

# 钻爆法施工隧道除尘降温设备的研制与应用

薛江松

中铁隧道局集团有限公司 广东 广州 511458

**摘要:**为降低隧道施工粉尘浓度,研制了一种湿式除尘设备,设备以水为除尘介质,通过水泵驱动介质循环,在通风机作用下,将隧道内粉尘吸入至除尘装置,粉尘与介质的液滴充分接触,结合成颗粒,在重力作用下降至底部。本文重点介绍了引风机、除尘箱体、水循环系统、进风和排风口、粉尘拦截等系统的设计。研制的样机工业性试验,结果表明:设备处理能力为 $2000\text{m}^3/\text{min}$ ,可以在10-15分钟内将双线铁路隧道的粉尘量降至合格标准,能降低隧道温度 $1\sim 2^\circ\text{C}$ ,改善作业环境。

**关键词:**钻爆隧道;除尘设备;湿式除尘;风幕

## 引言

我国隧道工程整体向着“长、大、深”的方向发展,在钻爆法施工的长大隧道,遇到施工区域因开挖爆破、装碴运输、喷射混凝土、处理欠挖等工序,产生大量粉尘;随着开挖深度的增加,隧道的封闭性增强,与外界环境的联系降低;随着隧道施工设备增加,隧道内氧气含量减少,导致内燃发动机燃烧不充分,产生大量的油污和烟雾,刺鼻气味浓,对施工人员的健康造成很大危害。

为降低隧道粉尘浓度和温度,国内学者做了大量的研究工作,文献1结合隧道通风特点,研制了一种降温除尘箱,在采用压入式隧道通风技术基础上,设置两层喷雾装置对空气进行喷淋,除去空气中的大部灰尘和杂质;文献2对隧道爆破后的粉尘运动规律进行研究,研制了一种干式除尘设备,可快速收集过滤粉尘,有效防止粉尘向洞口扩散;上述设备的研制,存在雨雾难收集,油烟难清除、过滤器清洗工作量等问题。

## 1 设计背景

某高速铁路老马岭隧道全长3639米,属于II级风险隧道,洞身围岩主要为奥陶系灰岩,岩质坚硬,采用全断面法施工。隧道内大气压力 $740\sim 760\text{KPa}$ ,温度 $20\sim 36^\circ\text{C}$ ,相对湿度 $78\%\sim 95\%$ 。隧道原除尘方式为压入式通风除尘,定期向地面洒水。随着开挖进尺加深,掌子面离洞口1Km时,爆破后,掌子面作业环境极差,存在黑烟和刺鼻味道,通风80min以上,掌子面空气质量才能得以改善<sup>[1]</sup>。

隧道采用2号岩石乳化炸药进行爆破施工。在隧道开挖爆破、装碴运输、喷射混凝土等施工工序过程中产生大量粉尘。传统除尘工艺是隧道口设置通风机,采用风筒压入新鲜空气。为加快改善作业面的施工环境,应增设一种新型主动式除尘设备,隧道除尘设备整车性能稳定、具备

寿命周期内少维护。设计思路按下列要求考虑:

- (1) 快速除尘,缩短开挖关键路线时间;
- (2) 最大限度除去粉尘中爆破产生的粉尘及氮氧化物等刺激性气体,减少逃逸量;
- (3) 具备便捷的移动性能,能满足多个作业工作面设备资源的共享;
- (4) 具备友好的人机操作界面,操作简单,信息化、智能化程度高。

## 2 除尘降温设备系统设计

### 2.1 使用边界条件

根据钻爆法施工隧道空气湿度大、粉尘多、噪音大、光线暗、视野不良等环境特点。本文设计设备满足成型截面 $150\text{m}^3$ 的隧道。通过观察和分析爆破后的粉尘状态,爆破40min后,粉尘主要集中在距掌子面70m范围内,在通风机的作用下逐渐向下、向洞口移动,距掌子面45m粉尘浓度 $60\text{mg}/\text{m}^3$ ,距掌子面150m粉尘浓度 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 。

### 2.2 工作原理

设备采用湿式除尘技术,以水为主要除尘介质,在内部添加适当外加剂,通过水泵驱动降尘介质循环,在引风机作用下,将隧道内因施工作业产生的粉尘通过可调节进风口吸入除尘箱体,进入风管的粉尘与降尘介质的液滴充分接触,进而结合成较大的颗粒,在重力作用下降至箱体底部,随着水流沉淀在积泥池。当泥池内污泥量达到一定量时,进行排污处理。对于极细小的尘粒和烟雾,与水雾充分结合后,通过除尘箱体内部布置的弹性填料层,在重力及撞击、变速、变向等作用下被拦截下来,被拦截的颗粒逐渐变大,随着填料的晃动落至水箱底部,保证出口排出洁净的气体。由于水的汽化吸收一定热量,在除尘的同时,在一定程度上降低隧道内温度<sup>[2]</sup>。

### 2.3 结构组成

中图分类号: U451+献标志码: A

根据设备使用边界条件和工作原理,设备实物见图1,设备主要由下列9大系统组:①除尘箱体、②水循环系统、③污水积泥池、④引风机、⑤可调节进风口、⑥排风口、⑦粉尘拦截系统、⑧行走底盘、⑨智能控制系统。



图1 除尘设备外观图

#### 2.4 性能参数

表1 主要性能参数

序号	技术参数内容	数值	备注
1	外形尺寸 (mm)	9995×2420×3900	
2	底盘功率 (Kw)	132	
3	处理箱容积 (m <sup>3</sup> )	30	
4	水箱容积 (m <sup>3</sup> )	5	
5	风机功率 (Kw)	90	
6	处理能力 (m <sup>3</sup> /min)	2000	
7	控制方式	智能控制	

#### 2.5 引风机的设计

根据隧道成型截面尺寸,爆破后粉尘距掌子面距离,施工设备摆放布置等信息,为达到快速收集粉尘,采用离心式通风机,设备停靠在距离掌子面100m米,考虑粉尘的逃逸,扩散、稀释等因素。单次除尘需要处理的含粉尘气体体积为:

$V = n \cdot S \cdot L = 2 \times 150 \times 100 = 30000 \text{ (m}^3\text{)}$  式中: n 设备处理能力系数,取2; S隧道截面面积,取150m<sup>2</sup>; L 设备位置距离掌子面距离,取100m。

为满足设备15min内将掌子面粉尘处理,降至合格标准排放。风机处理能力2000m<sup>3</sup>/min,全压2800Pa,转速3000rad/min,功率110Kw。

#### 2.6 除尘箱体的设计

除尘箱体主要作用是提供足够空间,让粉尘与水雾充分接触,逐步形成大颗粒,通过拦截系统,降落至水箱底部。根据隧道断面尺寸,考虑车辆外形尺寸不超过国家标准,箱体采用不锈钢材质的型材和板材焊接密封性能合格,设备运行参数:①箱体容积 $V = L \cdot B \cdot H = 3 \times 2.4 \times 2.5$

$= 18\text{m}^3$ ; ②粉尘停留时间 $T = V/Q = 18 / (120000/3600) = 0.54\text{s}$ ; ③粉尘水平流速 $v = Q/A = 120000/3600 / (2.4 \times 2.5) = 5.56\text{m/s}$ 。

除尘箱体内的拦截装置采用弹性填料,依靠箱体内提供的固定点形成多层密集拦截网,使粉尘进入箱体后,充分与水雾结合成尘埃颗粒,被拦截在弹性填料表面,流动的气体使网状填料产生抖动,颗粒掉落于箱体底部<sup>[3]</sup>。

#### 2.7 进、出风口的设计

除尘风管的最小空气流速会根据不同的粉尘类别和种类存在一定的差异。结合隧道压入式排风系统,垂直风管最小空气流速不得低于6m/s,水平风管最小空气流速不得低于8m/s。因此,选择进入除尘风管的空气流速按照10m/s设计,从而可以通过公式得到除尘器进风风管的内净空不得小于2m<sup>2</sup>。为提升吸风效果,设备吸风口采用独立双口设计,依靠液压油缸,实现吸风口上下摆动。为防止杂物进入出风口,出风口设计为百叶窗型式,工作时,依靠风机排风压力,将出风口叶片打开,停止工作时,叶片自动关闭。

#### 2.8 水循环系统的设计

为保障除尘箱体内供应足够的水雾,设备配置水循环系统,经过厂内测试,每立方粉尘提供0.2L水雾时,除尘效果最佳,则水循环系统参数:最大用水量 $= 120000 \times 0.2 / 1000 = 24\text{m}^3/\text{h}$ ;水泵型号:65ZX25-70,15kw,水量:25m<sup>3</sup>/h,扬程:70米;通过选型对比,单个喷头在4bar压力下,需求用水量是:10.2L/min,系统内共设置4个并联回路,单个回路设置10个喷头;喷淋系统体需求水量 $= 10 \times 4 \times 10.2 = 408\text{L}/\text{min} = 24.4804\text{m}^3/\text{h}$ ,因此,除尘箱体内布置40个喷头,满足除尘过程用水量的要求。

#### 2.9 粉尘拦截系统的设计

为减少粉尘到达设备停靠位置后,扩散、逃逸至后方,设备设置有拦截系统,将排风口部分洁净空气引入至环形风道内,风道设置可调节角度的风口,依靠排风压力,在设备四周形成一道扇形挡墙,形成一道风幕,可有效拦截粉尘,提升除尘效率。

#### 2.10 行走底盘的设计

为解决除尘设备的移动和设备的共享,单机满足多个掌子面的施工,设备底盘采用工程通用底盘,采用合适的连接件,将除尘箱体固定在底盘上。

#### 2.11 智能控制系统的设计

设备在驾驶室内设置带显示屏的操控系统,系统采用PLC控制,实现风机的启动或停止;风机风量调节;

吸尘口按照设定的时间和速度升降、停顿；缺水报警；污水清洁度报警；水清洁度报警；进风口和出风口粉尘含量显示等功能<sup>[4]</sup>。

### 3 除尘降温设备现场应用

研制的样机进在项目开展工业性试验。试验参照

《工业通风机用标准化风道性能试验》GB1236-2017的方法，2022年3月24日到2022年9月30日在老马岭隧道进行。主要对水泵和风机的性能；进风口和出风口主要参数进行测定，测试结果见下表。

表2 工业性试验数据统计表

序号	测试时间	水泵功率 (Kw)	风机功率 (Kw)	噪音 (dB)	进风口			出风口			设备前24米(ug/m <sup>3</sup> )	设备前48米(ug/m <sup>3</sup> )	设备后24米(ug/m <sup>3</sup> )	设备后48米(ug/m <sup>3</sup> )
					粉尘浓度 (ug/m <sup>3</sup> )	风速 (m/s)	温度 (°C)	粉尘浓度 (ug/m <sup>3</sup> )	风速 (m/s)	温度 (°C)				
1	20:47	12	66	80	406	16	30	390	11	29	410	670	450	402
2	20:50	12	74	78	1923	18	30	725	11	28	2323	3265	652	521
3	20:54	12	82	76	3263	20	30	962	11	27	6962	8356	987	756
4	20:57	12	90	81	10100	22	30	1803	11	26	12050	6356	1323	946
5	21:00	12	90	78	5600	22	29	1430	11	26	7891	5261	923	752
6	21:03	12	90	75	4123	22	29	1230	11	25	4909	2356	842	703
7	21:10	14	90	80	2707	22	29	928	11	24	2818	1723	752	549
8	21:15	14	90	76	1906	22	28	798	11	24	2240	1156	575	480
9	21:22	12	86	74	1289	21	28	523	11	24	1428	675	266	235

分析上述表格，设备各项性能达到设计要求，设备的可靠性、安全性、操控性、适应性均符合国家相关规范，设备主要特点如下：

1、设备对隧道施工产生的粉尘及烟雾的处理率达到75%-80%；

2、爆破后，粉尘10分钟将粉尘移动至设备存放处，风机的通风量和风速大小对粉尘的扩散影响较大，应合理设置隧道风机运行参数；

3、环形风幕对粉尘的封锁效果明显，提高除尘率60%-70%；

4、出风口温度明显低于进风口温度，设备能降低隧道内温度1~2℃；

5、隧道掌子面后120m范围内，设备启动时，除尘时间30-35分钟；设备未启动时，降尘时间为50-60分钟，节约隧道关键线路工序半小时。

#### 结束语

本文以降低钻爆隧道粉尘浓度和温度，改善人原作业环境为背景，结合以往经验，通过对比两种不同的除尘方式，设计了一种湿式除尘设备，设备样机通过工业性试验，结合现场实际应用情况和现场改进，主要结论如下：

1.设备除尘能力强，处理能力2000m<sup>3</sup>/min，可以在10-15分钟内将双线铁路隧道的粉尘量降至合格标准，满足《大气污染物综合排放标准》GB16297-1996的要求；

2.设备除尘的同时，可以吸收爆破产生的刺激性氮氧化物气体，喷射混凝土产生的浆雾，不受污染物干湿程度的影响，改善隧道施工环境；

3.设备所需除尘介质为水，可循环利用周期长，介质内添加试剂，可有效降低隧道内油烟；

4.由于水的汽化要吸收一定热量，可以在一定程度上降低隧道内部温度；

5.自动化程度高，可以在线检测空气中粉尘含量，实现设备的智能化运行；

6.环形风幕，对隧道粉尘、烟雾拦截效果明显，设备除尘效果好。

本文研制的设备作为改善作业环境的必需品，市场应用范围广，建议后续针对工业性试验发现的问题，做进一步研究，研制系列化产品，满足不同隧道断面，提升设备通用性。

#### 参考文献

[1]王三福.探析降温除尘箱在压入式通风隧道中的应用[J].中国机械,2022(27)；

[2]黄建华.干式除尘设备在隧道钻爆法施工中的应用研究[J].工程机械,2022(53)；

[3]陈生.隧道掘进机通风除尘和配套辅助设备的应用[J].公路,2014,59(11)；

[4]闫沁太,基于风冷式冷水机的长大隧道局部降温技术研究[J].隧道建设(中英文),2021,41(12)