锚网喷初期支护结构包括多个沿隧道延伸方向由后向前布设在所述隧道洞内的隧道锚固支护体系,多个所述隧道锚固支护体系的结构均相同;

所述隧道锚固支护体系为第一锚固支护体系、第二锚固支护体系或第三锚固体系;

所述第一锚固支护体系包括对所述隧道洞的拱部进行支护的第一隧道拱部支护体系和对所述隧道洞的侧墙进行支护的第一隧道侧墙支护体系,所述第一隧道拱部支护体系和所述第一隧道侧墙支护体系布设于同一隧道横断面上;所述第一隧道侧墙支护体系包括左右两个分别对所述隧道洞的左右侧墙进行支护的第一侧墙支护单元,两个所述第一侧墙支护单元呈对称布设且二者布设在同一隧道横断面上;

所述第一隧道拱部支护体系包括多个由左至右布设在所述隧道洞拱部的第一拱部锚杆(6);

每个所述第一侧墙支护单元均为对所述隧道洞侧墙上的侧墙拉裂滑移坍塌区(3-1)进行支护的非对称式支护结构,所述侧墙拉裂滑移坍塌区(3-1)的上部与所述隧道洞的侧墙上部相平齐,所述侧墙拉裂滑移坍塌区(3-1)的横截面为直角梯形且其包括上部拉裂区和位于所述上部拉裂区正下方的下部滑移区,所述上部拉裂区的横截面为矩形,所述下部滑移区的横截面为直角三角形且其上部宽度与所述上部拉裂区的宽度相同;每个所述第一侧墙支护单元均包括侧墙深层支护结构和位于所述侧墙深层支护结构正下方的侧墙浅层支护结构;所述侧墙深层支护结构包括一根呈水平布设且对所述上部拉裂区进行支护的侧墙锚索(4),所述侧墙浅层支护结构包括多根由上至下对所述下部滑移区进行支护的第一侧墙锚杆(5),多根所述第一侧墙锚杆(5)呈平行布设且其均由内至外逐渐向下倾斜;

所述第二锚固支护体系包括对所述隧道洞的拱部进行支护的第二隧道拱部支护体系和对所述隧道洞的侧墙进行支护的第二隧道侧墙支护体系,所述第二隧道拱部支护体系和所述第二隧道侧墙支护体系布设于同一隧道横断面上;所述第二隧道侧墙支护体系包括左右两个分别对所述隧道洞的左右侧墙进行支护的第二侧墙支护单元,两个所述第二侧墙支护单元呈对称布设且二者布设在同一隧道横断面上;

所述第二隧道拱部支护体系包括对所述隧道洞的拱部进行浅层支护的隧道拱部浅层支护结构和对所述隧道洞的拱部进行深层支护的隧道拱部深层支护结构,所述隧道拱部浅层支护结构包括多个由左至右布设在所述隧道洞拱部的第二拱部锚杆(7),所述隧道拱部深层支护结构包括多个由左至右布设在所述隧道洞拱部的拱部锚索(8);

每个所述第二侧墙支护单元均为对所述隧道洞侧墙上的侧墙单斜面坍塌区(3-2)进行支护的支护结构,所述侧墙单斜面坍塌区(3-2)的上部与所述隧道洞的侧墙上部相平齐,所述侧墙单斜面坍塌区(3-2)的横截面为三角形;每个所述第二侧墙支护单元均包括多根由

上至下对侧墙单斜面坍塌区(3-2)进行支护的第二侧墙锚杆(13),多根所述第二侧墙锚杆(13)均呈水平布设;

所述第三锚固支护体系包括多根由左至右布设在所述隧道洞拱部的第三拱部锚杆(9),多根所述第三拱部锚杆(9)均布设在同一隧道横断面上;

对所述隧道初期支护结构进行确定时,过程如下:

步骤201、隧道侧墙失稳判断:结合步骤一中所确定的围岩基本力学参数,且根据公式

$$h_{cr} = \frac{2}{\gamma} \left[ \frac{c \sec^2(45^\circ + 0.5\varphi)}{\tan(45^\circ + 0.5\varphi) - \tan\varphi} - \gamma H \right],$$

计算得出隧道侧墙失稳时的临界高度 $h_{cr}$ ;再将计算

得出的临界高度 $h_{cr}$ 与所述隧道洞的侧墙设计高度 $h_3$ 进行比较:当 $h_3 \leq h_{cr}$ 时,判断得出所述隧道洞的隧道侧墙处于稳定状态,并进入步骤202;当 $h_{cr} < h_3 \leq h_{0max}$ 时,判断得出所述隧道洞的隧道侧墙处于拉裂-滑移式剪切破坏状态,并进入步骤203;当 $h_3 > h_{0max}$ 时,判断得出所述隧道洞的隧道侧墙处于单斜面剪切破坏状态,并进入步骤204;

其中, $h_{0max}$ 为当前所施工节段的隧道侧墙处于拉裂-滑移式剪切破坏状态下的上限高度且 $h_{0max} = \frac{4c \tan(45^\circ + 0.5\varphi)}{\gamma}$ ;  $\varphi$ 为当前所施工节段的隧道侧墙围岩岩体的内摩擦角, $c$ 为当前所施工节段的隧道侧墙围岩岩体的粘聚力, $\gamma$ 为当前所施工节段的隧道侧墙围岩岩体的平均容重; $c$ 的单位为Pa, $\gamma$ 的单位为 $N/m^3$ , $h_{cr}$ 、 $h_3$ 和 $h_{0max}$ 的单位均为m;

步骤202、隧道侧墙处于稳定状态下顶板冒落拱矢高确定:结合步骤一中所确定的围岩基本力学参数,且根据公式 $h_5 = \frac{a}{f}$ ,计算得出隧道侧墙处于稳定状态时所形成自然冒落拱(10)的矢高 $h_5$ ;

其中, $a = \frac{B}{2}$ , $f$ 为当前所施工节段上覆岩层的坚固性系数;

步骤203、隧道侧墙处于拉裂-滑移式剪切破坏状态下顶板冒落拱矢高以及侧墙拉裂滑移坍塌区的滑移面倾角、内侧高度、外侧高度与坍塌宽度确定:结合步骤一中所确定的围岩基本力学参数,且根据公式 $h_1 = \frac{a + h_4 \tan(45^\circ - 0.5\varphi)}{f}$ ,计算得出隧道侧墙处于拉裂-滑移式剪切破坏时所形成第一极限冒落拱(11)的矢高 $h_1$ ;其中, $h_4$ 为所述隧道洞的设计开挖高度, $h_2 + h_3 = h_4$ , $h_2$ 为所述隧道洞的拱部设计高度, $h_1$ 、 $h_2$ 和 $h_4$ 的单位均为m;

同时,结合步骤一中所确定的围岩基本力学参数,且根据公式 $\alpha = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi + \psi}{4}$ ,计算得出当前所施工节段的侧墙拉裂滑移坍塌区(3-1)的滑移面倾角 $\alpha$ ;式中, $\psi$ 为当前所施工节段的隧道侧墙围岩岩体的剪胀角;所述侧墙拉裂滑移坍塌区(3-1)的滑移面倾角 $\alpha$ 为侧墙拉裂滑移坍塌区(3-1)中所述下部滑移区的滑移面与水平面之间的夹角;

$$\text{再根据公式 } h_0 = \frac{1.3}{1.65\gamma} \left[ \frac{c}{\cos\alpha(\sin\alpha - \cos\alpha \tan\varphi)} - q \right] + \frac{0.35}{1.65} h_3,$$

$$z = \frac{2}{1.65\gamma} \left[ \frac{c}{\cos\alpha(\sin\alpha - \cos\alpha \tan\varphi)} - q \right] - \frac{0.35}{1.65} h_3 \text{ 和 } b = \left\{ -\frac{0.7}{1.65\gamma} \left[ \frac{c}{\cos\alpha(\sin\alpha - \cos\alpha \tan\varphi)} - q \right] + \frac{0.7}{1.65} h_3 \right\} \cot\alpha,$$

分别计算得出当前所施工节段的侧墙拉裂滑移坍塌区(3-1)的内侧高度 $h_0$ 、外侧高度 $z$ 和坍塌宽度 $b$ , $h_0$ 、 $z$ 和 $b$ 的单位均为 $m$ , $\alpha < 90^\circ$ ;其中, $q$ 为当前所施工节段的上覆岩层作用于隧道侧墙围岩(2)上的均布压力且 $q = \gamma_0(h_1+h_2)$ , $\gamma_0$ 为当前所施工节段的上覆岩层的平均容重, $\gamma_0$ 的单位为 $N/m^3$ ,

所述上部拉裂区的高度为 $z$ 且其宽度为 $b$ ,所述下部滑移区的高度为 $h_0-z$ ;

步骤204、隧道侧墙处于单斜面剪切破坏状态下顶板冒落拱矢高与侧墙单斜面坍塌区的坍塌宽度确定:结合步骤一中所确定的围岩基本力学参数,且根据公式

$$h_6 = \frac{h_4 \cdot \cot(45^\circ - 0.5\varphi) + a}{f},$$

计算得出隧道侧墙处于单斜面剪切破坏状态时所形成第二极限冒落拱(12)的矢高 $h_6$ ;

同时,根据公式 $b1 = \frac{h_0}{\tan\alpha}$ ,计算得出当前所施工节段的侧墙单斜面坍塌区(3-2)的坍塌

宽度 $b1$ ;

所述侧墙单斜面坍塌区(3-2)上部宽度为 $b1$ ;

步骤205、隧道锚固支护体系所采用的支护结构确定:

当步骤201中判断得出所述隧道洞的隧道侧墙处于稳定状态时,根据步骤202中确定的自然冒落拱(10)的矢高 $h_5$ ,对所述第三锚固支护体系所采用的支护结构进行确定;

当步骤201中判断得出所述隧道洞的隧道侧墙处于拉裂-滑移式剪切破坏状态时,根据步骤203中确定的第一极限冒落拱(11)的矢高 $h_1$ ,对所述第一隧道拱部支护体系所采用的支护结构进行确定;同时,根据步骤203中确定的侧墙拉裂滑移坍塌区(3-1)的滑移面倾角 $\alpha$ 、内侧高度 $h_0$ 、外侧高度 $z$ 和坍塌宽度 $b$ ,对所述第一侧墙支护单元中所述侧墙深层支护结构和所述侧墙浅层支护结构所采用的支护结构分别进行确定;

当步骤201中判断得出所述隧道洞的隧道侧墙处于单斜面剪切破坏状态时,根据步骤203中确定的第一极限冒落拱(11)的矢高 $h_1$ ,对所述隧道拱部浅层支护结构所采用的支护结构进行确定;并根据步骤204中确定的第二极限冒落拱(12)的矢高 $h_6$ ,对所述隧道拱部深层支护结构所采用的支护结构进行确定;同时,根据步骤204中确定的坍塌宽度 $b1$ ,对所述第二侧墙支护单元所采用的支护结构进行确定;

步骤三、隧道开挖及隧道初期支护施工:由后向前对当前所施工节段进行开挖,开挖过程中根据步骤二中所确定的所述隧道初期支护结构由后向前对开挖成型的所述隧道洞进行初期支护,并获得施工成型的所述隧道初期支护结构;

步骤四、隧道二次衬砌施工:步骤三中由后向前对开挖成型的所述隧道洞进行初期支护过程中,在施工成型的所述隧道初期支护结构内侧,由后向前对当前所施工节段的隧道二次衬砌进行施工;

步骤五、下一节段施工:重复步骤一至步骤四,对下一节段进行施工;

步骤六、多次重复步骤五,直至完成软岩隧道(1)的全部施工过程。

2.按照权利要求1所述的一种深埋软岩隧道施工方法,其特征在于:步骤一中进行围岩

基本力学参数确定之前,先从当前所施工节段中选取一个节段作为测试段进行开挖;步骤一中进行围岩基本力学参数确定时,从所述测试段取岩样进行室内试验,且所获得的试验结果为开挖后当前所施工节段的围岩基本力学参数。

3.按照权利要求1或2所述的一种深埋软岩隧道施工方法,其特征在于:步骤203中所述第一极限冒落拱(11)和步骤204中所述第二极限冒落拱(12)均为处于极限平衡状态时的冒落拱;

多个所述节段的纵向长度均为10m~50m;

步骤二中前后相邻两个所述隧道锚固支护体系之间的间距为0.8m~1.2m。

4.按照权利要求1或2所述的一种深埋软岩隧道施工方法,其特征在于:步骤205中对所述第三锚固支护体系所采用的支护结构进行确定时,根据步骤202中确定的自然冒落拱(10)的矢高 $h_5$ 对第三拱部锚杆(9)的长度进行确定;多根所述第三拱部锚杆(9)的长度均相同,所述第三拱部锚杆(9)的长度不小于 $L_4$ ,其中 $L_4=l_1+h_5+l_2$ , $l_1=0.1m\sim 15cm$ , $l_2=0.3m\sim 0.4m$ ;

步骤205中对所述第一隧道拱部支护体系所采用的支护结构进行确定时,根据步骤203中确定的第一极限冒落拱(11)的矢高 $h_1$ 对第一拱部锚杆(6)的长度进行确定;多根所述第一拱部锚杆(6)的长度均相同,所述第一拱部锚杆(6)的长度不小于 $L_3$ ,其中 $L_3=l_1+h_1+l_2$ ;

步骤205中对所述隧道拱部浅层支护结构所采用的支护结构进行确定时,根据步骤203中确定的第一极限冒落拱(11)的矢高 $h_1$ 对第二拱部锚杆(7)的长度进行确定;多根所述第二拱部锚杆(7)的长度均相同,所述第二拱部锚杆(7)的长度不小于 $L_3$ ;

步骤205中对所述隧道拱部深层支护结构所采用的支护结构进行确定时,根据步骤204中确定的第二极限冒落拱(12)的矢高 $h_6$ 对拱部锚索(8)的长度进行确定;多个所述拱部锚索(8)的长度均相同,所述拱部锚索(8)的长度不小于 $L_5$ ,其中 $L_5=l_1+h_6+l_2$ 。

5.按照权利要求4所述的一种深埋软岩隧道施工方法,其特征在于:所述第一拱部锚杆(6)和第二拱部锚杆(7)的长度均为 $L_3$ ,所述拱部锚索(8)的长度为 $L_5$ 。

6.按照权利要求1或2所述的一种深埋软岩隧道施工方法,其特征在于:步骤205中对所述侧墙深层支护结构所采用的支护结构进行确定时,根据步骤203中确定的外侧高度 $z$ 对侧墙锚索(4)的布设位置进行确定并使侧墙锚索(4)位于所述上部拉裂区上,根据坍塌宽度 $b$ 对侧墙锚索(4)的长度进行确定并使侧墙锚索(4)的前端伸出至所述上部拉裂区外侧;

对所述侧墙浅层支护结构所采用的支护结构进行确定时,根据滑移面倾角 $\alpha$ 对第一侧墙锚杆(5)的倾斜角度进行确定,根据内侧高度 $h_0$ 和外侧高度 $z$ 和坍塌宽度 $b$ 对第一侧墙锚杆(5)的布设位置进行确定并使多根所述第一侧墙锚杆(5)由上至下布设于所述下部滑移区上,根据坍塌宽度 $b$ 对第一侧墙锚杆(5)的长度进行确定并使每根所述第一侧墙锚杆(5)的前端均伸出至所述下部滑移区外侧。

7.按照权利要求6所述的一种深埋软岩隧道施工方法,其特征在于:根据坍塌宽度 $b$ 对侧墙锚索(4)的长度进行确定时,所述侧墙锚索(4)的长度 $L_1=l_1+L_1+l_2$ ,其中 $l_1=0.1m\sim 15cm$ , $l_2=0.3m\sim 0.4m$ , $L_1\geq 1.5b$ ;

根据坍塌宽度 $b$ 对第一侧墙锚杆(5)的长度进行确定时,所述第一侧墙锚杆(5)的长度 $L_2=l_1+L_2+l_2$ ,其中 $L_2\geq b$ 且 $L_2<L_1$ 。

8.按照权利要求7所述的一种深埋软岩隧道施工方法,其特征在于:所述的 $L_1=3b\sim$

6b,所述的 $L_2=1.5b\sim 3b$ ;

步骤二中所述侧墙浅层支护结构中所包括第一侧墙锚杆(5)的数量为三根,三根所述第一侧墙锚杆(5)呈均匀布设;

步骤二中所述侧墙锚索(4)位于所述上部拉裂区的中部,所述侧墙锚索(4)与所述隧道的侧墙顶部之间的间距为 $\frac{z}{2}$ 。

9.按照权利要求6所述的一种深埋软岩隧道施工方法,其特征在于:根据滑移面倾角 $\alpha$ 对第一侧墙锚杆(5)的倾斜角度进行确定时,第一侧墙锚杆(5)的倾斜角度 $\alpha_1=180^\circ-\alpha-\alpha_0$ , $\alpha_0$ 为第一侧墙锚杆(5)与侧墙拉裂滑移坍塌区(3-1)中所述下部滑移区的滑移面之间的夹角且 $65^\circ\leq\alpha_0\leq 75^\circ$ , $\alpha_1$ 为第一侧墙锚杆(5)与水平面之间的夹角。

10.按照权利要求1或2所述的一种深埋软岩隧道施工方法,其特征在于:步骤205中对所述第二侧墙支护单元所采用的支护结构进行确定时,根据步骤204中确定的坍塌宽度 $b_1$ 对第二侧墙锚杆(13)的长度进行确定;多根所述第二侧墙锚杆(13)的长度均相同,所述第二侧墙锚杆(13)的长度不小于 $L_6$ ,其中 $L_6=l_1+b_1+l_2$ , $l_1=0.1m\sim 15cm$ , $l_2=0.3m\sim 0.4m$ 。

## 一种深埋软岩隧道施工方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于隧道施工技术领域,尤其是涉及一种深埋软岩隧道施工方法。

### 背景技术

[0002] 近年来,随着我国交通事业的飞跃发展,大量深埋山岭隧道将穿越富水高地应力区,施工面临突泥涌水、围岩挤压大变形甚至塌方等严重问题,若支护不及时或方式不当,易导致隧道断面缩小和支护结构失稳,严重影响隧道的快速施工和日后的安全运营。长期以来,众多专家学者对软岩隧道(也称软弱围岩隧道)的围岩变形机制及其支护技术进行了深入研究。何本国等以木寨岭高地应力隧道为工程背景,分析了构造应力场下软岩隧道变形特性、能量积聚、力学响应及塑性区规律;周艺等探讨了不同支护方案下强震区软岩隧道拱顶沉降、周边收敛、地表沉降及结构内力的变化关系;汪波等分析了强震区软岩隧道的大变形特征及其成因机制;张朝强等基于地应力实测结果,分析了软岩隧道开挖期的地应力场分布与围岩变形破坏特征;陈志敏通过对高地应力软岩隧道地应力的现场实测、理论研究与数值模拟,分析了隧道围岩与支护结构相互作用的力学机制;王树仁等分析了乌鞘岭隧道围岩的变形力学机制,提出了刚隙柔层支护技术;李鸿博等通过现场测试,分析了峡口高应力软岩公路隧道围岩变形规律及结构的受力特点,提出了高应力软岩隧道大变形的支护设计对策;邓博团等建立了软岩公路隧道围岩的应变软化本构模型。

[0003] 冒顶片帮是指矿井、隧道、涵洞开挖、衬砌过程中因开挖或支护不当,顶部或侧壁大面积垮塌造成伤害的事故。其中,隧道侧墙(也称隧道帮部、隧道侧壁或隧道边墙)在隧道围岩应力作用下变形、破坏而脱落的现象称为片帮,也称为侧墙病害;隧道顶部垮落称为冒顶。隧道开挖前,侧墙岩体处于三向应力原始稳定状态。隧道开挖后,隧道侧墙岩体所受横向水平应力被解除后变为二向应力状态,其抗压强度显著降低;同时,隧道围岩应力发生重新分布,其周边出现应力集中,侧墙岩体受力增加,当侧墙岩体的原生裂隙在隧道顶板(即隧道上方岩体)与隧道底板(即隧道下方岩体)夹持作用下的损伤积累到一定量值时,隧道侧墙便会失稳,从而出现拉裂-滑移式剪切破坏或单斜面剪切破坏。其中,当侧墙岩体中存在拉裂面时,隧道侧墙便会发生如图2所示的拉裂-滑移式剪切破坏,此时软岩隧道1的隧道侧墙围岩2中发生拉裂-滑移式剪切破坏的区域为侧墙拉裂滑移坍塌区3-1, $q$ 为隧道顶板作用于隧道侧墙围岩2上的均布压力;当侧墙岩体中不存在拉裂面时,隧道侧墙便会发生如图3所示的单斜面剪切破坏,此时软岩隧道1的隧道侧墙围岩2中发生单斜面剪切破坏的区域为侧墙单斜面坍塌区3-2。

[0004] 尽管目前在软岩隧道围岩变形及支护技术方面取得了较多的研究成果,关于软岩隧道塌方和底鼓的研究也较为深入,但对于软岩隧道中常见隧道片帮灾害的研究尚不多见,现场的片帮处治措施仍依赖于施工经验,治理效果也并不理想。尤其是对隧道侧墙失稳的软岩隧道而言,几乎没有可借鉴的施工经验。

[0005] 另外,实践表明普氏冒落拱基本理论在一定程度上反映了客观地压规律,但针对软岩工程尚存在以下不足:第一、缺乏对隧道侧墙(也称隧道帮部)失稳条件的研究;研究表

明,隧道侧墙的稳定性与岩体自身的强度、隧道埋深及隧道开挖高度等因素密切相关:当隧道侧墙岩性及隧道埋深一定时,隧道高度越大,其稳定性越差;反之亦然;因此,对于某一确定的隧道侧墙而言,应存在一个使隧道侧墙失稳的临界高度;第二、缺乏对隧道侧墙不同情况剪切滑动的研究:当隧道侧墙不稳定时,侧墙将发生剪切破坏,如拉裂-滑移式剪切破坏和单斜面剪切破坏。因而,应用普氏冒落拱基本理论计算冒落拱矢高并确定围岩压力时往往存在偏差,这直接影响隧道支护参数确定的准确性。

## 发明内容

[0006] 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,提供一种深埋软岩隧道施工方法,其方法步骤简单、实现方便且使用效果好,根据隧道侧墙失稳判断对隧道锚固支护体系所采用的支护结构进行设计,并能有效控制隧道围岩变形破坏,并且施工成本低。

[0007] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:一种深埋软岩隧道施工方法,其特征在于:沿隧道纵向延伸方向由后向前分多个节段对软岩隧道进行施工,多个所述节段的施工方法均相同;所述软岩隧道为深埋隧道,所述软岩隧道的埋深 $H \geq 2B$ ,其中B为软岩隧道的开挖宽度,H和B的单位均为m;对于任一节段进行施工时,包括以下步骤:

[0008] 步骤一、围岩基本力学参数确定:通过对现场所取岩样进行室内试验,对当前所施工节段的围岩基本力学参数进行测试,并对测试结果进行同步记录;

[0009] 步骤二、隧道初期支护结构确定:所采用的隧道初期支护结构为对开挖成型的隧道洞拱墙进行支护的锚网喷初期支护结构,所述锚网喷初期支护结构为采用锚网喷支护方法施工成型的初期支护结构;所述锚网喷初期支护结构包括多个沿隧道延伸方向由后向前布设在所述隧道洞内的隧道锚固支护体系,多个所述隧道锚固支护体系的结构均相同;

[0010] 所述隧道锚固支护体系为第一锚固支护体系、第二锚固支护体系或第三锚固体系;

[0011] 所述第一锚固支护体系包括对所述隧道洞的拱部进行支护的第一隧道拱部支护体系和对所述隧道洞的侧墙进行支护的第一隧道侧墙支护体系,所述第一隧道拱部支护体系和所述第一隧道侧墙支护体系布设于同一隧道横断面上;所述第一隧道侧墙支护体系包括左右两个分别对所述隧道洞的左右侧墙进行支护的第一侧墙支护单元,两个所述第一侧墙支护单元呈对称布设且二者布设在同一隧道横断面上;

[0012] 所述第一隧道拱部支护体系包括多个由左至右布设在所述隧道洞拱部的第一拱部锚杆;

[0013] 每个所述第一侧墙支护单元均为对所述隧道洞侧墙上的侧墙拉裂滑移坍塌区进行支护的非对称式支护结构,所述侧墙拉裂滑移坍塌区的上部与所述隧道洞的侧墙上部相平齐,所述侧墙拉裂滑移坍塌区的横截面为直角梯形且其包括上部拉裂区和位于所述上部拉裂区正下方的下部滑移区,所述上部拉裂区的横截面为矩形,所述下部滑移区的横截面为直角三角形且其上部宽度与所述上部拉裂区的宽度相同;每个所述第一侧墙支护单元均包括侧墙深层支护结构和位于所述侧墙深层支护结构正下方的侧墙浅层支护结构;所述侧墙深层支护结构包括一根呈水平布设且对所述上部拉裂区进行支护的侧墙锚索,所述侧墙浅层支护结构包括多根由上至下对所述下部滑移区进行支护的第一侧墙锚杆,多根所述第



一侧墙锚杆呈平行布设且其均由内至外逐渐向下倾斜；

[0014] 所述第二锚固支护体系包括对所述隧道洞的拱部进行支护的第二隧道拱部支护体系和对所述隧道洞的侧墙进行支护的第二隧道侧墙支护体系，所述第二隧道拱部支护体系和所述第二隧道侧墙支护体系布设于同一隧道横断面上；所述第二隧道侧墙支护体系包括左右两个分别对所述隧道洞的左右侧墙进行支护的第二侧墙支护单元，两个所述第二侧墙支护单元呈对称布设且二者布设在同一隧道横断面上；

[0015] 所述第二隧道拱部支护体系包括对所述隧道洞的拱部进行浅层支护的隧道拱部浅层支护结构和对所述隧道洞的拱部进行深层支护的隧道拱部深层支护结构，所述隧道拱部浅层支护结构包括多个由左至右布设在所述隧道洞拱部的第二拱部锚杆，所述隧道拱部深层支护结构包括多个由左至右布设在所述隧道洞拱部的拱部锚索；

[0016] 每个所述第二侧墙支护单元均为对所述隧道洞侧墙上的侧墙单斜面坍塌区进行支护的支护结构，所述侧墙单斜面坍塌区的上部与所述隧道洞的侧墙上部相平齐，所述侧墙单斜面坍塌区的横截面为三角形；每个所述第二侧墙支护单元均包括多根由上至下对侧墙单斜面坍塌区进行支护的第二侧墙锚杆，多根所述第二侧墙锚杆均呈水平布设；

[0017] 所述第三锚固支护体系包括多根由左至右布设在所述隧道洞拱部的第三拱部锚杆，多根所述第三拱部锚杆均布设在同一隧道横断面上；

[0018] 对所述隧道初期支护结构进行确定时，过程如下：

[0019] 步骤201、隧道侧墙失稳判断：结合步骤一中所确定的围岩基本力学参数，且根据

公式 
$$h_{cr} = \frac{2}{\gamma} \left[ \frac{c \sec^2(45^\circ + 0.5\varphi)}{\tan(45^\circ + 0.5\varphi) - \tan\varphi} - \gamma H \right]$$
，计算得出隧道侧墙失稳时的临界高度  $h_{cr}$ ；再将

计算得出的临界高度  $h_{cr}$  与所述隧道洞的侧墙设计高度  $h_3$  进行比较：当  $h_3 \leq h_{cr}$  时，判断得出所述隧道洞的隧道侧墙处于稳定状态，并进入步骤202；当  $h_{cr} < h_3 \leq h_{0max}$  时，判断得出所述隧道洞的隧道侧墙处于拉裂-滑移式剪切破坏状态，并进入步骤203；当  $h_3 > h_{0max}$  时，判断得出所述隧道洞的隧道侧墙处于单斜面剪切破坏状态，并进入步骤204；

[0020] 其中， $h_{0max}$  为当前所施工节段的隧道侧墙处于拉裂-滑移式剪切破坏状态下的上限高度且  $h_{0max} = \frac{4c \tan(45^\circ + 0.5\varphi)}{\gamma}$ ； $\varphi$  为当前所施工节段的隧道侧墙围岩岩体的内摩擦角， $c$

为当前所施工节段的隧道侧墙围岩岩体的粘聚力， $\gamma$  为当前所施工节段的隧道侧墙围岩岩体的平均容重； $c$  的单位为 Pa， $\gamma$  的单位为  $N/m^3$ ， $h_{cr}$ 、 $h_3$  和  $h_{0max}$  的单位均为 m；

[0021] 步骤202、隧道侧墙处于稳定状态下顶板冒落拱矢高确定：结合步骤一中所确定的围岩基本力学参数，且根据公式  $h_5 = \frac{a}{f}$ ，计算得出隧道侧墙处于稳定状态时所形成自然冒落拱的矢高  $h_5$ ；

[0022] 其中， $a = \frac{B}{2}$ ， $f$  为当前所施工节段上覆岩层的坚固性系数；

[0023] 步骤203、隧道侧墙处于拉裂-滑移式剪切破坏状态下顶板冒落拱矢高以及侧墙拉裂滑移坍塌区的滑移面倾角、内侧高度、外侧高度与坍塌宽度确定：结合步骤一中所确定的

围岩基本力学参数,且根据公式  $h_1 = \frac{a + h_4 \tan(45^\circ - 0.5\varphi)}{f}$ , 计算得出隧道侧墙处于拉裂-滑移式剪切破坏时所形成第一极限冒落拱的矢高  $h_1$ ; 其中,  $h_4$  为所述隧道洞的设计开挖高度,  $h_2 + h_3 = h_4$ ,  $h_2$  为所述隧道洞的拱部设计高度,  $h_1$ 、 $h_2$  和  $h_4$  的单位均为 m;

[0024] 同时, 结合步骤一中所确定的围岩基本力学参数, 且根据公式  $\alpha = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi + \psi}{4}$ , 计算得出当前所施工节段的侧墙拉裂滑移坍塌区的滑移面倾角  $\alpha$ ; 式中,  $\psi$  为当前所施工节段的隧道侧墙围岩岩体的剪胀角; 所述侧墙拉裂滑移坍塌区的滑移面倾角  $\alpha$  为侧墙拉裂滑移坍塌区中所述下部滑移区的滑移面与水平面之间的夹角;

[0025] 再根据公式  $h_0 = \frac{1.3}{1.65\gamma} \left[ \frac{c}{\cos\alpha(\sin\alpha - \cos\alpha \tan\varphi)} - q \right] + \frac{0.35}{1.65} h_3$ ,  
 $z = \frac{2}{1.65\gamma} \left[ \frac{c}{\cos\alpha(\sin\alpha - \cos\alpha \tan\varphi)} - q \right] - \frac{0.35}{1.65} h_3$  和  $b = \left\{ -\frac{0.7}{1.65\gamma} \left[ \frac{c}{\cos\alpha(\sin\alpha - \cos\alpha \tan\varphi)} - q \right] + \frac{0.7}{1.65} h_3 \right\} \cot\alpha$ ,

分别计算得出当前所施工节段的侧墙拉裂滑移坍塌区的内侧高度  $h_0$ 、外侧高度  $z$  和坍塌宽度  $b$ ,  $h_0$ 、 $z$  和  $b$  的单位均为 m,  $\alpha < 90^\circ$ ; 其中,  $q$  为当前所施工节段的上覆岩层作用于隧道侧墙围岩上的均布压力且  $q = \gamma_0(h_1 + h_2)$ ,  $\gamma_0$  为当前所施工节段的上覆岩层的平均容重,  $\gamma_0$  的单位为  $N/m^3$ ,

[0026] 所述上部拉裂区的高度为  $z$  且其宽度为  $b$ , 所述下部滑移区的高度为  $h_0 - z$ ;

[0027] 步骤204、隧道侧墙处于单斜面剪切破坏状态下顶板冒落拱矢高与侧墙单斜面坍塌区的坍塌宽度确定: 结合步骤一中所确定的围岩基本力学参数, 且根据公式

$h_6 = \frac{h_4 \cdot \cot(45^\circ - 0.5\varphi) + a}{f}$ , 计算得出隧道侧墙处于单斜面剪切破坏状态时所形成第二极限

冒落拱的矢高  $h_6$ ;

[0028] 同时, 根据公式  $b1 = \frac{h_0}{\tan\alpha}$ , 计算得出当前所施工节段的侧墙单斜面坍塌区的坍塌宽度  $b1$ ;

[0029] 所述侧墙单斜面坍塌区上部宽度为  $b1$ ;

[0030] 步骤205、隧道锚固支护体系所采用的支护结构确定:

[0031] 当步骤201中判断得出所述隧道洞的隧道侧墙处于稳定状态时, 根据步骤202中确定的自然冒落拱的矢高  $h_5$ , 对所述第三锚固支护体系所采用的支护结构进行确定;

[0032] 当步骤201中判断得出所述隧道洞的隧道侧墙处于拉裂-滑移式剪切破坏状态时, 根据步骤203中确定的第一极限冒落拱的矢高  $h_1$ , 对所述第一隧道拱部支护体系所采用的支护结构进行确定; 同时, 根据步骤203中确定的侧墙拉裂滑移坍塌区的滑移面倾角  $\alpha$ 、内侧高度  $h_0$ 、外侧高度  $z$  和坍塌宽度  $b$ , 对所述第一侧墙支护单元中所述侧墙深层支护结构和所述侧墙浅层支护结构所采用的支护结构分别进行确定;

[0033] 当步骤201中判断得出所述隧道洞的隧道侧墙处于单斜面剪切破坏状态时, 根据步骤203中确定的第一极限冒落拱的矢高  $h_1$ , 对所述隧道拱部浅层支护结构所采用的支护结构进行确定; 并根据步骤204中确定的第二极限冒落拱的矢高  $h_6$ , 对所述隧道拱部深层支

护结构所采用的支护结构进行确定;同时,根据步骤204中确定的坍塌宽度 $b_1$ ,对所述第二侧墙支护单元所采用的支护结构进行确定;

[0034] 步骤三、隧道开挖及隧道初期支护施工:由后向前对当前所施工节段进行开挖,开挖过程中根据步骤二中所确定的所述隧道初期支护结构由后向前对开挖成型的所述隧道洞进行初期支护,并获得施工成型的所述隧道初期支护结构;

[0035] 步骤四、隧道二次衬砌施工:步骤三中由后向前对开挖成型的所述隧道洞进行初期支护过程中,在施工成型的所述隧道初期支护结构内侧,由后向前对当前所施工节段的隧道二次衬砌进行施工;

[0036] 步骤五、下一节段施工:重复步骤一至步骤四,对下一节段进行施工;

[0037] 步骤六、多次重复步骤五,直至完成软岩隧道的全部施工过程。

[0038] 上述一种深埋软岩隧道施工方法,其特征是:步骤一中进行围岩基本力学参数确定之前,先从当前所施工节段中选取一个节段作为测试段进行开挖;步骤一中进行围岩基本力学参数确定时,从所述测试段取岩样进行室内试验,且所获得的试验结果为开挖后当前所施工节段的围岩基本力学参数。

[0039] 上述一种深埋软岩隧道施工方法,其特征是:步骤203中所述第一极限冒落拱和步骤204中所述第二极限冒落拱均为处于极限平衡状态时的冒落拱;

[0040] 多个所述节段的纵向长度均为10m~50m;

[0041] 步骤二中前后相邻两个所述隧道锚固支护体系之间的间距为0.8m~1.2m。

[0042] 上述一种深埋软岩隧道施工方法,其特征是:步骤205中对所述第三锚固支护体系所采用的支护结构进行确定时,根据步骤202中确定的自然冒落拱的矢高 $h_5$ 对第三拱部锚杆的长度进行确定;多根所述第三拱部锚杆的长度均相同,所述第三拱部锚杆的长度不小于 $L_4$ ,其中 $L_4 = l_1 + h_5 + l_2$ , $l_1 = 0.1\text{m} \sim 15\text{cm}$ , $l_2 = 0.3\text{m} \sim 0.4\text{m}$ ;

[0043] 步骤205中对所述第一隧道拱部支护体系所采用的支护结构进行确定时,根据步骤203中确定的第一极限冒落拱的矢高 $h_1$ 对第一拱部锚杆的长度进行确定;多根所述第一拱部锚杆的长度均相同,所述第一拱部锚杆的长度不小于 $L_3$ ,其中 $L_3 = l_1 + h_1 + l_2$ ;

[0044] 步骤205中对所述隧道拱部浅层支护结构所采用的支护结构进行确定时,根据步骤203中确定的第一极限冒落拱的矢高 $h_1$ 对第二拱部锚杆的长度进行确定;多根所述第二拱部锚杆的长度均相同,所述第二拱部锚杆的长度不小于 $L_3$ ;

[0045] 步骤205中对所述隧道拱部深层支护结构所采用的支护结构进行确定时,根据步骤204中确定的第二极限冒落拱的矢高 $h_6$ 对拱部锚索的长度进行确定;多个所述拱部锚索的长度均相同,所述拱部锚索的长度不小于 $L_5$ ,其中 $L_5 = l_1 + h_6 + l_2$ 。

[0046] 上述一种深埋软岩隧道施工方法,其特征是:所述第一拱部锚杆和第二拱部锚杆的长度均为 $L_3$ ,所述拱部锚索的长度为 $L_5$ 。

[0047] 上述一种深埋软岩隧道施工方法,其特征是:步骤205中对所述侧墙深层支护结构所采用的支护结构进行确定时,根据步骤203中确定的外侧高度 $z$ 对侧墙锚索的布设位置进行确定并使侧墙锚索位于所述上部拉裂区上,根据坍塌宽度 $b$ 对侧墙锚索的长度进行确定并使侧墙锚索的前端伸出至所述上部拉裂区外侧;

[0048] 对所述侧墙浅层支护结构所采用的支护结构进行确定时,根据滑移面倾角 $\alpha$ 对第一侧墙锚杆的倾斜角度进行确定,根据内侧高度 $h_0$ 和外侧高度 $z$ 和坍塌宽度 $b$ 对第一侧墙锚

杆的布置位置进行确定并使多根所述第一侧墙锚杆由上至下布置于所述下部滑移区上,根据坍塌宽度 $b$ 对第一侧墙锚杆的长度进行确定并使每根所述第一侧墙锚杆的前端均伸出至所述下部滑移区外侧。

[0049] 上述一种深埋软岩隧道施工方法,其特征是:根据坍塌宽度 $b$ 对侧墙锚索的长度进行确定时,所述侧墙锚索的长度 $L_1=l_1+L_1+l_2$ ,其中 $l_1=0.1\text{m}\sim 15\text{cm}$ , $l_2=0.3\text{m}\sim 0.4\text{m}$ , $L_1\geq 1.5b$ ;

[0050] 根据坍塌宽度 $b$ 对第一侧墙锚杆的长度进行确定时,所述第一侧墙锚杆的长度 $L_2=l_1+L_2+l_2$ ,其中 $L_2\geq b$ 且 $L_2<L_1$ 。

[0051] 上述一种深埋软岩隧道施工方法,其特征是:所述的 $L_1=3b\sim 6b$ ,所述的 $L_2=1.5b\sim 3b$ ;

[0052] 步骤二中所述侧墙浅层支护结构中所包括第一侧墙锚杆的数量为三根,三根所述第一侧墙锚杆呈均匀布置;

[0053] 步骤二中所述侧墙锚索位于所述上部拉裂区的中部,所述侧墙锚索与所述隧道洞的侧墙顶部之间的间距为 $\frac{z}{2}$ 。

[0054] 上述一种深埋软岩隧道施工方法,其特征是:根据滑移面倾角 $\alpha$ 对第一侧墙锚杆的倾斜角度进行确定时,第一侧墙锚杆的倾斜角度 $\alpha_1=180^\circ-\alpha-\alpha_0$ , $\alpha_0$ 为第一侧墙锚杆与侧墙拉裂滑移坍塌区中所述下部滑移区的滑移面之间的夹角且 $65^\circ\leq\alpha_0\leq 75^\circ$ , $\alpha_1$ 为第一侧墙锚杆与水平面之间的夹角。

[0055] 上述一种深埋软岩隧道施工方法,其特征是:步骤205中对所述第二侧墙支护单元所采用的支护结构进行确定时,根据步骤204中确定的坍塌宽度 $b_1$ 对第二侧墙锚杆的长度进行确定;多根所述第二侧墙锚杆的长度均相同,所述第二侧墙锚杆的长度不小于 $L_6$ ,其中 $L_6=l_1+b_1+l_2$ , $l_1=0.1\text{m}\sim 15\text{cm}$ , $l_2=0.3\text{m}\sim 0.4\text{m}$ 。

[0056] 本发明与现有技术相比具有以下优点:

[0057] 1、施工方法步骤简单、实现方便且投入成本低。

[0058] 2、设计合理且实现方便,通过合理设计对隧道洞拱墙进行支护的隧道锚固支护体系所采用的支护结构,对软岩隧道进行有效的加固,能有效解决软岩隧道的围岩变形问题。

[0059] 3、隧道拱部所采用的支护结构设计合理且实现方便,能对软岩隧道拱部进行有效加固,并能有效解决因应用普氏冒落拱基本理论计算冒落拱高度并确定围岩压力时存在偏差使隧道支护参数准确性低的问题,首先对隧道侧墙失稳进行判断,并根据隧道侧墙失稳判断结果,选取对应的隧道拱部支护方案;并且,确定隧道拱部支护方案时,考虑隧道侧墙单斜面剪切滑动和隧道侧墙拉裂-滑移式剪切滑动,因而能有效确保隧道拱部支护的有效性和稳定性。也就是说,根据隧道侧墙失稳判断结果,所采用的隧道拱部支护方案有所区别,在满足支护稳定、可靠且安全的前提下,达到节约成本的目的。

[0060] 其中,当隧道侧墙处于稳定状态下,隧道拱部采用锚杆支护结构,且无需对隧道侧墙进行支护;当隧道帮部处于不稳定状态下且处于隧道侧墙拉裂-滑移式剪切破坏状态时,隧道拱部采用锚杆支护结构,此时需同步对隧道侧墙进行支护,并根据隧道侧墙处于不稳定状态下隧道冒落拱矢高对隧道拱部支护结构进行确定;当隧道帮部处于不稳定状态下且处于单斜面剪切破坏状态时,隧道拱部采用锚杆与锚索联合支护结构,此时需同步对隧道

侧墙进行支护,并根据隧道侧墙处于不稳定状态下隧道冒落拱矢高对隧道拱部支护结构进行确定,具有经济、投入施工成本较低、安全可靠等优点,因而能为矿山正常生产提供有力保障。

[0061] 4、隧道侧墙支护结构设计合理且实现方便,隧道侧墙处于不稳定状态时,对隧道侧墙所处的不稳定状态进行分析,判断出隧道侧墙处于拉裂-滑移式剪切破坏状态,还是单斜面剪切破坏状态进行判断,并根据判断结果对隧道侧墙支护结构进行确定。

[0062] 其中,当隧道侧墙处于拉裂-滑移式剪切破坏状态时,隧道侧墙支护结构采用隧道侧墙非对称式支护结构,隧道侧墙非对称式支护结构中每个侧墙支护单元均采用上下非对称式支护结构,确定支护方案时,考虑隧道侧墙的拉裂-滑移式剪切滑动,并根据侧墙坍塌区的滑移面倾角 $\alpha$ 、内侧高度 $h_0$ 、外侧高度 $z$ 和坍塌宽度 $b$ 进行确定,能对处于拉裂-滑移式剪切滑动状态的隧道侧墙进行有效加固,因而能有效确保隧道侧墙支护的有效性和稳定性,这样在满足支护稳定、可靠且安全的前提下,达到节约成本的目的,具有经济、投入施工成本较低、安全可靠等优点,因而能为软岩隧道安全施工提供有力保障,采用隧道侧墙非对称式支护结构对隧道侧墙进行有效支护,并能有效控制隧道侧墙围岩变形破坏,对隧道侧墙进行有效加固。

[0063] 当隧道侧墙处于单斜面剪切破坏状态时,根据隧道侧墙处于单斜面剪切破坏状态下顶板冒落拱矢高与侧墙单斜面坍塌区的坍塌宽度,对隧道侧墙所采用的支护结构进行确定,这样在满足支护稳定、可靠且安全的前提下,达到节约成本的目的。

[0064] 5、使用效果好,能有效控制隧道围岩变形破坏,能对软岩隧道进行有效加固,并且施工成本低。

[0065] 综上所述,本发明方法步骤简单、实现方便且使用效果好,根据隧道侧墙失稳判断对隧道锚固支护体系所采用的支护结构进行设计,并能有效控制隧道围岩变形破坏,并且施工成本低。

[0066] 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

[0067] 图1为本发明的方法流程框图。

[0068] 图2为本发明所建立隧道侧墙发生拉裂-滑移式剪切破坏时的巷帮力学计算模型的结构示意图。

[0069] 图3为本发明所建立隧道侧墙发生单斜面剪切破坏时的巷帮力学计算模型的结构示意图。

[0070] 图4为本发明第一锚固支护体系的结构示意图。

[0071] 图5为本发明第二锚固支护体系的结构示意图。

[0072] 图6为本发明第三锚固支护体系的结构示意图。

[0073] 附图标记说明:

[0074] 1—软岩隧道; 2—隧道侧墙围岩;

[0075] 3-1—侧墙拉裂滑移坍塌区; 3-2—侧墙单斜面坍塌区;

[0076] 4—侧墙锚索; 5—第一侧墙锚杆; 6—第一拱部锚杆;

[0077] 7—第二拱部锚杆; 8—拱部锚索; 9—第三拱部锚杆;

- [0078] 10—自然冒落拱； 11—第一极限冒落拱；  
[0079] 12—第二极限冒落拱； 13—第二侧墙锚杆。

### 具体实施方式

[0080] 如图1所示的一种深埋软岩隧道施工方法,沿隧道纵向延伸方向由后向前分多个节段对软岩隧道1进行施工,多个所述节段的施工方法均相同;所述软岩隧道1为深埋隧道,所述软岩隧道1的埋深 $H \geq 2B$ ,其中B为软岩隧道1的开挖宽度,H和B的单位均为m;对于任一节段进行施工时,包括以下步骤:

[0081] 步骤一、围岩基本力学参数确定:通过对现场所取岩样进行室内试验,对当前所施工节段的围岩基本力学参数进行测试,并对测试结果进行同步记录;

[0082] 步骤二、隧道初期支护结构确定:所采用的隧道初期支护结构为对开挖成型的隧道洞拱墙进行支护的锚网喷初期支护结构,所述锚网喷初期支护结构为采用锚网喷支护方法施工成型的初期支护结构;所述锚网喷初期支护结构包括多个沿隧道延伸方向由后向前布设在所述隧道洞内的隧道锚固支护体系,多个所述隧道锚固支护体系的结构均相同;

[0083] 所述隧道锚固支护体系为第一锚固支护体系、第二锚固支护体系或第三锚固体系;

[0084] 如图4所示,所述第一锚固支护体系包括对所述隧道洞的拱部进行支护的第一隧道拱部支护体系和对所述隧道洞的侧墙进行支护的第一隧道侧墙支护体系,所述第一隧道拱部支护体系和所述第一隧道侧墙支护体系布设于同一隧道横断面上;所述第一隧道侧墙支护体系包括左右两个分别对所述隧道洞的左右侧墙进行支护的第一侧墙支护单元,两个所述第一侧墙支护单元呈对称布设且二者布设在同一隧道横断面上;

[0085] 所述第一隧道拱部支护体系包括多个由左至右布设在所述隧道洞拱部的第一拱部锚杆6;

[0086] 每个所述第一侧墙支护单元均为对所述隧道洞侧墙上的侧墙拉裂转移坍塌区3-1进行支护的非对称式支护结构,所述侧墙拉裂转移坍塌区3-1的上部与所述隧道洞的侧墙上部相平齐,所述侧墙拉裂转移坍塌区3-1的横截面为直角梯形且其包括上部拉裂区和位于所述上部拉裂区正下方的下部转移区,所述上部拉裂区的横截面为矩形,所述下部转移区的横截面为直角三角形且其上部宽度与所述上部拉裂区的宽度相同;每个所述第一侧墙支护单元均包括侧墙深层支护结构和位于所述侧墙深层支护结构正下方的侧墙浅层支护结构;所述侧墙深层支护结构包括一根呈水平布设且对所述上部拉裂区进行支护的侧墙锚索4,所述侧墙浅层支护结构包括多根由上至下对所述下部转移区进行支护的第一侧墙锚杆5,多根所述第一侧墙锚杆5呈平行布设且其均由内至外逐渐向下倾斜;

[0087] 如图5所示,所述第二锚固支护体系包括对所述隧道洞的拱部进行支护的第二隧道拱部支护体系和对所述隧道洞的侧墙进行支护的第二隧道侧墙支护体系,所述第二隧道拱部支护体系和所述第二隧道侧墙支护体系布设于同一隧道横断面上;所述第二隧道侧墙支护体系包括左右两个分别对所述隧道洞的左右侧墙进行支护的第二侧墙支护单元,两个所述第二侧墙支护单元呈对称布设且二者布设在同一隧道横断面上;

[0088] 所述第二隧道拱部支护体系包括对所述隧道洞的拱部进行浅层支护的隧道拱部浅层支护结构和对所述隧道洞的拱部进行深层支护的隧道拱部深层支护结构,所述隧道拱

部浅层支护结构包括多个由左至右布设在所述隧道洞拱部的第二拱部锚杆7,所述隧道拱部深层支护结构包括多个由左至右布设在所述隧道洞拱部的拱部锚索8;

[0089] 每个所述第二侧墙支护单元均为对所述隧道洞侧墙上的侧墙单斜面坍塌区3-2进行支护的支护结构,所述侧墙单斜面坍塌区3-2的上部与所述隧道洞的侧墙上部相平齐,所述侧墙单斜面坍塌区3-2的横截面为三角形;每个所述第二侧墙支护单元均包括多根由上至下对侧墙单斜面坍塌区3-2进行支护的第二侧墙锚杆13,多根所述第二侧墙锚杆13均呈水平布设;

[0090] 如图6所示,所述第三锚固支护体系包括多根由左至右布设在所述隧道洞拱部的第三拱部锚杆9,多根所述第三拱部锚杆9均布设在同一隧道横断面上;

[0091] 对所述隧道初期支护结构进行确定时,过程如下:

[0092] 步骤201、隧道侧墙失稳判断:结合步骤一中所确定的围岩基本力学参数,且根据

公式 
$$h_{cr} = \frac{2}{\gamma} \left[ \frac{c \sec^2(45^\circ + 0.5\varphi)}{\tan(45^\circ + 0.5\varphi) - \tan\varphi} - \gamma H \right]$$
, 计算得出隧道侧墙失稳时的临界高度 $h_{cr}$ ;再将

计算得出的临界高度 $h_{cr}$ 与所述隧道洞的侧墙设计高度 $h_3$ 进行比较:当 $h_3 \leq h_{cr}$ 时,判断得出所述隧道洞的隧道侧墙处于稳定状态,并进入步骤202;当 $h_{cr} < h_3 \leq h_{0max}$ 时,判断得出所述隧道洞的隧道侧墙处于拉裂-滑移式剪切破坏状态,并进入步骤203;当 $h_3 > h_{0max}$ 时,判断得出所述隧道洞的隧道侧墙处于单斜面剪切破坏状态,并进入步骤204;

[0093] 其中, $h_{0max}$ 为当前所施工节段的隧道侧墙处于拉裂-滑移式剪切破坏状态下的上限高度且 $h_{0max} = \frac{4c \tan(45^\circ + 0.5\varphi)}{\gamma}$ ;  $\varphi$ 为当前所施工节段的隧道侧墙围岩岩体的内摩擦角, $c$

为当前所施工节段的隧道侧墙围岩岩体的粘聚力, $\gamma$ 为当前所施工节段的隧道侧墙围岩岩体的平均容重; $c$ 的单位为Pa, $\gamma$ 的单位为 $N/m^3$ , $h_{cr}$ 、 $h_3$ 和 $h_{0max}$ 的单位均为m;

[0094] 步骤202、隧道侧墙处于稳定状态下顶板冒落拱矢高确定:结合步骤一中所确定的围岩基本力学参数,且根据公式 $h_5 = \frac{a}{f}$ ,计算得出隧道侧墙处于稳定状态时所形成自然冒落拱10的矢高 $h_5$ ;

[0095] 其中, $a = \frac{B}{2}$ , $f$ 为当前所施工节段上覆岩层的坚固性系数;

[0096] 步骤203、隧道侧墙处于拉裂-滑移式剪切破坏状态下顶板冒落拱矢高以及侧墙拉裂滑移坍塌区的滑移面倾角、内侧高度、外侧高度与坍塌宽度确定:结合步骤一中所确定的

围岩基本力学参数,且根据公式 $h_1 = \frac{a + h_4 \tan(45^\circ - 0.5\varphi)}{f}$ ,计算得出隧道侧墙处于拉裂-滑

移式剪切破坏时所形成第一极限冒落拱11的矢高 $h_1$ ;其中, $h_4$ 为所述隧道洞的设计开挖高度, $h_2 + h_3 = h_4$ , $h_2$ 为所述隧道洞的拱部设计高度, $h_1$ 、 $h_2$ 和 $h_4$ 的单位均为m;

[0097] 同时,结合步骤一中所确定的围岩基本力学参数,且根据公式 $\alpha = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi + \psi}{4}$ ,计算得出当前所施工节段的侧墙拉裂滑移坍塌区3-1的滑移面倾角 $\alpha$ ;式中, $\psi$ 为当前所施工节段的隧道侧墙围岩岩体的剪胀角;所述侧墙拉裂滑移坍塌区3-1的滑移面倾角 $\alpha$ 为侧墙拉裂滑

移坍塌区3-1中所述下部滑移区的滑移面与水平面之间的夹角；

$$[0098] \quad \text{再根据公式 } h_0 = \frac{1.3}{1.65\gamma} \left[ \frac{c}{\cos\alpha(\sin\alpha - \cos\alpha \tan\varphi)} - q \right] + \frac{0.35}{1.65} h_3,$$

$$z = \frac{2}{1.65\gamma} \left[ \frac{c}{\cos\alpha(\sin\alpha - \cos\alpha \tan\varphi)} - q \right] - \frac{0.35}{1.65} h_3 \quad \text{和} \quad b = \left\{ -\frac{0.7}{1.65\gamma} \left[ \frac{c}{\cos\alpha(\sin\alpha - \cos\alpha \tan\varphi)} - q \right] + \frac{0.7}{1.65} h_3 \right\} \cot\alpha,$$

分别计算得出当前所施工节段的侧墙拉裂滑移坍塌区3-1的内侧高度 $h_0$ 、外侧高度 $z$ 和坍塌宽度 $b$ ， $h_0$ 、 $z$ 和 $b$ 的单位均为 $m$ ， $\alpha < 90^\circ$ ；其中， $q$ 为当前所施工节段的上覆岩层作用于隧道侧墙围岩2上的均布压力且 $q = \gamma_0(h_1 + h_2)$ ， $\gamma_0$ 为当前所施工节段的上覆岩层的平均容重， $\gamma_0$ 的单位为 $N/m^3$ ，

[0099] 所述上部拉裂区的高度为 $z$ 且其宽度为 $b$ ，所述下部滑移区的高度为 $h_0 - z$ ；

[0100] 步骤204、隧道侧墙处于单斜面剪切破坏状态下顶板冒落拱矢高与侧墙单斜面坍塌区的坍塌宽度确定：结合步骤一中所确定的围岩基本力学参数，且根据公式

$$h_6 = \frac{h_4 \cdot \cot(45^\circ - 0.5\varphi) + a}{f},$$

计算得出隧道侧墙处于单斜面剪切破坏状态时所形成第二极限

冒落拱12的矢高 $h_6$ ；

[0101] 同时，根据公式 $b1 = \frac{h_0}{\tan\alpha}$ ，计算得出当前所施工节段的侧墙单斜面坍塌区3-2的

坍塌宽度 $b1$ ；

[0102] 所述侧墙单斜面坍塌区3-2上部宽度为 $b1$ ；

[0103] 步骤205、隧道锚固支护体系所采用的支护结构确定：

[0104] 当步骤201中判断得出所述隧道洞的隧道侧墙处于稳定状态时，根据步骤202中确定的自然冒落拱10的矢高 $h_5$ ，对所述第三锚固支护体系所采用的支护结构进行确定；

[0105] 当步骤201中判断得出所述隧道洞的隧道侧墙处于拉裂-滑移式剪切破坏状态时，根据步骤203中确定的第一极限冒落拱11的矢高 $h_1$ ，对所述第一隧道拱部支护体系所采用的支护结构进行确定；同时，根据步骤203中确定的侧墙拉裂滑移坍塌区3-1的滑移面倾角 $\alpha$ 、内侧高度 $h_0$ 、外侧高度 $z$ 和坍塌宽度 $b$ ，对所述第一侧墙支护单元中所述侧墙深层支护结构和所述侧墙浅层支护结构所采用的支护结构分别进行确定；

[0106] 当步骤201中判断得出所述隧道洞的隧道侧墙处于单斜面剪切破坏状态时，根据步骤203中确定的第一极限冒落拱11的矢高 $h_1$ ，对所述隧道拱部浅层支护结构所采用的支护结构进行确定；并根据步骤204中确定的第二极限冒落拱12的矢高 $h_6$ ，对所述隧道拱部深层支护结构所采用的支护结构进行确定；同时，根据步骤204中确定的坍塌宽度 $b1$ ，对所述第二侧墙支护单元所采用的支护结构进行确定；

[0107] 步骤三、隧道开挖及隧道初期支护施工：由后向前对当前所施工节段进行开挖，开挖过程中根据步骤二中所确定的所述隧道初期支护结构由后向前对开挖成型的所述隧道洞进行初期支护，并获得施工成型的所述隧道初期支护结构；

[0108] 步骤四、隧道二次衬砌施工：步骤三中由后向前对开挖成型的所述隧道洞进行初期支护过程中，在施工成型的所述隧道初期支护结构内侧，由后向前对当前所施工节段的隧道二次衬砌进行施工；



- [0109] 步骤五、下一节段施工:重复步骤一至步骤四,对下一节段进行施工;
- [0110] 步骤六、多次重复步骤五,直至完成软岩隧道1的全部施工过程。
- [0111] 其中,a为隧道半宽。所述拱墙包括所述隧道洞的拱部和左右两侧隧道边墙。
- [0112] 本实施例中,步骤三中对当前所施工节段进行开挖时,采用全断面开挖法或台阶法进行开挖。
- [0113] 并且,所采用的全断面开挖法或台阶法,均为常规的隧道开挖方法。
- [0114] 本实施例中,所述锚网喷初期支护结构还包括一层挂装在所述隧道洞拱墙上的钢筋网和一层喷射在所述隧道洞拱墙上的混凝土喷射层,所述钢筋网固定于所述混凝土喷射层内。
- [0115] 本实施例中,所述混凝土层为钢纤维混凝土层且其层厚为20cm~30cm。
- [0116] 步骤三中对所述锚网喷初期支护结构进行施工时,所采用的施工方法为常规的施工方法。
- [0117] 本实施例中,所述混凝土层为钢纤维混凝土层且其层厚为20cm~30cm。
- [0118] 本实施例中,多个所述节段的纵向长度均为10m~50m。
- [0119] 实际施工时,可根据具体需要,对所述节段的纵向长度进行相应调整。
- [0120] 本实施例中,步骤一中进行围岩基本力学参数确定之前,先从当前所施工节段中选取一个节段作为测试段进行开挖;步骤一中进行围岩基本力学参数确定时,从所述测试段取岩样进行室内试验,且所获得的试验结果为开挖后当前所施工节段的围岩基本力学参数。
- [0121] 本实施例中,所述测试段位于当前所施工节段后端且其长度为1m。
- [0122] 步骤一中进行围岩基本力学参数确定时,从所述测试段取岩样进行室内试验,且所获得的试验结果为开挖后当前所施工节段的围岩基本力学参数。
- [0123] 并且,鉴于软岩隧道1的隧道围岩的非均质、非连续及各向异性等特性,其力学参数必须在试验的基础上来确定,以确保数据准确可靠,减小计算误差。
- [0124] 需说明的是:步骤203中所述第一极限冒落拱11和步骤204中所述第二极限冒落拱12均为处于极限平衡状态时的冒落拱。
- [0125] 本实施例中,步骤二中前后相邻两个所述隧道锚固支护体系之间的间距为0.8m~1.2m。
- [0126] 实际施工时,可根据具体需要,对前后相邻两个所述隧道锚固支护体系之间的间距进行相应调整。
- [0127] 步骤一中进行围岩基本力学参数确定时,所确定的力学参数包括当前所施工节段的隧道侧墙围岩岩体的粘聚力 $c$ 、当前所施工节段的隧道侧墙围岩岩体的内摩擦角 $\varphi$ 、当前所施工节段的隧道侧墙围岩岩体的平均容重 $\gamma$ 、当前所施工节段的上覆岩层的平均容重 $\gamma_0$ 、当前所施工节段的隧道侧墙围岩岩体的剪胀角 $\psi$ 和当前所施工节段上覆岩层的坚固性系数 $f$ 。
- [0128] 同时,还需对软岩隧道1的开挖宽度 $B$ 、当前所施工节段上覆岩层的坚固性系数 $f$ 、所述隧道洞的拱部设计高度 $h_2$ 、所述隧道洞的设计开挖高度 $h_4$ 和所述隧道洞的侧墙设计高度 $h_3$ 进行确定。
- [0129] 其中,当前所施工节段的上覆岩层也称为隧道顶板围岩,即所述隧道洞上方围岩,

也称隧道上部覆盖层。

[0130] 根据本领域公知常识,隧道埋深指的是隧道开挖断面的顶部至自然地面的垂直距离。此处,所述软岩隧道1的埋深H为所述隧道洞的拱部中部至自然地面的竖向距离。

[0131] 隧道的开挖宽度是指考虑了二衬、初期支护、预留变形量后开挖轮廓的最大开挖宽度。此处,软岩隧道1的开挖宽度B也称为跨度,指软岩隧道1的最大跨度。

[0132] 步骤205中对所述第三锚固支护体系所采用的支护结构进行确定时,根据步骤202中确定的自然冒落拱10的矢高 $h_5$ 对第三拱部锚杆9的长度进行确定;多根所述第三拱部锚杆9的长度均相同,所述第三拱部锚杆9的长度不小于 $L_4$ ,其中 $L_4 = l_1 + h_5 + l_2$ , $l_1 = 0.1\text{m} \sim 15\text{cm}$ , $l_2 = 0.3\text{m} \sim 0.4\text{m}$ 。

[0133] 步骤205中对所述第一隧道拱部支护体系所采用的支护结构进行确定时,根据步骤203中确定的第一极限冒落拱11的矢高 $h_1$ 对第一拱部锚杆6的长度进行确定;多根所述第一拱部锚杆6的长度均相同,所述第一拱部锚杆6的长度不小于 $L_3$ ,其中 $L_3 = l_1 + h_1 + l_2$ 。

[0134] 步骤205中对所述隧道拱部浅层支护结构所采用的支护结构进行确定时,根据步骤203中确定的第一极限冒落拱11的矢高 $h_1$ 对第二拱部锚杆7的长度进行确定;多根所述第二拱部锚杆7的长度均相同,所述第二拱部锚杆7的长度不小于 $L_3$ ;

[0135] 步骤205中对所述隧道拱部深层支护结构所采用的支护结构进行确定时,根据步骤204中确定的第二极限冒落拱12的矢高 $h_6$ 对拱部锚索8的长度进行确定;多个所述拱部锚索8的长度均相同,所述拱部锚索8的长度不小于 $L_5$ ,其中 $L_5 = l_1 + h_6 + l_2$ 。

[0136] 本实施例中,所述第一拱部锚杆6和第二拱部锚杆7的长度均为 $L_3$ ,所述拱部锚索8的长度为 $L_5$ 。

[0137] 实际施工时,可根据具体需要,对第三拱部锚杆9、第一拱部锚杆6、第二拱部锚杆7的长度和拱部锚索8的长度分别进行相应调整。

[0138] 步骤205中对所述侧墙深层支护结构所采用的支护结构进行确定时,根据步骤203中确定的外侧高度 $z$ 对侧墙锚索4的布置位置进行确定并使侧墙锚索4位于所述上部拉裂区上,根据坍塌宽度 $b$ 对侧墙锚索4的长度进行确定并使侧墙锚索4的前端伸出至所述上部拉裂区外侧;

[0139] 对所述侧墙浅层支护结构所采用的支护结构进行确定时,根据滑移面倾角 $\alpha$ 对第一侧墙锚杆5的倾斜角度进行确定,根据内侧高度 $h_0$ 和外侧高度 $z$ 和坍塌宽度 $b$ 对第一侧墙锚杆5的布置位置进行确定并使多根所述第一侧墙锚杆5由上至下布设于所述下部滑移区上,根据坍塌宽度 $b$ 对第一侧墙锚杆5的长度进行确定并使每根所述第一侧墙锚杆5的前端均伸出至所述下部滑移区外侧。

[0140] 为施工简便,根据坍塌宽度 $b$ 对侧墙锚索4的长度进行确定时,所述侧墙锚索4的长度 $L_1 = l_1 + L1 + l_2$ ,其中 $l_1 = 0.1\text{m} \sim 15\text{cm}$ , $l_2 = 0.3\text{m} \sim 0.4\text{m}$ , $L1 \geq 1.5b$ ;

[0141] 根据坍塌宽度 $b$ 对第一侧墙锚杆5的长度进行确定时,所述第一侧墙锚杆5的长度 $L_2 = l_1 + L2 + l_2$ ,其中 $L2 \geq b$ 且 $L2 < L1$ 。

[0142] 其中, $l_1$ 和 $l_2$ 表示锚杆为确保有效锚固长度对锚杆或锚索两端预留的长度值。实际使用时, $l_1$ 为 $0.1\text{m} \sim 15\text{cm}$ 范围内的任一个数值, $l_2$ 为 $0.3\text{m} \sim 0.4\text{m}$ 范围内的任一个数值。

[0143] 本实施例中,所述的 $L1 = 3b \sim 6b$ ,所述的 $L2 = 1.5b \sim 3b$ 。

[0144] 实际使用时,可根据具体需要,对 $L1$ 和 $L2$ 的取值大小进行相应调整。

[0145] 根据滑移面倾角 $\alpha$ 对第一侧墙锚杆5的倾斜角度进行确定时,第一侧墙锚杆5的倾斜角度 $\alpha_1=180^\circ-\alpha-\alpha_0$ , $\alpha_0$ 为第一侧墙锚杆5与侧墙拉裂滑移坍塌区3-1中所述下部滑移区的滑移面之间的夹角且 $65^\circ\leq\alpha_0\leq 75^\circ$ , $\alpha_1$ 为第一侧墙锚杆5与水平面之间的夹角。

[0146] 本实施例中, $\alpha_0=69^\circ$ 。

[0147] 实际施工时,可根据具体需要,对 $\alpha_0$ 的取值大小进行相应调整。

[0148] 本实施例中,步骤二中所述侧墙浅层支护结构中所包括第一侧墙锚杆5的数量为三根,三根所述第一侧墙锚杆5呈均匀布设。

[0149] 实际施工时,可根据具体需要,对第一侧墙锚杆5的数量和各第一侧墙锚杆5的布设位置进行相应调整。

[0150] 本实施例中,步骤二中所述侧墙锚索4位于所述上部拉裂区的中部,所述侧墙锚索4与所述隧道洞的侧墙顶部之间的间距为 $\frac{z}{2}$ 。

[0151] 实际施工时,可根据具体需要,对侧墙锚索4的布设位置进行相应调整。

[0152] 步骤205中对所述第二侧墙支护单元所采用的支护结构进行确定时,根据步骤204中确定的坍塌宽度 $b_1$ 对第二侧墙锚杆13的长度进行确定;多根所述第二侧墙锚杆13的长度均相同,所述第二侧墙锚杆13的长度不小于 $L_6$ ,其中 $L_6=l_1+b_1+l_2$ , $l_1=0.1\text{m}\sim 15\text{cm}$ , $l_2=0.3\text{m}\sim 0.4\text{m}$ 。

[0153] 本实施例中,所述第二侧墙锚杆13的长度为 $L_6$ 。

[0154] 实际施工时,可根据具体需要,对所述第二侧墙锚杆13的长度进行相应调整。

[0155] 如图2所示,所述隧道侧墙处于拉裂-滑移式剪切破坏状态时,侧墙拉裂滑移坍塌区3-1(即直角梯形ABCD)为处于极限平衡状态的隧道侧墙围岩岩体,BC为潜在滑移面, $\alpha$ 为滑裂面倾角(即所述滑移面倾角)。通过对侧墙坍塌区3的围岩进行受力分析可知,隧道侧墙的拉裂-滑移体(即侧墙坍塌区3)实际上是隧道围岩中的关键弱结构体,其失稳滑落后隧道有效宽度增加(隧道侧墙高度相应增加),极不利于隧道拱顶的稳定;此外,侧墙表面片帮卸载后其上方集中压力峰值向深部转移,增大了侧墙发生变形后形成的弹塑性界面至隧道中心的距离,使得在侧墙挤压下产生的隧道底板最大破坏深度及其底鼓量显著增加。因此,对侧墙进行及时有效的支护具有重要的工程意义。

[0156] 如图3所示,所述隧道侧墙处于单斜面剪切破坏状态时,侧墙单斜面坍塌区3-2(即三角形ABE)为处于极限平衡状态的隧道侧墙围岩岩体,BE为潜在滑移面, $\alpha$ 为滑裂面倾角(即所述滑移面倾角)。隧道有效宽度进一步增加(隧道侧墙高度相应进一步增加),隧道侧墙将由拉裂-滑移式剪切破坏状态变成单斜面剪切破坏状态。

[0157] 本实施例中,所施工软岩隧道1的平均埋深 $H=490\text{m}$ 。所施工软岩隧道1的隧道侧墙为竖直墙且其高度为 $4.88\text{m}$ ,拱高 $7.2\text{m}$ ,开挖宽度 $B=14.3\text{m}$ ,因而 $h_4=12.08\text{m}$ , $h_2=7.2\text{m}$ , $h_3=4.88\text{m}$ 。

[0158] 经测试得出:当前所施工节段的隧道侧墙围岩岩体的粘聚力 $c=91\text{kPa}=91\times 10^3\text{Pa}$ ,当前所施工节段的隧道侧墙围岩岩体的内摩擦角 $\varphi=15^\circ$ ,当前所施工节段的上覆岩层的平均容重 $\gamma_0=21.6\text{kN/m}^3=21.6\times 10^3\text{N/m}^3$ ,当前所施工节段的隧道侧墙围岩岩体的剪胀角 $\psi=9^\circ$ 。当前所施工节段上覆岩层的坚固性系数 $f=7.8$ 。

[0159] 并且,由于所施工软岩隧道1为深埋隧道,软岩隧道1两侧的隧道侧墙围岩岩体受

力状态相同,因而步骤一中进行围岩基本力学参数确定时,现场所取岩样从任一个隧道侧墙围岩岩体取出均可。本实施例中,当前所施工节段的隧道侧墙围岩岩体的平均容重  $\gamma = \gamma_0 = 21.6 \times 10^3 \text{N/m}^3$ 。

[0160] 根据步骤201中所述的方法进行隧道侧墙失稳判断,得出所述隧道洞的隧道侧墙处于拉裂-滑移式剪切破坏状态。原设计的支护方案中,隧道侧墙采用长度为4.0m的水平注浆锚杆则不能满足围岩变形控制需求,隧道侧墙不可避免会发生拉裂-滑移式剪切破坏。

[0161] 所述隧道洞的第一极限冒落拱11的矢高 $h_1$

$$[0162] \quad h_1 = \frac{a + h_4 \tan(45^\circ - 0.5\varphi)}{f} = \frac{7.15 + 12.08 \times \tan(45^\circ - 7.5^\circ)}{7.8} = 2.1 \text{m};$$

[0163] 当前所施工节段的上覆岩层作用于隧道侧墙围岩2上的均布压力(也称均布荷载)  $q = \gamma_0 (h_1 + h_2) = 21.6 \times 10^3 \times (7.2 + 2.1) = 200.9 \text{kPa} = 200.9 \times 10^3 \text{Pa}$ 。

[0164] 当前所施工节段的侧墙拉裂滑移坍塌区3-1的滑移面倾角  $\alpha = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi + \psi}{4} = 45^\circ + \frac{15^\circ + 9^\circ}{4} = 51^\circ$ ;

[0165] 当前所施工节段的侧墙拉裂滑移坍塌区3-1的内侧高度

$$h_0 = \frac{1.3}{1.65\gamma} \left[ \frac{c}{\cos\alpha(\sin\alpha - \cos\alpha \tan\varphi)} - q \right] + \frac{0.35}{1.65} h_3 =$$

$$[0166] \quad \left[ \frac{91 \times 10^3}{\cos 51^\circ (\sin 51^\circ - \cos 51^\circ \tan 15^\circ)} - 200.9 \times 10^3 \right] \times \frac{1.3}{1.65 \times 21.6 \times 10^3} + \frac{0.35}{1.65} \times 4.2 = 2.24 \text{m};$$

$$[0167] \quad \text{外侧高度 } z = \frac{2}{1.65\gamma} \left[ \frac{c}{\cos\alpha(\sin\alpha - \cos\alpha \tan\varphi)} - q \right] - \frac{0.35}{1.65} h_3$$

$$[0168] \quad = \left[ \frac{91 \times 10^3}{\cos 51^\circ (\sin 51^\circ - \cos 51^\circ \tan 15^\circ)} - 200.9 \times 10^3 \right] \times \frac{2.0}{1.65 \times 21.6 \times 10^3} - \frac{0.35}{1.65} \times 4.2 = 1.16 \text{m};$$

$$[0169] \quad \text{坍塌宽度 } b = \left\{ -\frac{0.7}{1.65\gamma} \left[ \frac{c}{\cos\alpha(\sin\alpha - \cos\alpha \tan\varphi)} - q \right] + \frac{0.7}{1.65} h_3 \right\} \cot\alpha$$

$$[0170] \quad = \left\{ -\left[ \frac{91 \times 10^3}{\cos 51^\circ (\sin 51^\circ - \cos 51^\circ \tan 15^\circ)} - 200.9 \times 10^3 \right] \times \frac{0.7}{1.65 \times 21.6 \times 10^3} + \frac{0.7}{1.65} \times 4.2 \right\} \cot 51^\circ = 0.87 \text{m};$$

[0171] 而该隧道原初期支护方案中所采用的隧道侧墙锚杆呈水平布设,这样锚杆与滑移面夹角理论值为 $139^\circ$ ,角度过大,这样不能充分发挥锚杆杆体自身的抗剪切能力;并且,也无法限制侧墙拉裂后的剪切滑移。并且,由于坍塌宽度 $b = 0.87 \text{m}$ ,原侧墙锚杆长度设计为4.0m也缺乏理论依据,易造成人力物力的巨大浪费。

[0172] 本实施例中,侧墙锚索4的长度为5m,第一侧墙锚杆5的长度为2.5m,并且第一侧墙锚杆5与侧墙拉裂滑移坍塌区3-1中所述下部滑移区的滑移面之间的夹角 $\alpha_0 = 69^\circ$ ,因而能充分发挥锚杆杆体自身的抗剪切能力;并且,第一侧墙锚杆5与侧墙锚索4的长度设计合理,第一侧墙锚杆5与侧墙锚索4相配合能有效限制侧墙拉裂后的剪切滑移,并且不会造成人力物力的巨大浪费。

[0173] 并且,所述第一拱部锚杆6的长度 $L_3$ 根据公式 $L_3 = l_1 + h_1 + l_2$ 进行确定,满足隧道拱部

支护需求。

[0174] 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。

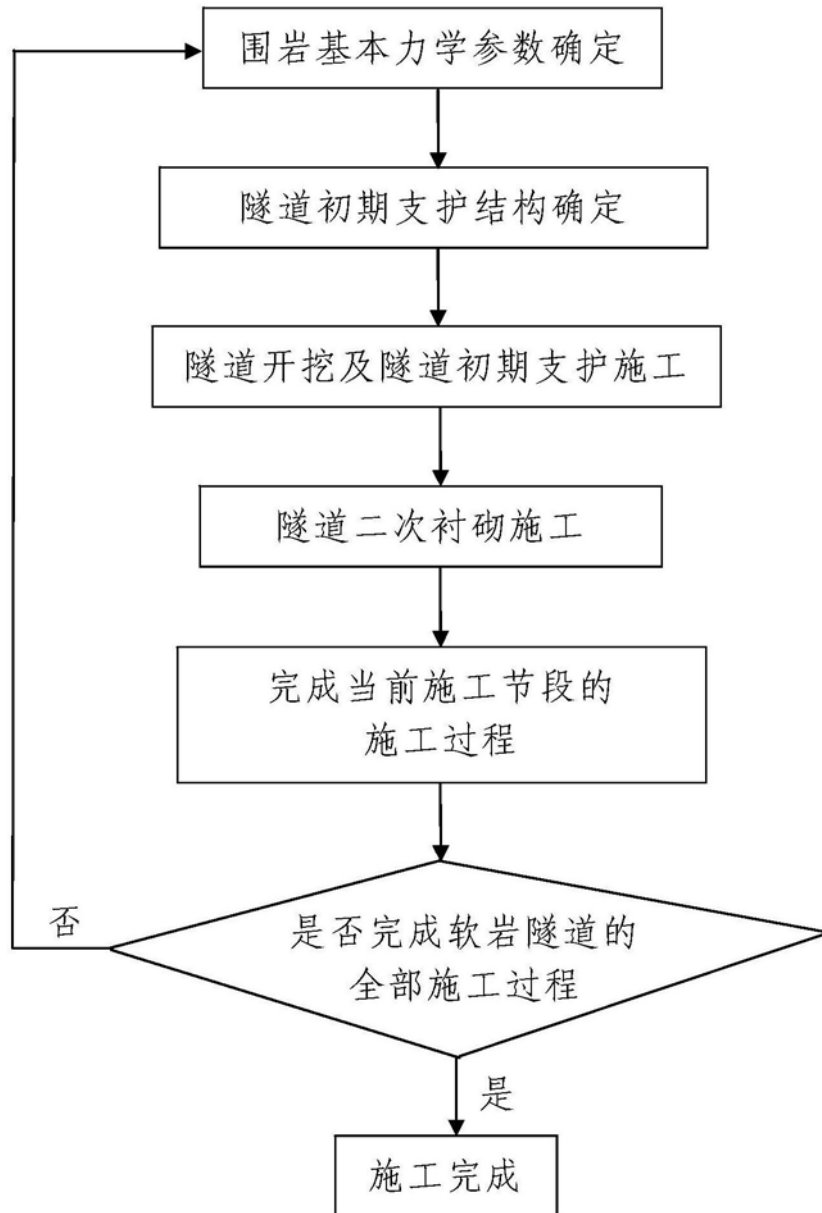


图1

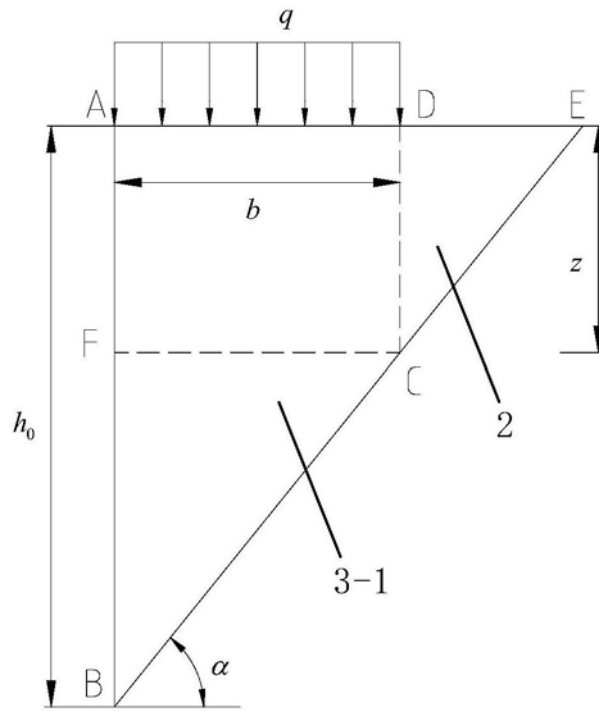


图2

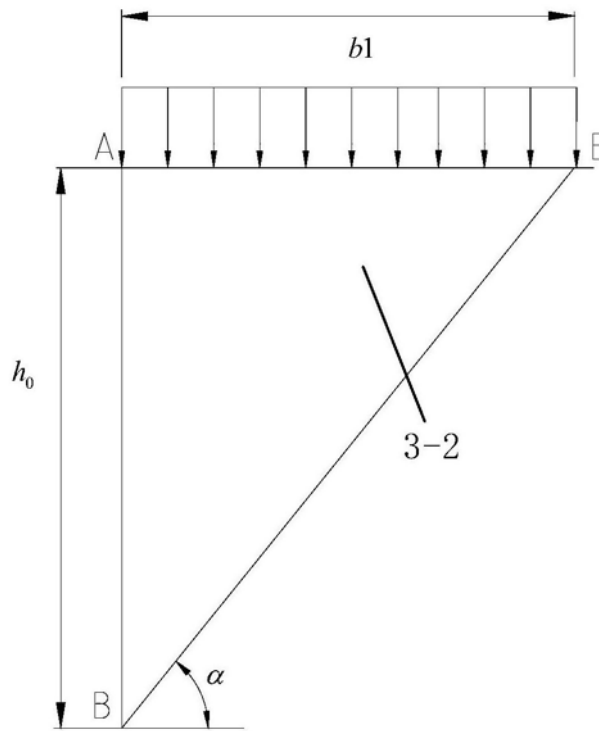


图3

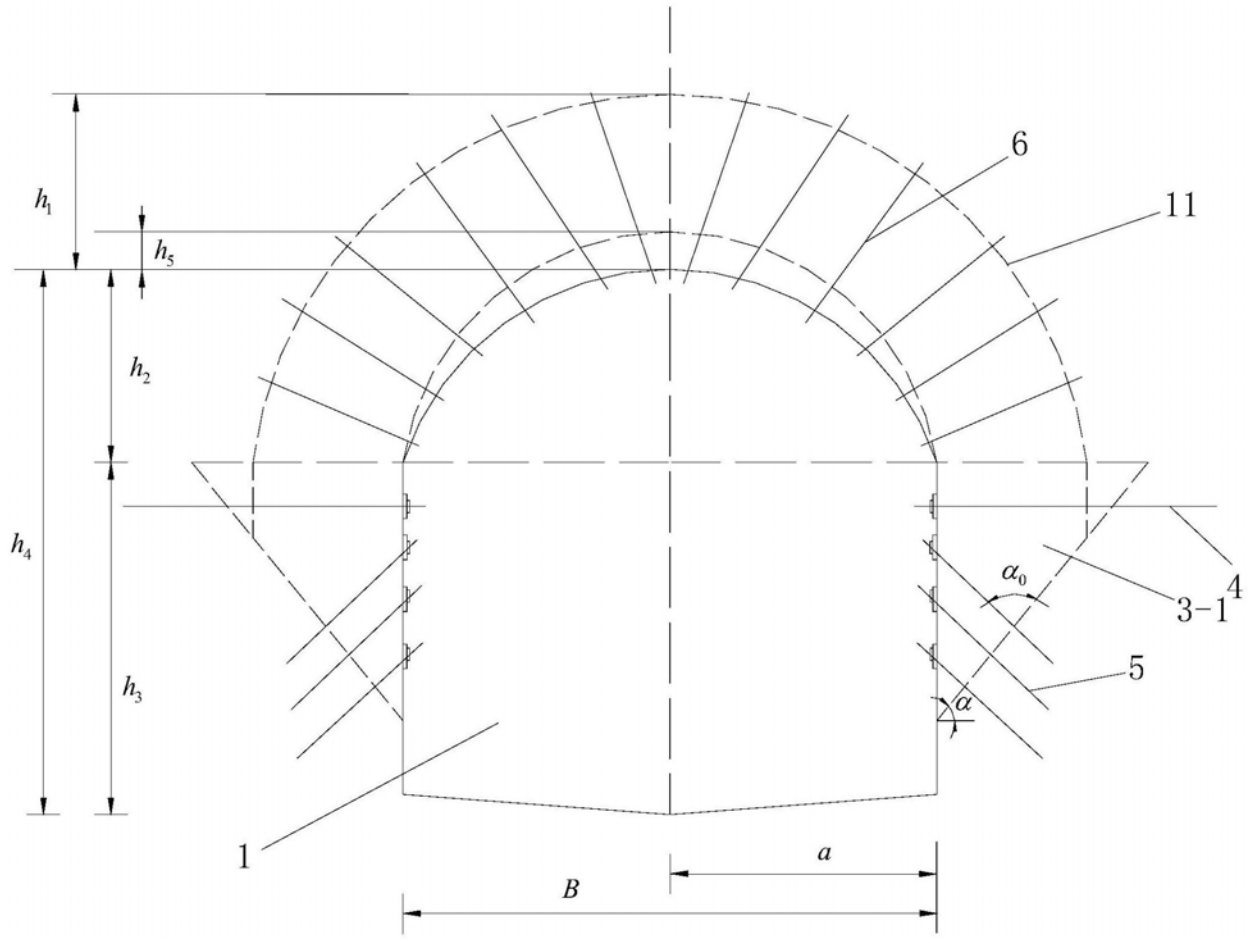


图4



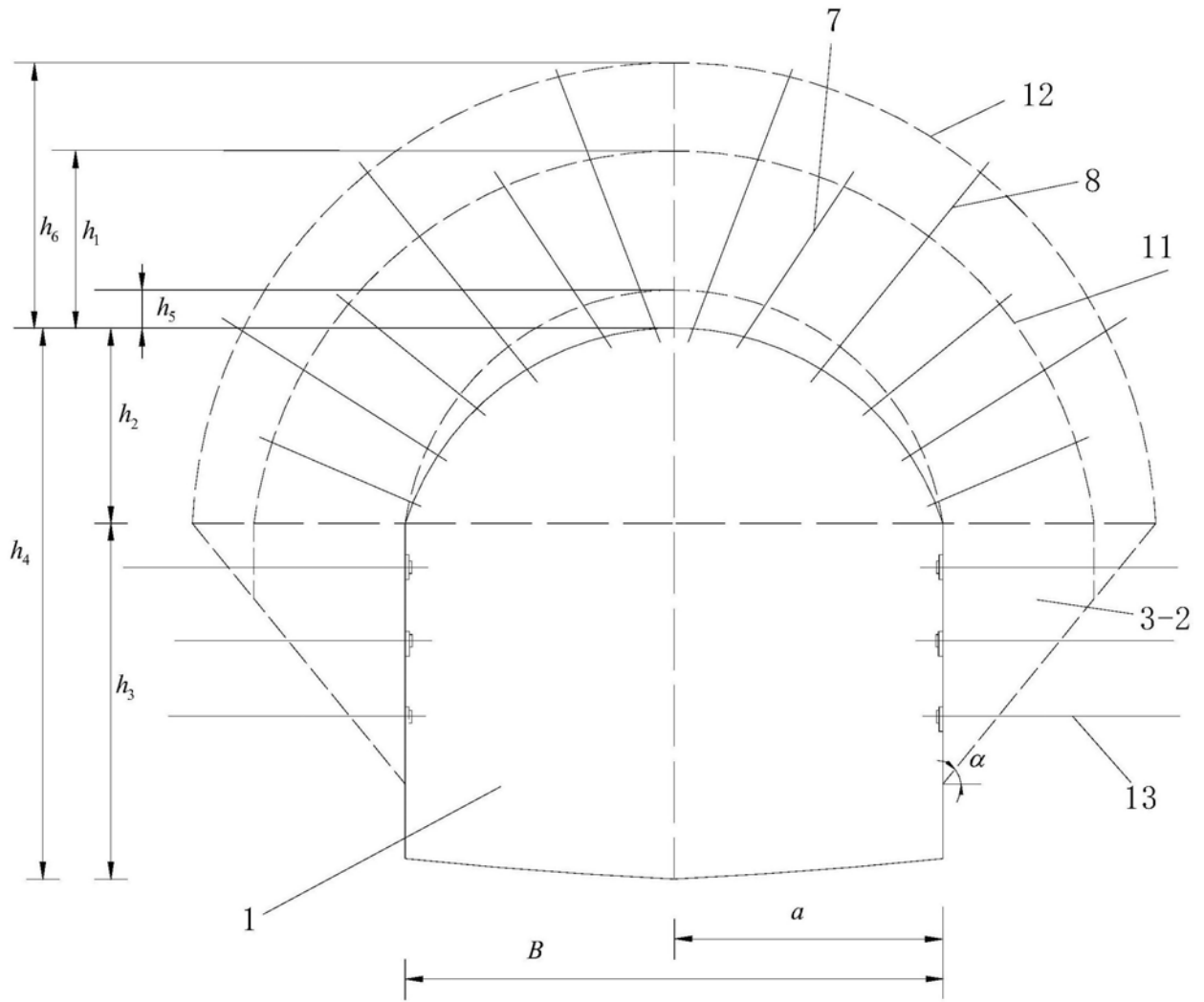


图5

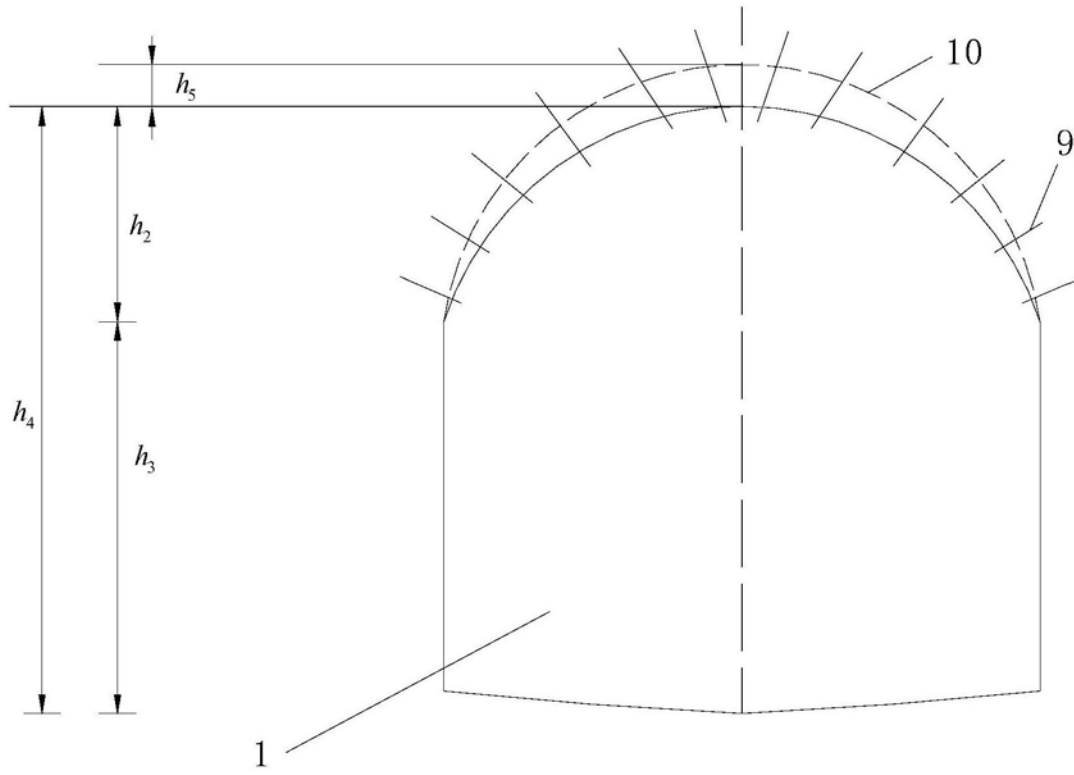


图6