



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106930775 A

(43)申请公布日 2017. 07. 07

(21)申请号 201710098131.1

G06F 17/50(2006.01)

(22)申请日 2017.02.22

(71)申请人 宁波交通工程建设集团有限公司

地址 315010 浙江省宁波市海曙区解放北路91号(原市政府北大院)1号楼北大门

(72)发明人 陈海圣 徐懋刚 冉平 谢瑜军  
方梁正 朱一湘 单建波 陈兴艾  
杨磊 郑国增 周一勤

(74)专利代理机构 宁波天一专利代理有限公司  
33207

代理人 张晨

(51)Int.Cl.

E21D 11/00(2006.01)

E21D 11/18(2006.01)

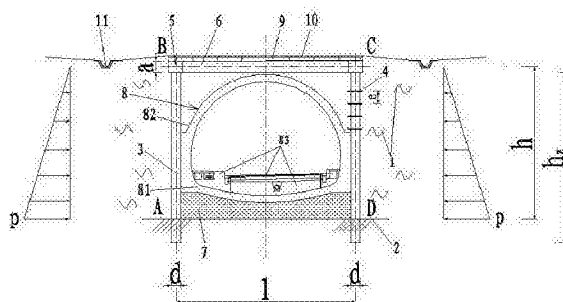
权利要求书4页 说明书9页 附图3页

## (54)发明名称

浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护结构及其施工方法

## (57)摘要

本发明公开了一种浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护结构及其施工方法,涉及一种浅埋山区公路隧道盖挖施工领域,也是一种通过门式排桩刚构围护结构来完成浅埋山区公路隧道主体施工的通透式盖挖施工方法,该门式排桩刚构围护结构主要是由两排互相平行并分别设置在公路隧道主体两侧的钻孔桩、位于每排钻孔桩顶部并浇筑相连一体的冠梁、及两排钻孔桩顶部的冠梁之间浇筑连接的多根横撑等构成,这种施工结构具有构造简单、安全可靠、费用低廉、施工条件优越、低碳环保等优点,其结合相应的施工方法能有利于减少浅埋山区公路隧道边坡开挖的工程数量,节约弃土场,还具有节能减排的效果,施工环境友好,经济效益和社会效益显著。



1. 一种浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护结构, 其特征在于该结构包括两排互相平行、并分别设置在公路隧道主体(8)两侧的钻孔桩(3), 每排钻孔桩均是由多个钻孔桩(3)沿公路隧道主体(8)的轴线方向按设计的间距设置而成, 每排钻孔桩(3)顶部均设有沿公路隧道主体(8)的轴线方向延伸的冠梁(5), 该冠梁将所述每排钻孔桩(3)的多个钻孔桩(3)浇筑相连一体, 两排钻孔桩(3)顶部的冠梁(5)之间浇筑连接多根横撑(6), 该多根横撑沿公路隧道主体(8)的轴线方向按设计的间距设置。

2. 根据权利要求1所述的浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护结构, 其特征在于所述的浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护结构的计算模型为: 钻孔桩(3)的直径 $d$ 、长度 $h_z$ 、同排的每相邻两个钻孔桩(3)中心间距 $s$ , 基岩(1)顶至横撑(6)中心高度即门式排桩刚构围护结构的计算高度 $h$ , 横撑(6)的计算长度 $l$ 、高度 $a$ 、宽度 $b$ 、惯性矩 $I_2$ , 以相邻两根横撑(6)中心之间的范围作为一个计算单元 $T$ , 将每排钻孔桩(3)总长度内钻孔桩截面惯性矩之和平均分摊再乘以 $T$ 作为一个计算单元长度的钻孔桩截面惯性矩 $I_1$ , 并形成立面为钻孔桩(3)底部固结、钻孔桩顶部的冠梁(5)与横撑(6)刚接的门式排桩刚构围护结构; 需采用有限元软件精确计算门式排桩刚构围护结构的内力, 在编制施工方案阶段采用解析法初步计算, 初拟钻孔桩(3)、冠梁(5)和横梁(6)的尺寸; 门式排桩刚构围护结构的承载能力由弯矩控制, 各节点的弯矩和承载能力由下列公式计算:

公式一、

$$M_A = M_B = \frac{ql^2}{12(2+K)} - \frac{ph^2}{60} \left(10 - \frac{12+7K}{2+K}\right)$$

$$M_B = M_C = \frac{ql^2}{12(2+K)}$$

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{24} \times \frac{2+3K}{2+K}$$

$$K = \frac{I_2}{I_1} \times \frac{h}{l}$$

公式二、

$$M_x = -\frac{ql^2}{12(2+K)} + \frac{ph^2}{60} \left(10 - \frac{12+7K}{2+K}\right) + \left[\frac{ph}{2} - \frac{ql^2}{4h(2+K)}\right]x - \frac{px^2}{6h}(3h-x)$$

$$\frac{dM_x}{dx} = \frac{d}{dx} \left\{ -\frac{ql^2}{12(2+K)} + \frac{ph^2}{60} \left(10 - \frac{12+7K}{2+K}\right) + \left[\frac{ph}{2} - \frac{ql^2}{4h(2+K)}\right]x - \frac{px^2}{6h}(3h-x) \right\} = 0$$

$$x = h - l \sqrt{\frac{q}{2p(2+K)}}$$

将式 $x$ 代入式 $M_x$ 中, 计算出钻孔桩(3)在 $x$ 处的弯矩极大值 $M_{z\max}$ ;

公式三、

$$M_{z\max} \leq \eta_z [M_z]$$

$$M_A \leq \eta_z [M_z]$$

$$M_D \leq \eta_z [M_z]$$

$$M_{h\max} \leq \eta_h [M_h]$$

$$M_B \leq \eta_h [M_h]$$

$$M_C \leq \eta_h [M_h]$$

根据公式三的结果确定钻孔桩(3)直径、混凝土强度等级和配筋,及横撑(6)尺寸、混凝土强度等级和配筋;

在公式一、公式二和公式三中:

$M_A$ 、 $M_B$ 、 $M_C$ 、 $M_D$ ——分别为门式排桩刚构围护结构节点A、B、C、D处的弯矩,  $\text{kN}\cdot\text{m}$ ;

$X$ ——钻孔桩(3)自基岩(1)顶端以上的任意高度,  $\text{m}$ ;

$M_z$ ——钻孔桩(3)自基岩(1)顶端以上高度所受的弯矩,  $\text{kN}\cdot\text{m}$ ;

$M_{h\max}$ ——横撑(6)跨中的弯矩,  $\text{kN}\cdot\text{m}$ ;

$M_{z\max}$ ——钻孔桩(3)  $X$ 处的弯矩,  $\text{kN}\cdot\text{m}$ ;

$d$ 、 $s$ 、 $h_z$ ——分别为钻孔桩(3)的直径、同排的每相邻两个钻孔桩(3)中心间距、钻孔桩(3)的总长度,  $s \phi d$ ,  $\text{m}$ ;

$h$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $l$ ——分别为基岩(1)顶至横撑(6)中心高度即门式排桩刚构围护结构的计算高度、横撑(6)的高度、横撑(6)的宽度、横撑(6)的计算长度,  $\text{m}$ ;

$T$ ——相邻两根横撑(6)中心之间的距离,确定为一个门式排桩刚构围护结构计算单元的长度,  $\text{m}$ ;

$I_1$ ——钻孔桩(3)一个计算单元  $T$  长度内的截面惯性矩,  $\text{m}^4$ ;

$I_2$ ——每根横撑(6)截面的惯性矩,  $\text{m}^4$ ;

$p$ ——基岩(1)顶部的粘土(2)主动土压力强度,  $\text{kN/m}$ ;

$q$ ——横撑(6)、盖板(9)、铺装层(10)以及其上其他荷载的强度,  $\text{kN/m}$ ;

$\eta_z$ 、 $\eta_h$ ——分别为钻孔桩(3)、横撑(6)的重要性系数,  $\eta_z \leq 1, \eta_h \leq 1$ ,按有关规范取值;

$[M_z]$ 、 $[M_h]$ ——分别为钻孔桩(3)一个计算单元  $T$  长度内的截面承载能力设计弯矩、每根横撑(6)截面的承载能力设计弯矩,  $\text{kN}\cdot\text{m}$ ;

$R_{AV}$ 、 $R_{DV}$ ——分别为门式排桩刚构围护结构A节点、D节点处钻孔桩(3)的垂直反力,  $\text{kN}$ ;

$R_{AH}$ 、 $R_{DH}$ ——分别为门式排桩刚构围护结构A节点、D节点处钻孔桩(3)的水平反力,  $\text{kN}$

$$R_{AH} = R_{DH} = \frac{ph}{2} - \frac{ql^2}{4h(2+K)}。$$

3. 根据权利要求1所述的浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护结构,其特征在於所述的每排钻孔桩(3)的相邻两个钻孔桩之间设有多个上、下布置的压浆管(4),间距为 $e$ ,按设计取 $e = 1 \sim 2m$ 。

4. 根据权利要求3所述的浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护结构,其特征在於每个所述的钻孔桩(3)直径为80~150cm,每相邻两个钻孔桩(3)外缘之间的间距宽度为20~40cm。

5. 根据权利要求4所述的浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护结构,其特征在於所述的冠梁(5)宽度比所述钻孔桩(3)直径宽10~20cm,冠梁(5)高度与多根横撑(6)高度相同,每相邻两根横撑(6)之间的间距宽度为5~7m,将挖掘机的铲斗伸进两根横撑(6)之间的空隙,开挖门式排桩刚构围护结构内的土体,装车运至弃土场,或在门式排桩刚构围护结构的横撑(6)下部松动爆破,挖运土体。

6. 根据权利要求1所述的浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护结构,其特征在於所述的门式排桩刚构围护结构内开挖施工公路隧道主体(8),门式排桩刚构围护结构顶面依次设置盖板(9)和铺筑防水混凝土铺装层(10)。

7. 一种根据权利要求1~6任一项所述的浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护结构的施工方法,其特征在於该施工方法包括如下步骤:

步骤一、拟定浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护结构方案:

①根据浅埋山区公路隧道的规模和地质钻探资料以及设计图纸,拟定钻孔桩(3)、冠梁(5)、横撑(6)、盖板(9)及铺装层(10)尺寸;

②按照公式一、公式二和公式三计算门式排桩刚构围护结构的承载力;

③用有限元软件计算复核门式排桩刚构围护结构的承载力,直至满足要求;

步骤二、清理表面土以及开展施工准备工作:

①清理表面土;

②开挖排水沟(11)范围的土体并浆砌片石排水沟,要求表面水排水畅通;

③现场测量放样,埋设沉降和水平位移观测点;

步骤三、施工排桩:

①钻孔桩施工机械干式气动成桩机械就位;

②钻孔桩(3)成孔、下放钢筋笼并浇筑混凝土;

步骤四、施工冠梁:

①凿除排桩混凝土桩头、整理钢筋;

②按冠梁模板尺寸清理桩头附近土体,并安放冠梁模板;

③绑扎冠梁钢筋,并预留横撑接头钢筋;

④浇筑冠梁混凝土;

⑤拆除冠梁模板并养护;

步骤五、施工横撑:

①整理、填筑横撑模板基础,并安放横撑模板;

②绑扎横撑钢筋;

③浇筑横撑混凝土;

④拆除横撑模板并养护;

步骤六、开挖门式排桩刚构围护结构内的土体:

- ①待门式排桩刚构围护结构达到设计强度后,挖掘机和运输车到位;
  - ②将挖掘机的铲斗伸进两根横撑(6)之间的空隙,开挖门式排桩刚构围护结构内的土体,装车运至弃土场或在门式排桩刚构围护结构的横撑下部松动爆破,挖运土体;
  - ③排桩之间空隙如有渗透水,打入压浆管(4)注浆,起到止水作用;
  - ④设置排水沟(11),采用潜水泵抽排渗透水;
  - ⑤清理门式排桩刚构围护结构内的残余土体达到设计要求,并挂网喷浆防护;
- 步骤七、施工垫层(7)和公路隧道主体(8)结构:
- ①铺筑基岩(1)以上混凝土垫层;
  - ②绑扎仰拱钢筋并浇筑仰拱混凝土;
  - ③使用模板台车浇筑二次衬砌混凝土;
  - ④施工路面系(83)结构;
- 步骤八、安装盖板(9)及铺筑铺装层(10)混凝土:
- ①运送预制场预制的盖板(9)并安装在横撑(6)上部;
  - ②浇筑盖板上部防水混凝土铺装层(10);
- 在全部施工过程中,及时检测门式排桩刚构围护结构的水平位移和沉降,并及时反馈检测结果,如有异常及时调整施工方案,确保施工安全和工程质量。

## 浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护结构及其施工方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种浅埋山区公路隧道盖挖施工领域,具体是指浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护的通透式盖挖施工方法。

### 背景技术

[0002] 浅埋山区公路隧道盖挖法施工是由地面向下开挖至一定深度后,将顶部封闭,其余的下部工程在封闭的顶盖下进行施工。由于在封闭条件下开挖隧道土石方,施工期间需要采取通风排烟、灯光照明和洞内排泄渗透水等保障措施,费用巨大,且存在安全隐患;而公开的中国专利号为201420739014.0的“山岭隧道桩拱盖挖法综合支护结构”,虽然采用了两排相互平行的钻孔桩围护结构,但将护拱与钻孔桩结合成综合支护结构,仍需在封闭的顶盖下进行施工,故依然存在封闭式施工的缺陷。

### 发明内容

[0003] 本发明所要解决的技术问题在于克服现有技术的缺陷而提供一种构造简单、安全可靠、费用低廉、施工条件优越、低碳环保的浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护结构及其施工方法。

[0004] 本发明的技术问题通过以下技术方案实现:

一种浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护结构,其包括两排互相平行、并分别设置在公路隧道主体两侧的钻孔桩,每排钻孔桩均是由多个钻孔桩沿公路隧道主体的轴线方向按设计的间距设置而成,每排钻孔桩顶部均设有沿公路隧道主体的轴线方向延伸的冠梁,该冠梁将所述每排钻孔桩的多个钻孔桩浇筑相连一体,两排钻孔桩顶部的冠梁之间浇筑连接多根横撑,该多根横撑沿公路隧道主体的轴线方向按设计的间距设置。

[0005] 所述的浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护结构的计算模型为:钻孔桩的直径 $d$ 、长度 $h_z$ 、同排的每相邻两个钻孔桩中心间距 $s$ ,基岩顶至横撑中心高度即门式排桩刚构围护结构的计算高度 $h$ ,横撑的计算长度 $l$ 、高度 $a$ 、宽度 $b$ 、惯性矩 $I_2$ ,以相邻两根横撑中心之间的范围作为一个计算单元 $T$ ,将每排钻孔桩总长度内钻孔桩截面惯性矩之和平均分摊再乘以 $T$ 作为一个计算单元长度的钻孔桩截面惯性矩 $I_1$ ,并形成立面为钻孔桩底部固结、钻孔桩顶部的冠梁与横撑刚接的门式排桩刚构围护结构;需采用有限元软件精确计算门式排桩刚构围护结构的内力,在编制施工方案阶段采用解析法初步计算,初拟钻孔桩、冠梁和横梁的尺寸;门式排桩刚构围护结构的承载能力由弯矩控制,各节点的弯矩和承载能力由下列公式计算:

公式一、

$$M_A = M_D = \frac{ql^2}{12(2+K)} - \frac{ph^2}{60} \left(10 - \frac{12+7K}{2+K}\right)$$

$$M_B = M_C = \frac{ql^2}{12(2+K)}$$

$$M_{hmax} = \frac{ql^2}{24} \times \frac{2+3K}{2+K}$$

$$K = \frac{I_2}{I_1} \times \frac{h}{l}$$

公式二、

$$M_z = -\frac{ql^2}{12(2+K)} + \frac{ph^2}{60} \left(10 - \frac{12+7K}{2+K}\right) + \left\{ \frac{ph}{2} - \frac{ql^2}{4h(2+K)} \right\} x - \frac{px^2}{6h} (3h-x)$$

$$\frac{dM_z}{dx} = \frac{d}{dx} \left\{ -\frac{ql^2}{12(2+K)} + \frac{ph^2}{60} \left(10 - \frac{12+7K}{2+K}\right) + \left\{ \frac{ph}{2} - \frac{ql^2}{4h(2+K)} \right\} x - \frac{px^2}{6h} (3h-x) \right\} = 0$$

$$x = h - l \sqrt{\frac{q}{2p(2+K)}}$$

将式  $x$  代入式  $M_z$  中, 计算出钻孔桩在  $x$  处的弯矩极大值  $M_{zmax}$ ;

公式三、

$$M_{zmax} \leq \eta_z [M_z]$$

$$M_A \leq \eta_z [M_z]$$

$$M_D \leq \eta_z [M_z]$$

$$M_{hmax} \leq \eta_h [M_h]$$

$$M_B \leq \eta_h [M_h]$$

$$M_C \leq \eta_h [M_h]$$

根据公式三的结果确定钻孔桩直径、混凝土强度等级和配筋, 及横撑尺寸、混凝土强度等级和配筋;

在公式一、公式二和公式三中:

$M_A$ 、 $M_B$ 、 $M_C$ 、 $M_D$ ——分别为门式排桩刚构围护结构节点A、B、C、D处的弯矩, kN·m;

$x$ ——钻孔桩自基岩顶端以上的任意高度, m;

$M_z$ ——钻孔桩自基岩顶端以上高度所受的弯矩, kN·m;

$M_{hmax}$ ——横撑跨中的弯矩, kN·m;

$M_{zmax}$ ——钻孔桩  $x$  处的弯矩,  $kN \cdot m$ ;

$d$ 、 $s$ 、 $h_z$ ——分别为钻孔桩的直径、同排的每相邻两个钻孔桩中心间距、钻孔桩的总长度,  $s \geq d$ ,  $m$ ;

$h$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $l$ ——分别为基岩顶至横撑中心高度即门式排桩刚构围护结构的计算高度、横撑的高度、横撑的宽度、横撑的计算长度,  $m$ ;

$T$ ——相邻两根横撑中心之间的距离, 确定为一个门式排桩刚构围护结构计算单元的长度,  $m$ ;

$I_1$ ——钻孔桩一个计算单元  $T$  长度内的截面惯性矩,  $m^4$ ;

$I_2$ ——每根横撑截面的惯性矩,  $m^4$ ;

$P$ ——基岩顶部的粘土主动土压力强度,  $kN/m$ ;

$q$ ——横撑、盖板、铺装层以及其上其他荷载的强度,  $kN/m$ ;

$\eta_z$ 、 $\eta_h$ ——分别为钻孔桩、横撑的重要性系数,  $\eta_z \leq 1, \eta_h \leq 1$ , 按有关规范取值;

$[M_z]$ 、 $[M_h]$ ——分别为钻孔桩一个计算单元  $T$  长度内的截面承载能力设计弯矩、每根横撑截面的承载能力设计弯矩,  $kN \cdot m$ ;

$R_{AV}$ 、 $R_{DV}$ ——分别为门式排桩刚构围护结构A节点、D节点处钻孔桩的垂直反力,  $kN$ ;

$R_{AH}$ 、 $R_{DH}$ ——分别为门式排桩刚构围护结构A节点、D节点处钻孔桩的水平反力,  $kN$ ;

$$R_{AH} = R_{DH} = \frac{ph}{2} - \frac{ql^2}{4h(2+K)}。$$

[0006] 所述的每排钻孔桩的相邻两个钻孔桩之间设有多个上、下布置的压浆管, 间距为  $e$ , 按设计取  $e = 1 \sim 2m$ 。

[0007] 每个所述的钻孔桩直径为80~150cm, 每相邻两个钻孔桩外缘之间的间距宽度为20~40cm。

[0008] 所述的冠梁宽度比所述钻孔桩直径宽10~20cm, 冠梁高度与多根横撑高度相同, 每相邻两根横撑之间的间距宽度为5~7m, 将挖掘机的铲斗伸进两根横撑之间的空隙, 开挖门式排桩刚构围护结构内的土体, 装车运至弃土场, 或在门式排桩刚构围护结构的横撑下部松动爆破, 挖运土体。

[0009] 所述的门式排桩刚构围护结构内开挖施工公路隧道主体, 门式排桩刚构围护结构顶面依次设置盖板和铺筑防水混凝土铺装层。

[0010] 一种浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护结构的施工方法, 其特征在于该施工方法包括如下步骤:

步骤一、拟定浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护结构方案:

①根据浅埋山区公路隧道的规模和地质钻探资料以及设计图纸, 拟定钻孔桩、冠梁、横撑、盖板及铺装层尺寸;

②按照公式一、公式二和公式三计算门式排桩刚构围护结构的承载力;

③用有限元软件计算复核门式排桩刚构围护结构的承载力, 直至满足要求;

步骤二、清理表面土以及开展施工准备工作:

- ①清理表面土；
- ②开挖排水沟范围的土体并浆砌片石排水沟,要求表面水排水畅通；
- ③现场测量放样,埋设沉降和水平位移观测点；

步骤三、施工排桩：

- ①钻孔桩施工机械干式气动成桩机就位；
- ②钻孔桩成孔、下放钢筋笼并浇筑混凝土；

步骤四、施工冠梁：

- ①凿除排桩混凝土桩头、整理钢筋；
- ②按冠梁模板尺寸清理桩头附近土体,并安放冠梁模板；
- ③绑扎冠梁钢筋,并预留横撑接头钢筋；
- ④浇筑冠梁混凝土；
- ⑤拆除冠梁模板并养护；

步骤五、施工横撑：

- ①整理、填筑横撑模板基础,并安放横撑模板；
- ②绑扎横撑钢筋；
- ③浇筑横撑混凝土；
- ④拆除横撑模板并养护；

步骤六、开挖门式排桩刚构围护结构内的土体：

- ①待门式排桩刚构围护结构达到设计强度后,挖掘机和运输车到位；
- ②将挖掘机的铲斗伸进两根横撑之间的空隙,开挖门式排桩刚构围护结构内的土体,装车运至弃土场或在门式排桩刚构围护结构的横撑下部松动爆破,挖运土体。

[0011] ③排桩之间空隙如有渗透水,打入压浆管注浆,起到止水作用；

- ④设置排水沟,采用潜水泵抽排渗透水；
- ⑤清理门式排桩刚构围护结构内的残余土体达到设计要求,并挂网喷浆防护；

步骤七、施工垫层和公路隧道主体结构：

- ①铺筑基岩以上混凝土垫层；
- ②绑扎仰拱钢筋并浇筑仰拱混凝土；
- ③使用模板台车浇筑二次衬砌混凝土；
- ④施工路面系结构；

步骤八、安装盖板及铺筑铺装层混凝土：

- ①运送预制场预制的盖板并安装在横撑上部；
- ②浇筑盖板上部防水混凝土铺装层；

在全部施工过程中,及时检测门式排桩刚构围护结构的水平位移和沉降,并及时反馈检测结果,如有异常及时调整施工方案,确保施工安全和工程质量。

[0012] 与现有技术相比,本发明主要设计了一种通过门式排桩刚构围护结构来完成浅埋山区公路隧道主体施工的通透式盖挖施工方法,该门式排桩刚构围护结构主要是由两排互相平行并分别设置在公路隧道主体两侧的钻孔桩、位于每排钻孔桩顶部并浇筑相连一体的冠梁、及两排钻孔桩顶部的冠梁之间浇筑连接的多根横撑等构成,这种施工结构具有构造简单、安全可靠、费用低廉、施工条件优越、低碳环保等优点,其结合相应的施工方法能有利

于减少浅埋山区公路隧道边坡开挖的工程数量,节约弃土场,还具有节能减排的效果,施工环境友好,经济效益和社会效益显著。

### 附图说明

[0013] 图1为本发明的结构立面示意图。

[0014] 图2为图1的俯视图。

[0015] 图3为门式排桩刚构围护结构的计算图式。

### 具体实施方式

[0016] 下面将按上述附图对本发明实施例再作详细说明。

[0017] 如图1~图3所示,1.基岩、2.粘土、3.钻孔桩、4.压浆管、5.冠梁、6.横撑、7.垫层、8.公路隧道主体、81.仰拱、82.二次衬砌、83.路面系、9.盖板、10.铺装层、11.排水沟。

[0018] 浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护结构及其施工方法,如图1、图2所示,涉及一种通过门式排桩刚构围护结构来完成浅埋山区公路隧道的盖挖施工方法。

[0019] 用于上述施工方法的土层结构主要包括自上而下的浅埋粘土2和基岩1的隧道地质构造;所述的上层粘土层厚度深度较浅,土质松软、强度较低,如明挖施工需开挖大量土体,且边坡需要加固;所述的基岩强度较高,钻孔桩3底嵌入基岩1中规定深度,能承受两排钻孔桩范围内土体开挖后的土压力。

[0020] 所述的门式排桩刚构围护结构具有上部通透式稳定可靠的优点,其结构包括两排互相平行、并分别设置在公路隧道主体两侧的钻孔桩3,每排钻孔桩均是由多个钻孔桩沿公路隧道主体8的轴线方向按设计的间距依次设置而成,两排钻孔桩3的直径和桩长需要根据公路隧道地质确定,每个钻孔桩直径一般为80~150cm,每排的每相邻两个钻孔桩3外缘相隔一定空隙,两者之间的间距宽度一般为20~40cm,钻孔桩3直径大者空隙宽度取大值,采用干式气动成桩机械施工;所述的干式气动成桩机械的钢套管在一定程度上挤密粘土,施工中不需泥浆护壁,保证了粘土层的强度;每排钻孔桩3的相邻两个钻孔桩之间设有多个上、下布置的压浆管4,间距为 $e$ ,按设计一般取 $e = 1 \sim 2m$ ,通常是在开挖后出现渗透水时,即可打设压浆管注浆,并起到止水作用。

[0021] 同时,每排钻孔桩3顶部均设有沿公路隧道主体8的轴线方向延伸的冠梁5,该冠梁为钢筋混凝土结构,可将每排钻孔桩3的多个钻孔桩浇筑相连一体,冠梁5的宽度比钻孔桩3的直径宽10~20cm,冠梁5的高度由计算确定。

[0022] 而两排钻孔桩3顶部的冠梁5之间浇筑连接多根横撑6,该多根横撑6是沿公路隧道主体8的轴线方向按设计的间距依次设置而成,横撑6也为钢筋混凝土结构,连接两条冠梁5的多根横撑高度与冠梁高度相同,宽度由计算确定,每相邻两根横撑6之间的间距宽度一般为5~7m,具体也由计算确定,并且每相邻两根横撑6之间的净距离需满足挖掘机铲斗施工的空间,以方便两排钻孔桩范围内土体的开挖作业;也可在门式排桩刚构围护结构的横撑6下部松动爆破,挖运土体。并且,使用挖掘机等开挖机械开挖门式排桩刚构围护结构内的土体后填筑垫层和施工公路隧道主体结构,最后封闭盖板9及浇筑铺装层10。

[0023] 所述的垫层7为公路隧道主体结构的基础,采用片石混凝土等填筑,而隧道主体包括仰拱81、二次衬砌82、路面系83,需在片石混凝土垫层7上依次施工;所述的路面系83包括

仰拱以上至路面之间部位的混凝土找平层、中央排水管、基层、人行道；所述的盖板8及铺装层10为封闭门式排桩刚构围护结构使用，盖板8为预制钢筋混凝土结构，其上再铺筑防水混凝土铺装层10。

[0024] 所述的垫层7为公路隧道主体结构的基础，采用片石混凝土等填筑，而隧道主体包括仰拱81、二次衬砌82、路面系83，需在片石混凝土垫层7上依次施工；所述的路面系83包括仰拱以上至路面之间部位的混凝土找平层、中央排水管、基层、人行道；所述的盖板8及铺装层10为封闭门式排桩刚构围护结构使用，盖板8为预制钢筋混凝土结构，其上再铺筑防水混凝土铺装层10。

[0025] 另外，浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护结构的计算模型如图1~图3所示：钻孔桩3的直径 $d$ 、长度 $h_z$ 、同排的每相邻两个钻孔桩3中心间距 $s$ ，基岩1顶至横撑中心高度即门式排桩刚构围护结构的计算高度 $h$ ，横撑6的计算长度 $l$ 、高度 $a$ 、宽度 $b$ 、惯性矩 $I_2$ ，以相邻两根横撑中心之间的范围作为一个计算单元 $T$ ，将每排钻孔桩3总长度内钻孔桩截面惯性矩之和平均分摊再乘以 $T$ 作为一个计算单元长度的钻孔桩截面惯性矩 $I_1$ ，并形成立面为钻孔桩底部固结、钻孔桩顶部的冠梁5与横撑刚接的门式排桩刚构围护结构；门式排桩刚构围护结构内力精确的计算需用有限元软件进行计算，在编制施工方案阶段时，为了提高工作效率，不失安全性，用解析法初步计算，初拟钻孔桩、冠梁和横梁等构件的尺寸；门式排桩刚构围护结构的承载能力由弯矩控制，各节点的弯矩和承载能力由下列公式计算：

公式一、

$$M_A = M_D = \frac{ql^2}{12(2+K)} - \frac{ph^2}{60} \left(10 - \frac{12+7K}{2+K}\right)$$

$$M_B = M_C = \frac{ql^2}{12(2+K)}$$

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{24} \times \frac{2+3K}{2+K}$$

$$K = \frac{I_2}{I_1} \times \frac{h}{l}$$

公式二、

$$M_z = -\frac{ql^2}{12(2+K)} + \frac{ph^2}{60} \left(10 - \frac{12+7K}{2+K}\right) + \left\{ \frac{ph}{2} - \frac{ql^2}{4h(2+K)} \right\} x - \frac{px^2}{6h} (3h-x)$$

$$\frac{dM_z}{dx} = \frac{d}{dx} \left\{ -\frac{ql^2}{12(2+K)} + \frac{ph^2}{60} \left(10 - \frac{12+7K}{2+K}\right) + \left[ \frac{ph}{2} - \frac{ql^2}{4h(2+K)} \right] x - \frac{px^2}{6h} (3h-x) \right\} = 0$$

$$x = h - l \sqrt{\frac{q}{2p(2+K)}}$$

将式 $x$ 代入式 $M_z$ 中，计算出钻孔桩3在 $x$ 处的弯矩极大值 $M_{z\max}$ ；

公式三、

$$M_{z\max} \leq \eta_z [M_z]$$

$$M_A \leq \eta_z [M_z]$$

$$M_D \leq \eta_z [M_z]$$

$$M_{h\max} \leq \eta_h [M_h]$$

$$M_B \leq \eta_h [M_h]$$

$$M_C \leq \eta_h [M_h]$$

根据公式三的结果确定钻孔桩3直径、混凝土强度等级和配筋,及横撑6尺寸、混凝土强度等级和配筋;

在公式一、公式二和公式三中:

$M_A$ 、 $M_B$ 、 $M_C$ 、 $M_D$ ——分别为门式排桩刚构围护结构节点A、B、C、D处的弯矩,  $\text{kN}\cdot\text{m}$ ;

$x$ ——钻孔桩3自基岩1顶端以上的任意高度,  $\text{m}$ ;

$M_z$ ——钻孔桩3自基岩1顶端以上高度所受的弯矩,  $\text{kN}\cdot\text{m}$ ;

$M_{h\max}$ ——横撑6跨中的弯矩,  $\text{kN}\cdot\text{m}$ ;

$M_{z\max}$ ——钻孔桩3 $x$ 处的弯矩,  $\text{kN}\cdot\text{m}$ ;

$d$ 、 $s$ 、 $h_z$ ——分别为钻孔桩3的直径、同排的每相邻两个钻孔桩3中心间距、钻孔桩3的总长度,  $s \leq d$ ,  $\text{m}$ ;

$h$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $l$ ——分别为基岩1顶至横撑6中心高度即门式排桩刚构围护结构的计算高度、横撑6的高度、横撑6的宽度、横撑6的计算长度,  $\text{m}$ ;

$T$ ——相邻两根横撑6中心之间的距离,确定为一个门式排桩刚构围护结构计算单元的长度,  $\text{m}$ ;

$I_1$ ——钻孔桩3一个计算单元 $T$ 长度内的截面惯性矩,  $\text{m}^4$ ;

$I_2$ ——每根横撑6截面的惯性矩,  $\text{m}^4$ ;

$p$ ——基岩1顶部的粘土2主动土压力强度,  $\text{kN/m}$ ;

$q$ ——横撑6、盖板9、铺装层10以及其他荷载的强度,  $\text{kN/m}$ ;

$\eta_z$ 、 $\eta_h$ ——分别为钻孔桩3、横撑6的重要性系数,  $\eta_z \leq 1, \eta_h \leq 1$ ,按有关规范取值;

$[M_z]$ 、 $[M_h]$ ——分别为钻孔桩3一个计算单元 $T$ 长度内的截面承载能力设计弯矩、每根横撑6截面的承载能力设计弯矩,  $\text{kN}\cdot\text{m}$ ;

$R_{AV}$ 、 $R_{DV}$ ——分别为门式排桩刚构围护结构A节点、D节点处钻孔桩3的垂直反力,  $\text{kN}$ ;

$R_{AH}$ 、 $R_{DH}$ ——分别为门式排桩刚构围护结构A节点、D节点处钻孔桩3的水平反力,  $\text{kN}$ ;

$$R_{AH} = R_{DH} = \frac{ph}{2} - \frac{ql^2}{4h(2+K)}。$$

[0026] 浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护结构的施工方法包括如下步骤:

步骤一、拟定浅埋山区公路隧道门式排桩刚构围护结构方案:

①根据浅埋山区公路隧道的规模和地质钻探资料以及设计图纸,拟定钻孔桩3、冠梁5、横撑6、盖板9及铺装层10尺寸;

②按照公式一、公式二和公式三计算门式排桩刚构围护结构的承载力;

③用有限元软件计算复核门式排桩刚构围护结构的承载力,直至满足要求;

步骤二、清理表面土以及开展施工准备工作:

①清理表面土;

②开挖排水沟11范围的土体并浆砌片石排水沟,要求表面水排水畅通;

③现场测量放样,埋设沉降和水平位移观测点;

步骤三、施工排桩:

①钻孔桩施工机械干式气动成桩机就位;

②钻孔桩3成孔、下放钢筋笼并浇筑混凝土;

步骤四、施工冠梁:

①凿除排桩混凝土桩头、整理钢筋;

②按冠梁模板尺寸清理桩头附近土体,并安放冠梁模板;

③绑扎冠梁钢筋,并预留横撑接头钢筋;

④浇筑冠梁混凝土;

⑤拆除冠梁模板并养护;

步骤五、施工横撑:

①整理、填筑横撑模板基础,并安放横撑模板;

②绑扎横撑钢筋;

③浇筑横撑混凝土;

④拆除横撑模板并养护;

步骤六、开挖门式排桩刚构围护结构内的土体:

①待门式排桩刚构围护结构达到设计强度后,挖掘机和运输车到位;

②将挖掘机的铲斗伸进两根横撑6之间的空隙,开挖门式排桩刚构围护结构内的土体,装车运至弃土场;也可在门式排桩刚构围护结构的横撑6下部松动爆破,挖运土体。

[0027] ③排桩之间空隙如有渗透水,打入压浆管4注浆,起到止水作用;

④设置排水沟11,采用潜水泵抽排渗透水;

⑤清理门式排桩刚构围护结构内的残余土体达到设计要求,并挂网喷浆防护;

步骤七、施工垫层和公路隧道主体结构:

①铺筑基岩1以上混凝土垫层;

②绑扎仰拱钢筋并浇筑仰拱混凝土;

③使用模板台车浇筑二次衬砌混凝土;

④施工路面系83结构;

步骤八、安装盖板及铺筑铺装层混凝土：

- ①运送预制场预制的盖板9并安装在横撑6上部；
- ②浇筑盖板上部防水混凝土铺装层10；

在全部施工过程中，及时检测门式排桩刚构围护结构的水平位移和沉降，并及时反馈检测结果，如有异常及时调整施工方案，确保施工安全和工程质量。

[0028] 本发明所述实施例仅用于说明本发明而不适用于限制本发明的范围。此外还应理解，在阅读了本发明讲授的内容之后，本领域技术人员可以对本发明作各种改动或修改，这些等价形式同样落于本申请所附权利要求书所限定的范围内。

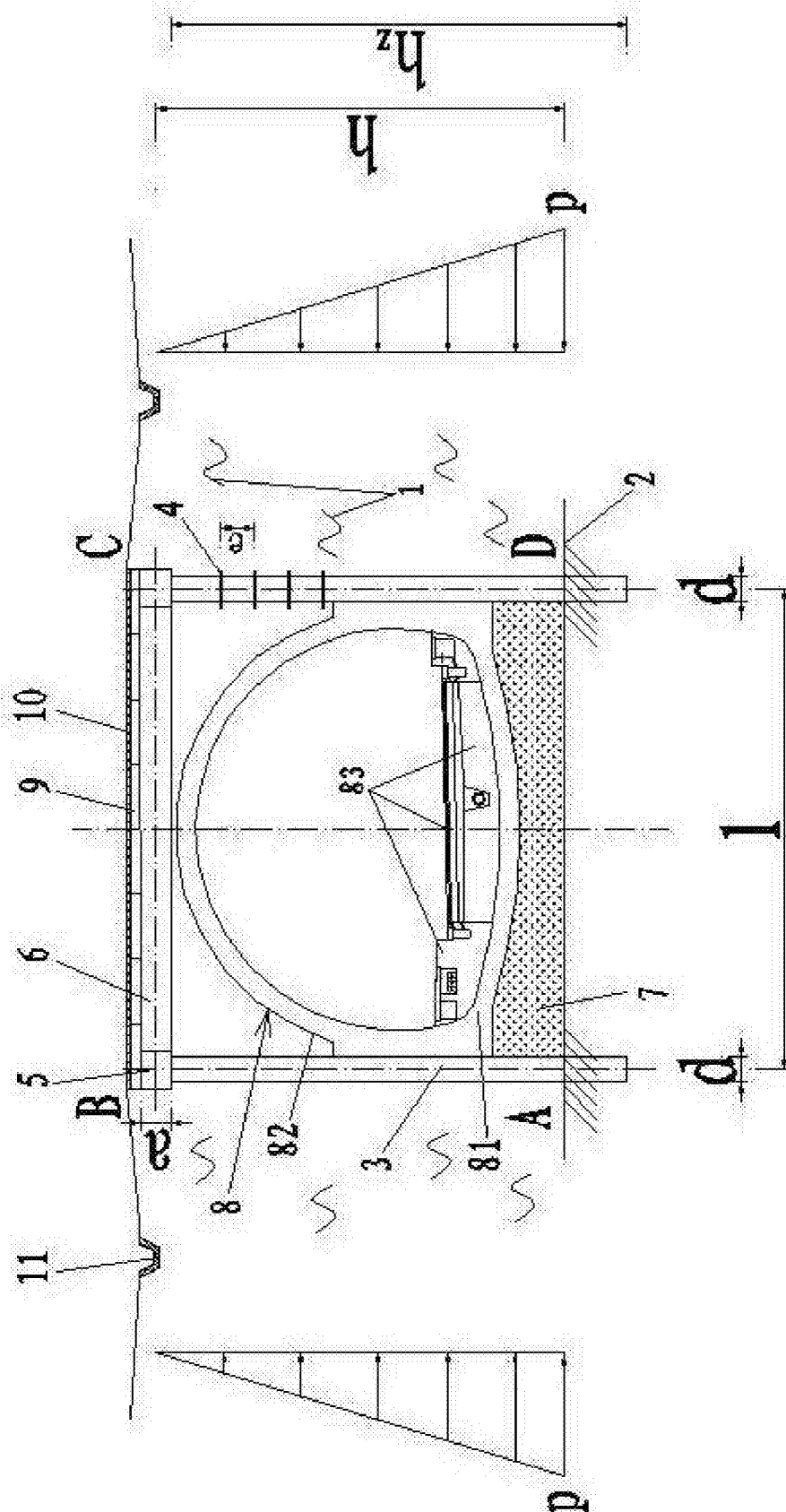


图1

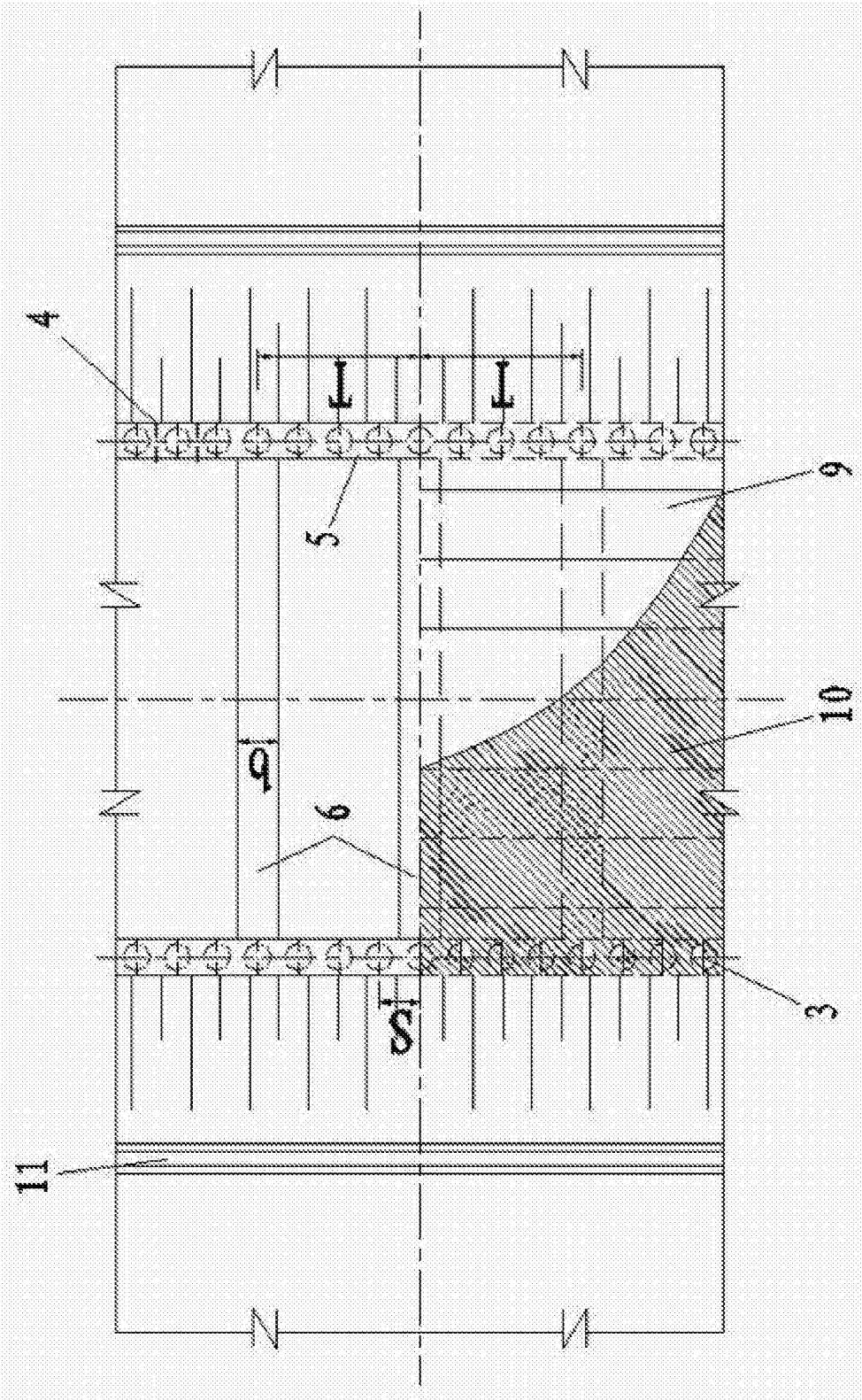


图2

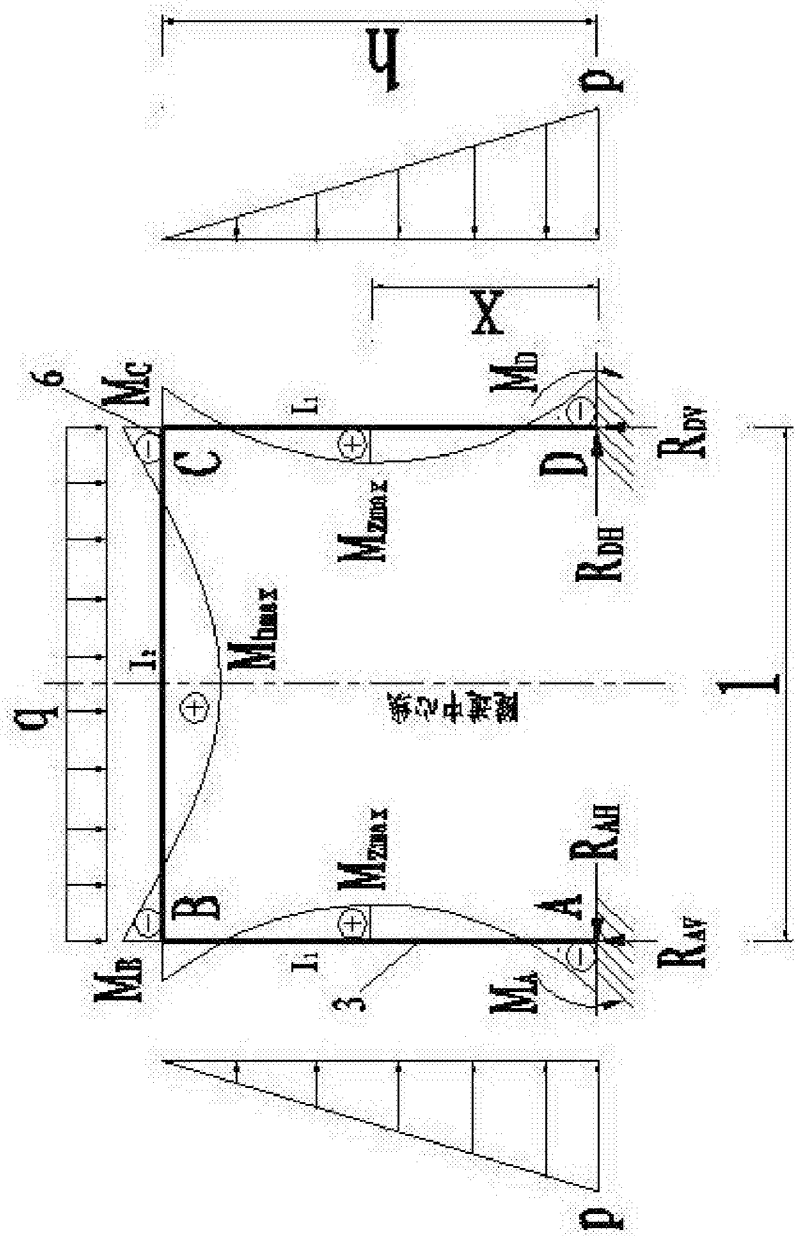


图3