



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105065032 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 18

(21) 申请号 201510453188. X

E21D 20/00(2006. 01)

(22) 申请日 2015. 07. 29

(71) 申请人 上海市隧道工程轨道交通设计研究院

地址 200235 上海市徐汇区中山西路 1999 号

(72) 发明人 曾毅 杨志豪 卞跃威 周舒威
夏才初 范学义 熊旺 钱鑫
沈世伟 丁鹏飞 邢敏

(74) 专利代理机构 上海申蒙商标专利代理有限公司 31214

代理人 徐小蓉

(51) Int. Cl.

E21D 11/00(2006. 01)

E21D 11/10(2006. 01)

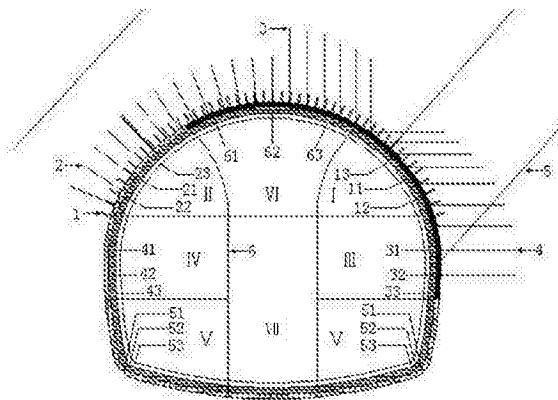
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

适用于陡倾层状岩体的大断面隧道支护体系施工方法

(57) 摘要

本发明涉及公路隧道、铁路隧道围岩支护领域,尤其是适用于陡倾层状岩体的大断面隧道支护体系施工方法,其特征在于:开挖所述顺倾斜层导洞和所述上部中导洞时,施作临时支撑和所述顺倾斜层导洞、所述上部中导洞的位置处的第一、第二层衬砌;开挖所述逆倾斜层导洞和所述下部导洞时,施作所述临时支撑和所述逆倾斜层导洞和所述下部导洞位置处的第一层衬砌。本发明的优点是:针对陡倾层状岩体隧道开挖破坏特征,重点加固顶部和拱部支护结构的强度和刚度,能有效地加固隧道顶部和层面出露处围岩的强度和变形特性,控制这两个薄弱位置围岩的变形和失稳,保证拱部或者层面出露处岩体稳定。



1. 一种适用于陡倾层状岩体的大断面隧道支护体系施工方法,其特征在於:所述支护体系按其自身位置以及其与陡倾层状岩体的相对位置分为:顺倾斜层导洞、逆倾斜层导洞、上部中导洞、下部导洞和核心土区域,所述施工方法至少包括以下步骤:

开挖所述顺倾斜层导洞和所述上部中导洞时,施作临时支撑和所述顺倾斜层导洞、所述上部中导洞的位置处的第一、第二层衬砌;

开挖所述逆倾斜层导洞和所述下部导洞时,施作所述临时支撑和所述逆倾斜层导洞和所述下部导洞位置处的第一层衬砌;

开挖所述核心土区域,施作所述临时支撑和所述核心土区域的第一层衬砌;

切除所述临时支撑,施作所述顺倾斜层导洞和所述上部中导洞的第三层衬砌,施作所述逆倾斜层导洞、所述下部导洞和所述核心土区域的第二、地三层衬砌。

2. 根据权利要求 1 所述的一种适用于陡倾层状岩体的大断面隧道支护体系施工方法,其特征在於:所述支护体系按其自身位置以及其与陡倾层状岩体的相对位置分为:上部顺倾斜层导洞、上部逆倾斜层导洞、中部顺倾斜层导洞、中部逆倾斜层导洞、下部导洞、所述上部中导洞和所述核心土区域,所述施工方法包括以下步骤:

开挖所述上部顺倾斜层导洞,施作所述临时支撑和所述第一、第二层衬砌;

开挖所述上部逆倾斜层导洞,施作所述临时支撑和所述第一层衬砌;

开挖所述中部顺倾斜层导洞,施作所述临时支撑和所述第一层、第二层衬砌;

开挖所述中部逆倾斜层导洞,施作所述临时支撑和所述第一层衬砌;

开挖所述下部导洞,施作所述临时支撑和所述第一层衬砌;

开挖所述上部中导洞,施作所述临时支撑和所述第一层、第二层衬砌;

开挖所述核心土区域,施作所述临时支撑和所述第一层衬砌;

切除所述临时支撑,同时施作所述上部顺倾斜层导洞的第三层衬砌、所述上部逆倾斜层导洞的第二、第三层衬砌、所述中部顺倾斜层导洞的第三层衬砌,所述中部逆倾斜层导洞的第二、第三层衬砌、所述下部导洞的第二、第三层衬砌;所述上部中导洞的第三层衬砌;所述核心土区域的第二、第三层衬砌。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的一种适用于陡倾层状岩体的大断面隧道支护体系施工方法,其特征在於:所述上部顺倾斜层导洞、所述中部顺倾斜层导洞以及所述上部中导洞的第一层衬砌为格栅钢架加固层,其余导洞的第一层衬砌由喷射混凝土和钢筋网组成;所述第二、第三层衬砌由钢筋混凝土组成;所述临时支撑由定位锚杆、喷射混凝土层以及埋设于内的钢架结构组成。

4. 根据权利要求 2 所述的一种适用于陡倾层状岩体的大断面隧道支护体系施工方法,其特征在於:在所述上部顺倾斜层导洞、所述上部逆倾斜层导洞和所述上部中导洞的范围内布置有超前锚杆或超前小导管。

5. 根据权利要求 2 所述的一种适用于陡倾层状岩体的大断面隧道支护体系施工方法,其特征在於:在所述上部逆倾斜层导洞与所述上部中导洞的逆倾斜层部位之间的范围内,沿隧道轮廓径向均匀布置有径向锚杆,所述径向锚杆的一端与衬砌相固定,另一端打入所述陡倾层状岩体中。

6. 根据权利要求 2 所述的一种适用于陡倾层状岩体的大断面隧道支护体系施工方法,其特征在於:在所述上部中导洞的顺倾斜层部位与所述中部顺倾斜层导洞之间的范围内,

分别布置有竖向锚杆和水平锚杆,所述竖向锚杆和所述水平锚杆的一端与衬砌相固定,另一端打入所述陡倾层状岩体中。

适用于陡倾层状岩体的大断面隧道支护体系施工方法

技术领域

[0001] 本发明涉及公路隧道、铁路隧道围岩支护领域,尤其是适用于陡倾层状岩体的大断面隧道支护体系施工方法。

背景技术

[0002] 岩体结构通常分为完整结构、块裂结构、破碎结构、层状结构和散体结构等五大类。而在工程中经常以层面为控制结构面的层状岩体,这类岩体可分为互层、间层、薄层和软层,隧道开挖中这类岩体强度主要受岩块强度、结构面强度、层面与隧道开挖断面之间空间关系控制。层状岩体多为沉积岩,可以由单一岩层组成,也可以由不同岩性的岩层护层或者夹层组成。这类岩体中以陡倾小交角层状岩体最易发生失稳,陡倾岩体倾角较大(一般为 40° - 60°),而小交角指的是岩层走向与隧道轴向一致或者小角度相交(一般小于 20°)。当隧道在陡倾层状岩体中开始时,层状岩体容易沿层面发生顺层滑移而引起施工事故。对于在成层性好且软弱夹层发育的陡倾状岩体中开挖大断面隧道时,围岩稳定性问题尤为突出,围岩易沿层面出露处产生滑动,由于岩体抗拉强度较低,此时沿层面出露处岩层折断、滑塌,如果支护强度、刚度不够或者支护时机选择不对,拱部岩层出露处发生坍塌带动拱顶发生冒落,对大断面隧道施工极为不利。

[0003] 目前大断面隧道施工依然多数采用以锚喷支护技术为核心的新奥法施工,初期支护层由锚杆、钢筋网、喷射混凝土等组成,锚杆在隧道上沿径向打入,钢筋网通常沿拱墙部位均布布置,喷射混凝土厚度沿拱墙一般相等,这种常规的隧道支护体系未能对陡倾状围岩未有针对性的效果,只能通过加大支护的规模等来提高支护效果,特别是对于大断面隧道许多现有的设计单位对二衬厚度取值过大,最多甚至达到900mm厚,这既造成了工程材料和投资的浪费,同时不能重点解决拱部层面出露处围岩滑塌以及由此产生的拱顶塌落的问题,容易发生工程事故。

[0004] 因此针对在陡倾岩层中开挖的大断面隧道工程,亟需重点研究能针对性加固或者支撑围岩,能够解决隧道拱部特别是拱部稳定性的特殊支护结构体系。

[0005] 因此针对在陡倾岩层中开挖的大断面隧道工程,亟需重点研究能针对性加固或者支撑围岩,能够解决隧道拱部特别是拱部稳定性的特殊支护结构体系及其相应的施工方法。

发明内容

[0006] 本发明的目的是根据上述现有技术的不足,提供了适用于陡倾层状岩体的大断面隧道支护体系施工方法,通过设置三层支护结构并且在三层支护结构内部设置临时支撑、在三层支护结构外围设置围岩加强型支护结构,有效加固隧道顶板和拱部层面出露处岩体,同时能够防止围岩顺层滑动的位移,有效地控制围岩变形和失稳,保证开挖后围岩和支护的稳定,降低隧道开挖施工的风险和费用。

[0007] 本发明目的实现由以下技术方案完成:

一种适用于陡倾层状岩体的大断面隧道支护体系施工方法,其特征在于:所述支护体系按其自身位置以及其与陡倾层状岩体的相对位置分为:顺倾斜层导洞、逆倾斜层导洞、上部中导洞、下部导洞和核心土区域,所述施工方法至少包括以下步骤:

开挖所述顺倾斜层导洞和所述上部中导洞时,施作临时支撑和所述顺倾斜层导洞、所述上部中导洞的位置处的第一、第二层衬砌;

开挖所述逆倾斜层导洞和所述下部导洞时,施作所述临时支撑和所述逆倾斜层导洞和所述下部导洞位置处的第一层衬砌;

开挖所述核心土区域,施作所述临时支撑和所述核心土区域的第一层衬砌;

切除所述临时支撑,施作所述顺倾斜层导洞和所述上部中导洞的第三层衬砌,施作所述逆倾斜层导洞、所述下部导洞和所述核心土区域的第二、地三层衬砌。

[0008] 所述支护体系按其自身位置以及其与陡倾层状岩体的相对位置分为:上部顺倾斜层导洞、上部逆倾斜层导洞、中部顺倾斜层导洞、中部逆倾斜层导洞、下部导洞、所述上部中导洞和所述核心土区域,所述施工方法包括以下步骤:

开挖所述上部顺倾斜层导洞,施作所述临时支撑和所述第一、第二层衬砌;

开挖所述上部逆倾斜层导洞,施作所述临时支撑和所述第一层衬砌;

开挖所述中部顺倾斜层导洞,施作所述临时支撑和所述第一层、第二层衬砌;

开挖所述中部逆倾斜层导洞,施作所述临时支撑和所述第一层衬砌;

开挖所述下部导洞,施作所述临时支撑和所述第一层衬砌;

开挖所述上部中导洞,施作所述临时支撑和所述第一层、第二层衬砌;

开挖所述核心土区域,施作所述临时支撑和所述第一层衬砌;

切除所述临时支撑,同时施作所述上部顺倾斜层导洞的第三层衬砌、所述上部逆倾斜层导洞的第二、第三层衬砌、所述中部顺倾斜层导洞的第三层衬砌,所述中部逆倾斜层导洞的第二、第三层衬砌、所述下部导洞的第二、第三层衬砌;所述上部中导洞的第三层衬砌;所述核心土区域的第二、第三层衬砌。

[0009] 所述上部顺倾斜层导洞、所述中部顺倾斜层导洞以及所述上部中导洞的第一层衬砌为格栅钢架加固层,其余导洞的第一层衬砌由喷射混凝土和钢筋网组成;所述第二、第三层衬砌由钢筋混凝土组成;所述临时支撑由定位锚杆、喷射混凝土层以及埋设于内的钢架结构组成。

[0010] 在所述上部顺倾斜层导洞、所述上部逆倾斜层导洞和所述上部中导洞的范围内布置有超前锚杆或超前小导管。

[0011] 在所述上部逆倾斜层导洞与所述上部中导洞的逆倾斜层部位之间的范围内,沿隧道轮廓径向均匀布置有径向锚杆,所述径向锚杆的一端与衬砌相固定,另一端打入所述陡倾层状岩体中。

[0012] 在所述上部中导洞的顺倾斜层部位与所述中部顺倾斜层导洞之间的范围内,分别布置有竖向锚杆和水平锚杆,所述竖向锚杆和所述水平锚杆的一端与衬砌相固定,另一端打入所述陡倾层状岩体中。

[0013] 本发明的优点是:针对陡倾层状岩体隧道开挖破坏特征,重点加固顶部和拱部支护结构的强度和刚度,能有效地加固隧道顶部和层面出露处围岩的强度和变形特性,控制这两个薄弱位置围岩的变形和失稳,保证拱部或者层面出露处岩体稳定。

[0014] 超前预支护与拱部加强支护的组合结构充分保证开挖后围岩和支护的稳定,并能维持开挖面稳定,减小拱顶沉降,保证施工安全。

[0015] 上部中导洞及顺倾斜层竖向锚杆、上中部顺倾斜层水平锚杆的组合克服了陡倾角岩层沿径向打设锚杆与倾斜岩层锚固力不足、锚固效果不佳的缺陷,且这两种锚杆长度的增长更是增强了锚杆对倾斜岩层的加固效果。

[0016] 格栅加固型初衬对支护结构进行加固,结构轻巧,加工难度低,受力条件好,能及时支护且快速承担荷载,可在围岩变形初期有效控制变形,防止围岩发生有害变形,而且格栅钢架钢量少,人工及机械费用低,其与围岩间的间隙不易漏喷混凝土。

[0017] 采用三层衬砌圈,在有临时支撑的情况下,施工顺倾斜层导洞的格栅钢架加固层以及喷射混凝土二衬,使隧道危险区域在临时支撑切除后支护结构具有更好的强度和刚度,使支护结构在这一危险时刻能保持稳定,为后续施工打下良好基础,在陡倾层状岩体情况下快速、安全地修建大断面隧道。

附图说明

[0018] 图 1 为是本发明的结构示意图;

图 2 是本发明拆除临时支撑后的结构示意图。

具体实施方式

[0019] 以下结合附图通过实施例对本发明特征及其它相关特征作进一步详细说明,以便于同行业技术人员的理解:

如图 1-2 所示,图中标记分别表示为:上部顺倾斜层导洞 I、上部逆倾斜层导洞 II、中部顺倾斜层导洞 III、中部逆倾斜层导洞 IV、下部导洞 V、上部中导洞 VI、核心土区域 VII;超前围岩加固支护 1、上部逆倾斜层径向锚杆 2、上部中导洞及顺倾斜层竖向锚杆 3、上部中导洞及顺倾斜层水平锚杆 4、陡倾层状围岩 5、临时支撑 6、上部顺倾斜层格栅钢架加固层 11、上部顺倾斜层二衬 12、上部顺倾斜层内衬 13、上部逆倾斜层初衬 21、上部顺倾斜层二衬 22、上部逆倾斜层内衬 23、中部顺倾斜层格栅钢架加固层 31、中部顺倾斜层二衬 32、中部顺倾斜层内衬 33、中部逆倾斜层初衬 41、中部逆倾斜层二衬 42、中部逆倾斜层内衬 43、下部导洞初衬 51、下部导洞二衬 52、下部导洞内衬 53、上部中导洞格栅钢架加固层 61、上部中导洞二衬 62、上部中导洞内衬 63。

[0020] 实施例:如图 1 所示,本实施例中适用于陡倾层状岩体的大断面隧道支护体系按其所处位置分为:上部顺倾斜层导洞 I、上部逆倾斜层导洞 II、中部顺倾斜层导洞 III、中部逆倾斜层导洞 IV、下部导洞 V、上部中导洞 VI、核心土区域 VII,其中顺倾斜层导洞和逆倾斜层导洞中的顺倾斜层和逆倾斜层指的都是导洞与陡倾层状围岩 5 之间的相对位置。

[0021] 本实施例中支护体系的施工方法包括以下步骤:

① 先行开挖上部顺倾斜层导洞 I,施作格栅钢架加固层 11、临时支撑 6、上部顺倾斜层格栅钢架加固层 11 和上部顺倾斜层二衬 12,其中上部顺倾斜层格栅钢架加固层 11 和上部顺倾斜层二衬 12 分别作为上部顺倾斜层导洞 I 的第一层衬砌和第二层衬砌,而临时支撑 6 用于支撑该两层衬砌。

[0022] ② 开挖上部逆倾斜层导洞 II,上部逆倾斜层初衬 21 和临时支撑 6。

[0023] ③ 开挖中部顺倾斜层导洞 III,施作中部顺倾斜层格栅钢架加固层 31、临时支撑 6 和中部顺倾斜层二衬 32。

[0024] ④ 开挖中部逆倾斜层导洞 IV,施作中部逆倾斜层初衬 41 和临时支撑 6。

[0025] ⑤ 开挖下部导洞 V,施作下部导洞初衬 51 和临时支撑 6。

[0026] ⑥ 开挖上部中导洞 VI,施作上部中导洞格栅钢架加固层 61、临时支撑 6 和上部中导洞二衬 62。

[0027] ⑦ 开挖核心土区域 VII,施作该部分下部导洞初衬 51。

[0028] ⑧ 切除临时支撑 6,施作上部顺倾斜层内衬 13、上部中导洞内衬 63、上部顺倾斜层二衬 22 和上部逆倾斜层内衬 23、中部顺倾斜层内衬 33、中部逆倾斜层二衬 42 和中部逆倾斜层内衬 43、下部导洞二衬 52 和下部导洞内衬 53。上述每个步骤中施作临时支撑 6 指的是施作临时支撑 6 的一部分,即如图 1 所示,临时支撑 6 的每一部分分别对应配合各个导洞处的衬砌以支撑陡倾层状岩体 5。

[0029] 本发明各锚杆(上部逆倾斜层径向锚杆 2、竖向锚杆 3 和水平锚杆 4)按如下顺序施工:①施作格栅钢架加固层 11 时施工与格栅钢架加固层 11 位置对应部分的竖向锚杆 3 和部分水平锚杆 4;②施作上部逆倾斜层初衬 21 时施工上部逆倾斜层径向锚杆 2;③施作中部顺倾斜层格栅钢架加固层 31 时施工其对应位置上的水平锚杆 4;④施作上部中导洞格栅钢架加固层 61 时施工部分上部逆倾斜层径向锚杆 2 和对应位置上的竖向锚杆 3。所述的锚杆与格栅钢架加固层或者初衬固接。

[0030] 本发明的施工方法所采用的施工步骤,其优势在于较危险的顺层导洞进行先开挖和加强支护,如格栅钢架加强层和二衬同时施作,有助于对整个施工流程岩体的稳定性进行控制。采用三层衬砌圈,在有临时支撑的情况下,施工顺倾斜层导洞的格栅钢架加固层以及喷射混凝土二衬,使隧道危险区域在临时支撑切除后支护结构具有更好的强度和刚度,使支护结构在天窗时间的危险时刻能保持稳定,危险导洞的稳定修建为后续施工打下良好基础,这样在陡倾层状岩体情况下能够快速、安全地修建大断面隧道。

[0031] 同时,施工方法采用对称开挖的顺序,即上部顺倾斜层导洞 I 和上部逆倾斜层导洞 II 相对称,中部顺倾斜层导洞 III 和中部逆倾斜层导洞 IV 相对称,下部导洞 V 的两部分相对称,这样一来,可有效控制陡倾层状岩体的荷载。

[0032] 总而言之,按照图 1 和图 2,施工方法的最大特点是,上部顺倾斜层导洞 I、上部中导洞 VI、中部顺倾斜层导洞 III 在有临时支撑 6 的情况下施工各自导洞相应的格栅钢架加固型初衬以及喷射混凝土二衬,但上部逆倾斜层导洞 II、中部逆倾斜层导洞 IV、下部导洞 V 在有临时支撑的情况下只施工各自导洞相应的初期衬砌。在切除临时支撑后,上部顺倾斜层导洞 I、上部中导洞 VI、中部顺倾斜层导洞 III 开始施作相应的第三重内衬,上部逆倾斜层导洞 II、中部逆倾斜层导洞 IV、下部导洞 V 同时施作喷射混凝土二衬和第三重内衬。

[0033] 如图 1 和图 2 所示,在初衬的外围还设置有围岩加固型支护结构。围岩加固型支护结构包括上部逆倾斜层径向锚杆 2、上部中导洞及顺倾斜层竖向锚杆 3、上部中导洞及顺倾斜层水平锚杆 4 以及超前围岩加固支护 1。超前围岩加固支护 1 布置于上部三个导洞顶部范围内,上部逆倾斜层锚杆 2 沿隧道轮廓均匀径向打入上部逆倾斜层导洞 II 以及中导洞 VI 逆倾斜层部位。上部中导洞及顺倾斜层导洞竖向锚杆 3 往垂直方向打入陡倾层状围岩 5。上部中导洞及顺倾斜层水平锚杆 4 往水平方向打入陡倾层状围岩 5。上部中导洞及顺倾斜

层导洞竖向锚杆 3 和上部中导洞及顺倾斜层水平锚杆 4 的另一端分别与初衬连接固定。

[0034] 上部中导洞及顺倾斜层竖向锚杆 3 和上部中导洞及顺倾斜层水平锚杆 4 的设置形式使施工中锚杆施设避免了锚杆沿径向打入不能对陡倾岩体有效锚固的弊端。同时,在实际工程中由于岩层角度随施工推进易发生变化,锚杆的直接竖向、水平打入也避免了施工中刻意寻找精准角度使锚杆与陡倾岩层成最优夹角的弊端,竖向和水平锚杆的组合已能保证对陡倾岩层的有效锚固,更为重要的是此种做法极便于实际施工。

[0035] 如图 1 所示,本实施例施工完成后的支护体系为由初衬、二衬和内衬所构成的三层结构,其中初衬、二衬和内衬由外及内依次布置。

[0036] 构成全环初期衬砌(初衬)的包括:上部顺倾斜层格栅钢架加固层 11、上部逆倾斜层初衬 21、上部中导洞格栅钢架加固层 61、中部顺倾斜层格栅钢架加固层 31、中部逆倾斜层初衬 41、下部导洞初衬 51,相邻的初衬之间固定连接。位于顺陡倾层状围岩 5 倾斜方向上的初衬均采用格栅钢架加固层,重点加固顶部的强度和刚度,在提高支护稳定性的同时,又便于施工。

[0037] 构成全环二次衬砌结构(二衬)的包括:上部顺倾斜层二衬 12、上部逆倾斜层二衬 22、上部中导洞二衬 62、中部顺倾斜层二衬 32、中部逆倾斜层二衬 42、下部导洞二衬 52,相邻的二衬之间固定连接。

[0038] 构成全环内部第三重支护结构(内衬)的包括:上部顺倾斜层内衬 13、上部逆倾斜层内衬 23、上部中导洞内衬 63、中部顺倾斜层内衬 33、中部逆倾斜层内衬 43、下部导洞内衬 53,相邻的内衬之间固定连接。临时支撑 6 架设在内衬内部,用于支撑各导洞的各层衬砌。在初衬的外围还设置由上部逆倾斜层径向锚杆 2、上部中导洞及顺倾斜层竖向锚杆 3、上部中导洞及顺倾斜层水平锚杆 4 以及超前围岩加固支护 1 构成的围岩加固型支护结构。

[0039] 本实施例在具体实施时:上部中导洞及顺倾斜层竖向锚杆 3 和上中部顺倾斜层水平锚杆 4 的长度为上部逆倾斜层径向锚杆 2 的 1.3-1.8 倍。

[0040] 超前围岩加固支护 1 可以为超前小导管或超前锚杆。超前小导管或超前锚杆均与格栅钢架加固段(上部顺倾斜层格栅钢架加固层 11、中部顺倾斜层格栅钢架加固层 31、上部中导洞格栅钢架加固层 61),即与位于顺陡倾层状围岩 5 倾斜方向的初衬牢固连接。超前小导管或者超前锚杆的外插角为 10° - 20° ,沿纵向搭接长度为 0.5-1.0m。初期支护采用的锚杆(上部逆倾斜层径向锚杆 2、上部中导洞及顺倾斜层竖向锚杆 3、上部中导洞及顺倾斜层水平锚杆 4)采用直径 22.5 砂浆锚杆,沿开挖轮廓线横向间距为 0.6-1.2m,沿隧道轴向间距为 0.6-1.2m。

[0041] 初衬可以由喷射混凝土和钢筋网组成;格栅钢架加固层可以由格栅钢架、喷射混凝土、钢筋网以及纵向连接筋组成;二衬和内衬可以由钢筋混凝土组成,临时支撑 6 由定位锚杆、喷射混凝土层以及埋设于内的钢架结构组成。

[0042] 虽然以上实施例已经参照附图对本发明目的的构思和实施例做了详细说明,但本领域普通技术人员可以认识到,在没有脱离权利要求限定范围的前提下,仍然可以对本发明作出各种改进和变换,如:二衬或内衬的组成、衬砌的形状、大小等,故在此不一一赘述。

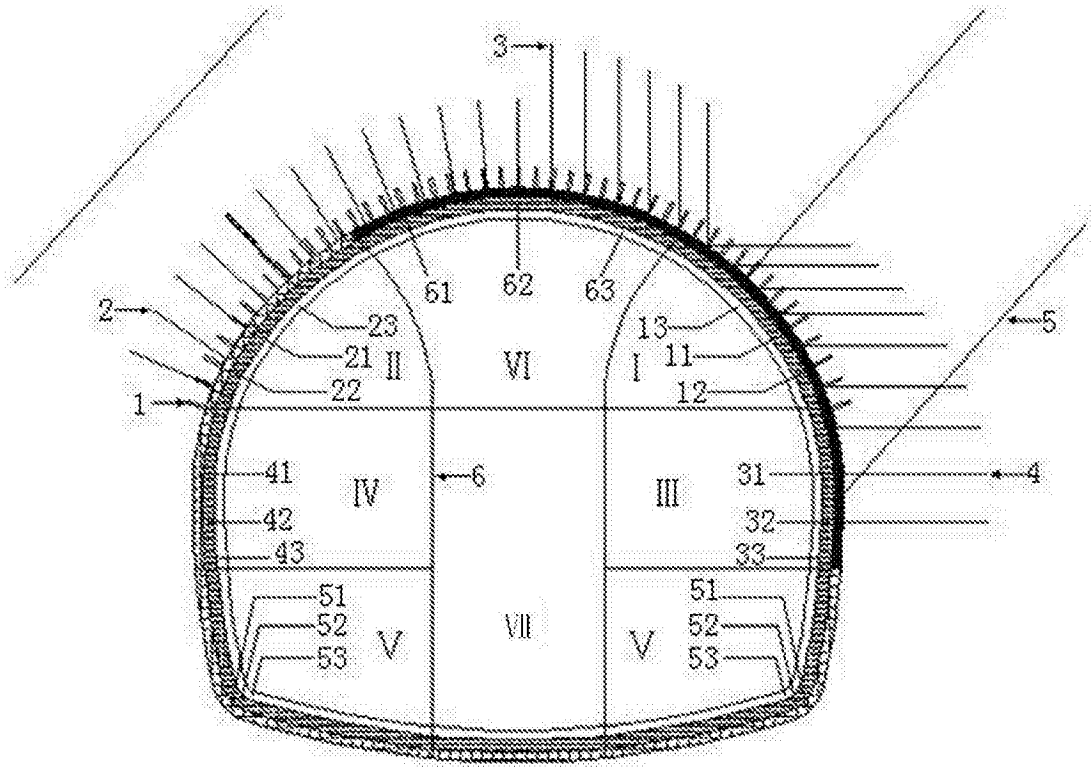


图 1

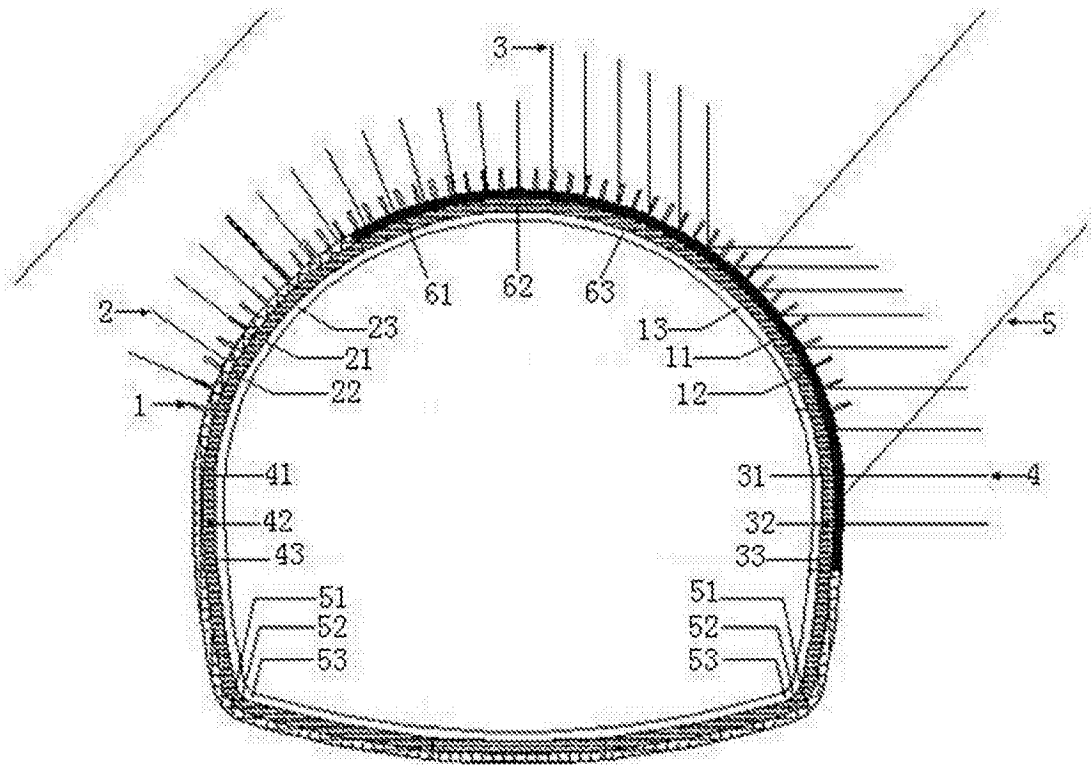


图 2