

文章编号: 0451-0712(2006)05-0219-04

中图分类号: U455.2

文献标识码: B

中导洞—核心土工艺施工 三车道公路连拱隧道成功探索

姚振凯¹, 黄运平¹, 杨敦才², 梁明生²

(1. 武汉市俊博市政工程公司 武汉市 430101; 2. 中水五局 成都市 610066)

摘 要: 在 V 级围岩条件下采用中导洞—核心土工艺代替“三导洞”先墙后拱工艺, 开挖三车道公路连拱隧道获得成功, 条件是按原“三导洞”先墙后拱法设计的支护参数基本不变, 隧道侧墙底围岩较好, 接近 IV 级。这一成功探索对三车道公路连拱隧道的设计与施工, 具有一定的指导和借鉴意义。

关键词: 公路连拱隧道; 中导洞—核心土工艺; 开挖; 成功探索

前人对公路连拱隧道设计和施工的论述, 以“三导洞”工艺多, 中导洞工艺少; 以先墙后拱二次衬砌多, 全断面一次性二次衬砌少; 以二车道连拱隧道多, 三车道连拱隧道少。尤其是在 IV、V、VI 级软弱围岩条件下, 几乎全用“三导洞”先墙后拱工艺设计和施工。

这里要建议的是, 不要把中导洞—双侧壁导洞工艺称之为三导洞工艺, 以免与四连拱隧道的左中右三导洞工艺相混淆, 福州市象山四连拱隧道设计中就采用了左中右三导洞方案^[1]。众所周知, 双连拱隧道的中导洞是专为中墙设立的, 不宜与正洞分部开挖的先行导洞等同并论, 有着概念性的区别。但考虑到已习惯用三导洞, 故建议在“三导洞”上加引号, 以示区分。

近年在二车道连拱隧道施工中, 有的施工单位把设计为“三导洞”先墙后拱工艺, 优化为“三导洞”全断面衬砌工艺, 或变更为中导洞—台阶工艺施工^[2~4]。我们也曾在 2002 年把设计为“三导洞”先墙后拱工艺, 变更为中导洞—核心土工艺施工二车道连拱隧道^[5]。但三车道连拱隧道用中导洞—核心土工艺施工, 尚未见文献报导。对此, 我们在三车道公路连拱隧道施工中进行了探索, 并获得成功。

1 中导洞工艺代替“三导洞”工艺的依据和理论基础

中导洞工艺代替“三导洞”工艺的依据, 主要是

通过两种工艺的详细对比和探索试验。“三导洞”工艺的全称是中导洞—双侧壁导洞工艺, 它包括“三导洞”先墙后拱工艺和“三导洞”全断面二次衬砌工艺两种型式, 适用于地质条件很差的软弱围岩内施工。该工艺的原理是把大洞室分解为若干小洞室, 利用小洞室开挖围岩、扰动范围小的有利条件, 构成稳定的初期支护, 即大洞小作、以小代大的原理。由于一次性开挖面积较小, 扰动围岩范围小, 初期支护和二次衬砌封闭及时, 可先进行地基加固, 结构刚度较大, 基脚和拱顶沉降较小, 侧壁导洞开挖还具有进一步的地质预报作用, 故施工比较安全, 在我国连拱隧道兴建的初期阶段及发展阶段之初曾广泛采用。但该工艺存在诸多不足, 最主要的是工序繁多, 需要拆除的临时初期支护多, 工作面狭小, 不能使用大型机械。“三导洞”先墙后拱工艺施工, 不能采用大型液压式钢模板台车进行全断面二衬, 导致拱墙二次衬砌多一条纵向施工缝, 影响美观和施工质量。总之, “三导洞”工艺施工工期长, 工效低, 造价高, 经济效益极差。因此, 在我国连拱隧道的发展阶段后期, 特别是近年施工单位已积累了一些连拱隧道的施工经验后, 只要围岩条件稍好, 大都不使用“三导洞”工艺, 而改用中导洞工艺施工。

中导洞工艺, 是中导洞先行无侧壁导洞的工艺, 正洞开挖和初期支护多是以先拱后墙的顺序, 二次衬砌是采用大型液压式钢模板台车全断面一次性浇

筑。该工艺包括中导洞—核心土工艺、中导洞—台阶工艺、中导洞—全断面工艺等等多种工艺形式。中导洞工艺的优势在于,工序较少且简单,施工干扰少,省去了侧导洞开挖和部分临时初期支护及拆除工序,施工空间较大,便于使用大型机械设备,施工质量易于保证。与“三导洞”先墙后拱工艺比较,二次衬砌减少了一条纵向施工缝,提高了美观程度和施工质量。在确保施工安全的同时,可加快进度、缩短工期、提高工效、降低造价,因而获得广泛应用。当然,中导洞工艺也存在不足之处,集中表现在中墙易于下沉,正洞拱部和侧墙沉降较大,且中墙与拱顶、侧墙并非同步下沉等。这些不足只要事先采取有力措施完全可以克服,如加强地质预报和监控量测,对中墙和侧墙地基在开挖后先进行加固,加强拱部锁脚锚杆等等。因此,近年有中导洞工艺在一定条件下取代“三导洞”工艺之趋势,并已有不少成功实例,如浙江衢窑高速公路的大洋滩隧道、金丽温高速公路的骨塘隧道和江西赣定高速公路的迳古潭一号隧道等等。

中导洞工艺代替“三导洞”工艺的理论基础,主要是模拟实验和岩体风化垂直分带。李俊、李泳伸、王志杰、贾刘强认为,中导洞—正洞台阶开挖法与中导洞—双侧壁导洞开挖法相比,减少了左右侧导洞开挖。根据如表 1 所示的围岩单元屈服接近度的比较,有侧导洞的施工方法,虽然围岩屈服接近度总体稍好,但与无侧导洞时差别不大。理论研究证实,在Ⅱ级围岩中,取消左右侧导洞的施工方法也是可行的。虽然文中未明确说明是否包括三车道连拱隧道,但其研究结论仍可借鉴。

表 1 围岩单元屈服接近度比较(最大值)^[6]

项目	中墙顶	拱顶	拱脚	边墙脚	1/4 仰拱	1/2 仰拱
有侧导洞	0.83	-0.22	0.29	-0.73	0.55	2.30
无侧导洞	0.02	-0.60	0.89	1.06	1.01	1.39

在地质理论上,自然界的地质岩体普遍存在垂直风化分带。连拱隧道由于多属浅埋,开挖垂幅较大,一般达在 11 m 左右,围岩垂直风化分带现象普遍且明显。在隧道开挖中常见拱部为全风化~强风化岩带,中部为中风化~弱风化岩带,底部为微风化~未风化的新鲜围岩带。而隧道围岩定级主要是按顶部较差的围岩为准,拱顶围岩与底部围岩级别,相差可达到一个级别。从我们施工过的一些连拱隧道看,除靠近洞口段外,其余部位仰拱的围岩接

近Ⅳ级,这就为中导洞—核心土工艺施工代替“三导洞”工艺提供了地质理论依据。

2 中导洞—核心土工艺施工三车道连拱隧道实例

2.1 工程概况

马鞍山隧道位于武汉市蔡甸区新农镇新全大道北段,是一座三车道市政连拱隧道,长 385 m,建筑限界净宽 31.5 m,最大开挖宽度为 34.22 m,开挖垂幅 11.46 m。隧道所在区域地貌单元为剥蚀低山区,进出口为垆岗剥蚀残丘。隧道穿越的山体海拔高度为 80 m,隧洞最大埋深约 44 m,属典型浅埋连拱隧道。隧道围岩为中志留统坟头组(S_{2f})的页岩、泥质粉砂岩及其互层(出口段)和上泥盆统五通组(D_{3w})的紫红色、浅黄色石英砂岩及其与白色、浅灰色薄层页岩互层(进口段)。围岩级别设计定为Ⅴ级和Ⅳ级。志留纪和泥盆纪岩层产状相近似,总体岩层倾向北东 $15^\circ \sim 35^\circ$,倾角 $25^\circ \sim 45^\circ$,两者之间为平行不整合,未发现明显的断层接触或角度不整合。在构造形态上,马鞍山隧道横穿近东西向延伸的马鞍山背斜北翼,断裂构造不甚发育,仅在隧道出口仰坡见两条断层构造带,其中: F_1 号断层紧靠中导洞西侧分布,断层倾向东 91° ,倾角 76° ,断层破碎岩带宽度 2~3 m; F_2 号断层在左洞断面内分布,断层产状倾向西 275° ,倾角 45° ,断层破碎岩带宽度 1~3 m,如图 1 所示。隧道地下水总体不发育,主要在隧道进出口处有地表孔隙潜水和基岩风化裂隙水分布。但在出口段两条断层带及其夹持区内,围岩渗漏水明显,尤其是下雨后渗漏水量急剧加大。

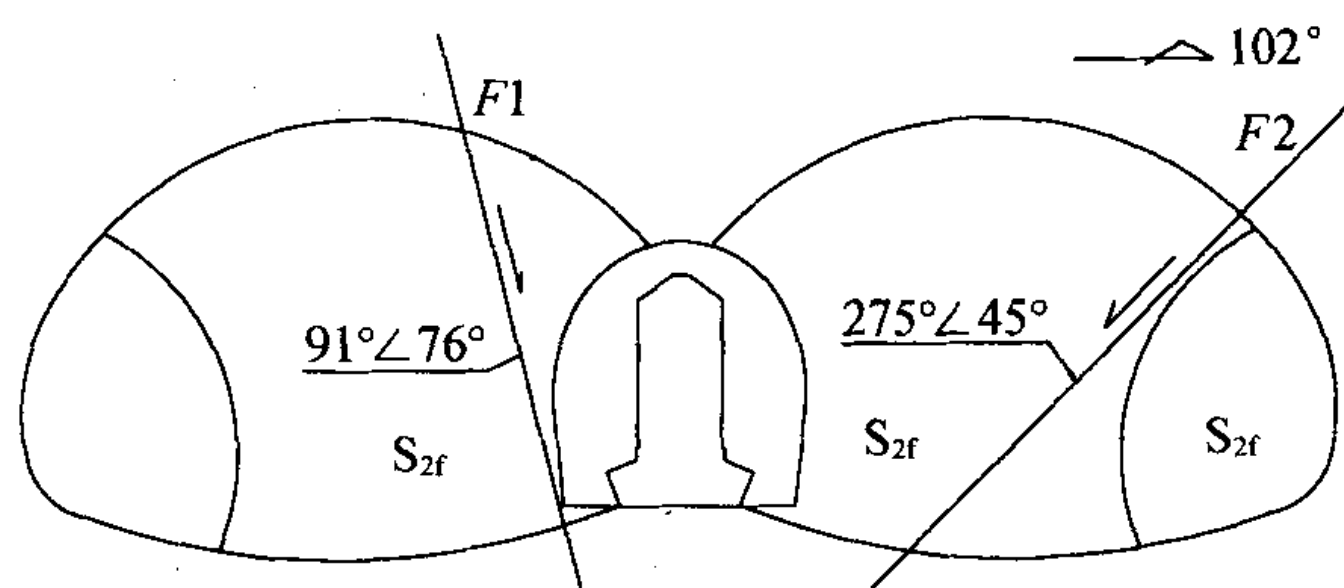


图 1 马鞍山隧道出口仰坡地质剖面

2.2 中导洞—核心土工艺方案的产生过程

我们是在用中导洞—核心土工艺施工二车道连拱隧道获得成功的基础上,进一步对三车道连拱隧道进行探索。但毕竟三车道连拱隧道跨度更大,心里没底,把握不大,更何况施工设计图中明文指出的指导性施工方案是“三导洞”先墙后拱工艺,且变动工

艺方案须经设计部门和建设单位的认可。

因此,只能先按“三导洞”先墙后拱工艺施工。当中导洞开挖支护和中墙施工完成后,着手开挖东正洞出口侧壁导洞时, F_2 断层构造破碎带恰好在东侧壁导洞顶部和内侧临时支护线通过(见图1),东正洞拱部正处于 F_1 、 F_2 断层所夹持的松软破碎岩段内,导致侧壁导洞临时支护一侧的松软破碎岩体和超前支护的注浆小导管一并坍塌。拱部围岩实际变为Ⅵ级,而侧边墙的围岩却明显比正洞拱部好,拱脚围岩却为完整性较好接近Ⅳ级的围岩。于是,根据变化了的实际地质条件,向设计部门和业主申报临时变更施工方案,东正洞暂时停止侧壁导洞开挖,而改用核心土工艺。即先开挖正洞拱部,其初期支护的工字钢一头搭在中墙上,另一头搭在较牢固的侧墙围岩上, I_{20b} 工字钢的间距由原先的80 cm,加密到50 cm。这一试举顺利通过长达15 m的断层破碎岩段,为我们正式申报施工方案变更提供了实践依据,增强了采用中导洞—核心土工艺方案的信心。

在拟编正洞施工方案中,是在拱墙初期支护参数按原设计不变、不增加工程造价前提下拟定的。起初,担心正洞侧边墙围岩可能会产生变化,提出两种工艺方案:第一方案是,正洞三台阶开挖,即拱部留核心土开挖,把原设计侧导洞的侧墙分成两个台阶开挖,并采用拉槽开挖侧墙台阶,既可不用台架开挖和支护,对施工又比较安全和方便,然后开挖核心土;第二方案与第一方案不同之处是,拱部留核心土开挖后,先开挖核心土,后开挖侧边墙,并把中下台阶合并一次开挖,认为侧墙部位围岩较好,可省略一个台阶的开挖支护工序。施工中采用了第二方案,形成本文的中导洞—核心土工艺施工三车道连拱隧道的方案。

更有意义的是,我们在东正洞采用中导洞—核心土工艺获得成功之后,同样用此工艺治理西正洞拱部长达25 m的通天塌方段,也获得成功。条件是初期支护的 I_{20b} 工字钢每榀间距由Ⅴ级围岩的60 cm变为Ⅵ级围岩的50 cm。此外,还采用了一系列技术措施,诸如从地表对塌方体进行注浆加固后,严禁爆破开挖,而采用液压破碎锤代替风镐开挖,确保施工人员的安全,提高工效,加快掘进速度,每循环进尺50 cm;加大拱脚锁脚锚杆力度,控制拱部下沉;加强地质观察和预报,每循环开挖围岩之后,进行地质观测和预报;加大监控量测力度,坚持每天两次监控量测等等。

经过10个月按中导洞—核心土工艺施工,顺利地完成了隧道正洞施工。监控量测结果表明,各项支护和衬砌参数能满足地质条件要求。施工实践证明,采用中导洞—核心土工艺施工软弱围岩的三车道连拱隧道,取代“三导洞”开挖方案是可行的。

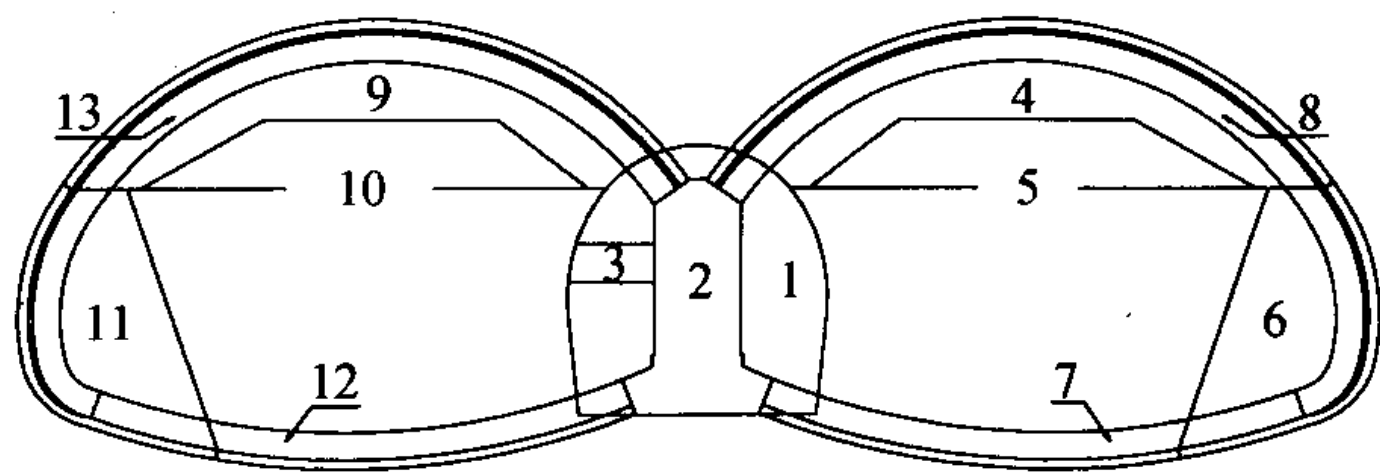
3 中导洞—核心土工艺原理和步序及工艺要点

3.1 工艺原理及其优缺点

中导洞—核心土工艺施工三车道连拱隧道的原理是,中导洞贯通和中墙施工完成后,正洞开挖和初期支护是采用先拱后墙的工序。即拱部留核心土开挖及初期支护,接着开挖核心土,然后进行侧墙开挖和初期支护,施作仰拱,最后全断面二次衬砌。该工艺有许多优点,主要是工艺流程简单,工序较少,围岩开挖扰动次数比“三导洞”工艺方案少,无需开挖侧壁导洞和拆除其内侧的临时初期支护,可用大型机械设备施工,拱部超前支护、开挖和初期支护不用搭架,施工方便,快捷安全,工效高,成本低,效益好。另外,此工艺的应变性较强,在隧道围岩条件变差时,较容易改为中导洞—双侧壁导洞工艺;当围岩变好时易改为中导洞—台阶工艺,甚至改为中导洞—全断面工艺,故获得广泛应用。不足之处是,需要一定的围岩条件,即隧道拱脚围岩较好,围岩级别多在Ⅴ级以上。

3.2 工艺步序及工艺要点

中导洞—核心土工艺施工三车道连拱隧道,工艺步序比较简单,以武汉马鞍山隧道为例说明,见图2所示。



1 中导洞开挖和初期支护; 2 中墙施工及顶部回填; 3 中墙偏压侧加撑或回填; 4 右洞拱部开挖和初期支护; 5 右洞核心土开挖; 6 右洞侧墙开挖和初期支护; 7 右洞仰拱施工; 8 右洞全断面二次衬砌; 9 左洞拱部开挖和初期支护; 10 左洞核心土开挖; 11 左洞侧墙开挖和初期支护; 12 左洞仰拱施工; 13 左洞全断面二次衬砌

图2 马鞍山隧道中导洞—核心土工艺步序

工艺要点:

(1)在软弱围岩条件下,坚持“管超前,严注浆;短开挖,弱爆破;强支护,早封闭;勤量测,二衬紧跟;

信息及时反馈,及时修正”的原则;

(2)严格控制爆破进尺和超欠挖,每循环进尺,Ⅵ级围岩50 cm,Ⅴ级围岩80 cm,Ⅳ级围岩150 cm;

(3)开挖后,立即进行初期支护,缩短围岩暴露时间,确保喷射混凝土的强度和厚度,并紧贴岩面;

(4)仰拱超前,二次衬砌距开挖面不超过30 m;

(5)如发现局部边墙围岩变差,应用拱脚锁脚锚杆加强初期支护,控制拱顶下沉;

(6)左右洞掌子面开挖,应错开50 m以上,确定左右洞开挖间距的原则是,先行洞二次衬砌达到一定强度后,再进行后行洞开挖,以减少后行洞开挖对先行洞的不利影响。

3.3 建议采用的有关参数

根据武汉马鞍山隧道施工图设计及现行的公路隧道设计规范,结合我们的施工实践,提出三车道连拱隧道的有关参数见表2。

表2 三车道公路连拱隧道有关参数

项 目		I 级围岩	Ⅱ级围岩	Ⅲ级围岩	Ⅳ级围岩	Ⅴ级围岩	Ⅵ级围岩
超前支护				砂浆锚杆	中空注浆锚杆	小导管注浆,洞口大管棚	
循环开挖进尺/cm				150	120	80	50
初期支护	喷射混凝土/cm	10	12	15	15~20	20~25	27
	锚杆类型	砂浆锚杆	砂浆锚杆	砂浆锚杆	注浆锚杆	注浆锚杆	注浆锚杆
	锚杆长度/m	2.5	3.0	3.5	4.0	4~4.5	4.5
	锚杆间距/cm	150×150	150×120	100×120	100×100	100×100	100×50
	钢架/cm		需要时设	120	100	80	50
	钢筋网/(cm×cm)	25×25	25×25	20×20	20×20	15×15	15×15
二次衬砌	中墙/cm	210~350	210~350	210~350	210~350	210~350	210~350
	拱墙/cm	40/35*	45/40*	50/45	60/50	70/60	80
	仰拱/cm	40/35*	45/40*	50/45	60/50	70/60	80
	明洞/cm				70	80	80

注:1 斜线上为浅埋偏压段参数,斜线下为非偏压段参数;

2 表中带*的为C25素混凝土,其余为C25钢筋混凝土。

3.4 中导洞—核心土工艺与“三导洞”先墙后拱工艺对比

采用中导洞—核心土工艺施工三车道连拱隧

道,与采用“三导洞”先墙后拱工艺对比见表3,两种工艺有着明显的差别。

表3 中导洞—核心土工艺与“三导洞”先墙后拱法工艺对比

对比内容	中导洞—核心土工艺	“三导洞”先墙后拱工艺
1 围岩条件	较好,侧墙底围岩为Ⅴ级以上	较差,侧墙地基需加固
2 导洞数量	1(中导洞)	3(中导洞和左右侧壁导洞)
3 拆除临时初期支护次数	2(中导洞左右侧)	4(中导洞两侧,侧壁导洞左或右侧)
4 工序数量,拱墙初期支护和二次衬砌连接	少8个(两侧壁导洞开挖、初期支护、防水层和二次衬砌),方便	多8个(两侧壁导洞开挖、初期支护、防水层和二次衬砌),不便
5 围岩扰动次数,开挖面积	较少,较小(两种方案相近)	较多,较小(两种方案相近)
6 二次衬砌及施工缝	全断面二衬,每洞少一条纵缝	拱墙分开二衬,每洞多一条纵缝
7 初期支护和二衬封闭	拱墙封闭慢	拱墙封闭及时
8 大型机械设备应用	方便	不便
9 工期	较短	较长
10 工效和造价	工效高,工程造价低	工效低,工程造价高

文章编号: 0451-0712(2006)05-0223-05

中图分类号: U453.5

文献标识码: B

公路隧道通风设计若干问题探讨

吕康成, 伍毅敏

(长安大学公路学院 西安市 710064)

摘 要: 长大公路隧道的通风系统工程造价高、运营能耗大, 通风系统设计合理与否, 对长大隧道工程建设有重要影响。现行的《公路隧道通风照明设计规范》(JTJ 026.1-1999) 在隧道自然风阻力计算、根据稀释烟雾计算隧道需风量、竖井送排式通风系统中“不应有短道回流”等方面存在一定问题。在分析论证的基础上提出: (1) 隧道自然风阻力应由自然风等效压差确定, 在缺少工程实地观测资料的情况下, 假定隧道自然风阻力为常量, 并在 10~30 Pa 之间取值; (2) 依据稀释烟雾计算隧道需风量时, 在公式中应引入烟雾的质量浓度或烟雾的体积浓度, 并用其替代公式中的一般烟雾浓度; (3) 竖井送排式通风系统中宜变短道顺流为有控制的回流。

关键词: 公路隧道; 通风; 自然风; 烟雾浓度; 短道回流

随着我国公路建设的快速发展, 公路隧道越多, 越建越长, 长度超过 3 000 m 的特长公路隧道大量出现。由于稀释长大公路隧道内的有害气体比较困难, 所以长大公路隧道建设中面临的首要问题便是隧道的通风问题。复杂的长大隧道通风系统不仅使隧道工程造价急剧增加, 而且隧道运营费用也大幅上升。日本的惠那山二线隧道 ($L=8\ 625\text{ m}$) 采用了静电集尘器与竖井送排风相结合的通风方式, 以隧道通风为主的安全服务设施的工程造价占隧道总造价的 60%; 我国在建的秦岭终南山特长公路隧道 ($L=18\ 020\text{ m}$), 仅通风竖井就有 3 座, 其通风设施的规模在国际上也名列前茅, 耗资巨大, 其运营期的通风费用亦相当可观。所以, 在全国倡导节约型社会的背景下, 认真搞好长大隧道的通风设计对公路建设的可持续发展具有重要意义。现行的《公路隧道通风照明设计规范》(JTJ 026.1-1999)

(以下简称《规范》) 是隧道通风设计的依据, 其中还给出若干设计计算示例, 对我国公路隧道通风设计影响很大。笔者认为上述规范中的一些公式与结论存在问题, 它们对长大隧道通风系统的经济性与可靠性的影响尤为突出。本文拟就有关问题进行讨论。

1 自然风对隧道通风的影响问题

1.1 隧道两洞口等效压差

自然状态下隧道内产生的风流称为隧道自然风。隧道自然风由隧道外的自然风和隧道内外的温度差引起。设某单向坡隧道长度为 L , 两洞口的高差为 H , 见图 1 所示, 洞外的自然风和洞内自然风的方向由左向右流动, 根据流体力学的能量方程, 可以建立自然条件下隧道的各种压差与隧道阻力之间的平衡方程:

收稿日期: 2005-11-10

参考文献:

- [1] 周则天. 四连拱大跨度浅埋隧道的设计[J]. 世界隧道, 1999, (1).
- [2] 翟朝晖. 连拱隧道新施工方法浅谈[J]. 西部探矿工程, 2003, (6).
- [3] 林刚, 何川. 连拱公路隧道施工方法模型试验研究[J]. 现代隧道技术, 2003, (6).
- [4] 林兴锴, 张士杰. 单导洞方案在骨塘连体隧道的应用[J]. 公路, 2005, (10).
- [5] 姚振凯, 黄运平, 彭立敏. 公路连拱隧道工程技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [6] 李俊, 李泳伸, 王志杰, 贾刘强. 双联拱隧道开挖技术探讨[J]. 现代隧道技术, 2003, (4).
- [7] 柯小华, 乔春江, 梁巍. 马鞍山隧道施工图设计[Z]. 2004.
- [8] JTJ D70-2004, 公路隧道设计规范[S].