

文章编号: 1002-0268 (2003) 02-0047-04

复杂隧道大变化断面钻爆法施工通风研究

杨衡平, 郭晓松, 张 安, 张宝生
(西安高新技术研究所, 陕西 西安 710025)

摘要: 以复杂隧道大变化断面钻爆法施工为学术背景, 以大风量低风压低能耗新型风机为基础, 提出一种主隧道贯通前采用管道压入式通风、贯通后采用巷道式混合通风的组合通风系统, 解决复杂隧道、大变化断面钻爆法施工中的通风技术难题。
关键词: 隧道; 钻爆法施工; 通风系统;
中图分类号: U455.41 **文献标识码:** A

Study on Ventilation System During Construction of Complicated Tunnel with Great Variety Section Drilling and Blasting Method

YANG Hengping, GUO Xiaosong, ZHANG An, ZHANG Baosheng
(Xi'an High & New Technology Research Institute, Shaanxi Xi'an 710025, China)

Abstract: The great flow capacity and the variable forced draft ventilation in different construction phase is required in the ventilation of complicated tunnel with great variety section drilling and blasting method. For solving the difficult problems, a combined ventilation system is designed, based on the low pressure, great flow capacity and power saving fan. Blow method is used in main tunnel and mixed ventilation with laneway ventilation is employed in the side tunnel after the main sap is accomplished. The system played an important role in rapid construction of the complicated tunnel.
Key words: Saps; Ventilation System; Drilling and Blasting Construction

0 引言

本单位目前正在进行一系列特殊隧道施工。相对于一般公路铁路隧道的长隧道、断面几乎不变、一般是直线型的特点, 本系列工程一般距离短、断面变化大、马蹄形主隧道带有各种不同形式的独头隧道。施工采用钻爆法掘进。由于结构复杂, 施工断面变化大, 通风困难, 加上隧道内空气还受到大量内燃机排放的超标尾气的污染, 工作环境十分恶劣。国内外在公路铁路隧道施工中积累了丰富的理论和先进经验, 但对于这种特殊隧道钻爆法挖掘的通风系统, 并没有直接可以借鉴的经验。目前, 施工单位尽管采取了很多措施来改善施工环境问题, 但主要照搬地方铁路隧道施工的经验, 因此通风系统布局不合理、风机技术

指标偏低、风筒漏风严重、管理技术落后, 通风效果根本就没有达到国家环境标准, 烟雾和粉尘极大危害施工人员身体健康, 并给施工带来较大的安全隐患, 严重制约了施工进度。为了加快隧道施工的工程进度并改善施工的工作环境, 解决目前存在的问题, 改造目前的通风系统是十分紧迫的。

1 工程概况

1.1 工程的基本状况

该隧道主体部分分左右两个口同时掘进, 各 500m, 隧道的设计参数基本相同, 断面变化大, 隧道复杂, 施工规模大, 作业面多, 炸药量大。主隧道最大断面积 160m², 最小断面积 25m², 由于挖掘设备限制, 超大断面开挖时采用半断面钻爆开挖, 因此最

大开挖断面积 121m²。所需炸药量最大 1 100kg，最小 160kg。主隧道贯通后，再进行侧隧道挖掘。侧隧道大的共有 6 个，以及一些小型的侧室。侧隧道最大开挖断面 140m²，半断面开挖，炸药量最大 850kg。最小断面 25m²，炸药量最小 160kg。工期紧张，整个工期，从切口到完工，只计划工期 6 个月。为加快施工进度，有时多工作面钻爆法同时施工。采用无轨运输，主要使用的设备（见表 1）内燃机械多，工况不好，尾气污染严重。加之主隧道贯通前后，对总通风量的要求不均衡，通风要求苛刻。

施工工区主要设备 表 1

设备	型号	功率 (kW)	数量 (台)
挖掘机	柳工挖掘机	154	1
装载机	ZL50 装载机	154.3	1
	966J 装载机	175	
	川崎装载机	175	
推土机	220 推土机	162	1
自卸车	1928 奔驰自卸车	210	3
	2628 奔驰自卸车	210	

1.2 目前通风状况

目前施工采用压入式通风，每个主隧道口使用 1 台铁路隧道施工专用的 SD-21 No11（风量 75 200m³/h，全压 4 900Pa）或 PF-110SW5（风量 1 200m³/min，全压 400mmAq）通风机，匹配直径 1.1m 的软管。主隧道贯通以后，侧隧道施工时主要采用小风机鼓风。隧道内环境十分恶劣，存在问题的主要原因是：

- (1) 用的风机风量严重不足、风压过高，风机与风管匹配不合理；
- (2) 风管漏风严重；
- (3) 通风系统布局不合理，主要表现在进风口的污风循环以及出风口的有效射程不能覆盖工作面；
- (4) 通风管理技术落后，没有专门的通风管理机构进行通风管理；
- (5) 通风时间不够，污染空气还没排完就过早停机，造成污染空气循环积累；
- (6) 内燃机设备尾气超标排放，提高了对通风的要求。

2 通风系统方案设计

通过广泛调研，权衡比较，决定主隧道施工采用独头管道压入式通风（图 1）；主隧道贯通以后，对于侧隧道施工，采用巷道式混合通风，以主隧道作风流通，侧隧道短压入式通风（图 2）。这时主风机

的风量原则上应大于各侧坑道所需风量之和，主风机的通风量要求大，而且下游空气受到上游侧隧道施工的影响，空气质量比较差。因此我们与施工单位协调，施工时侧隧道爆破时间错开，避免高峰期，降低对主风机的通风压力。同时主风机选取时选用大风量的，加快上游污风的稀释，解决这个难题。

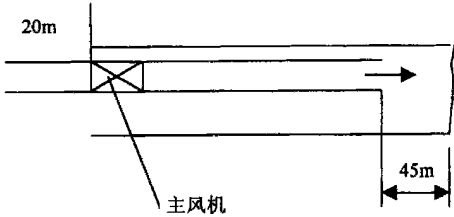


图 1 主坑道通风

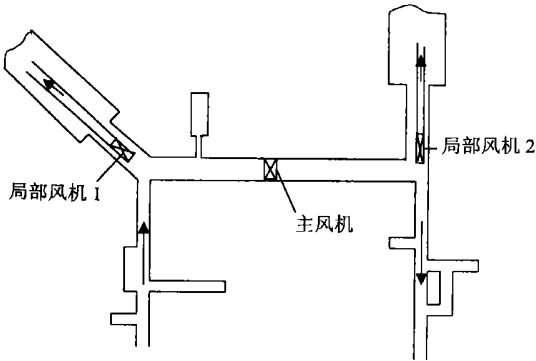


图 2 侧坑道挖掘通风

2.1 确定工作面通风量

2.1.1 主隧道工作面风量

主隧道工作面风量的确定，要考虑以下 4 种情况：
(1) 按消除顶层有害气体和最小风速所需风量

$$Q = 60 \cdot V_{\min} \cdot A \tag{1}$$

式中， $V_{\min}$ 为隧道最小风速，m/s，在此取 0.2 m/s； A 为隧道最大断面积，m²，在此取 160m²。

$$Q = 1\,920\text{m}^3/\text{min}$$

(2) 按隧道内施工人员所需风量

$$Q = q \cdot M \tag{2}$$

式中， q 为每人所需供风标准，在此取 4m³/min·人； M 为隧道内最大施工人数，取 150 人。

$$Q = 600\text{m}^3/\text{min}$$

(3) 按隧道内内燃机设备所需风量

$$Q = U \cdot \sum N_i \tag{3}$$

式中， U 为内燃机尾气稀释系数，取 3m³/min·kW。

$$Q = 1\,860\text{m}^3/\text{min}$$

(4) 按稀释炮烟所需风量

$$Q = \frac{2.35}{t} \sqrt[3]{\frac{G \cdot (A \cdot L')^2 \cdot \phi \cdot b}{p}} \tag{4}$$

式中, t 为通风时间, min, 取 30min; G 为同时爆破的炸药量, kg, 取最大炸药量 900 kg; A 为爆破最大断面面积, m^2 , 在此 $121m^2$; L' 为临界长度, m, $L'=300m$; ϕ 为淋水系数, 对潮湿隧道为 0.6; b 为炸药爆破时的有害气体生成量, 岩石取 40; p 为风管漏风率, 取 1.08。

$$Q=1915m^3/min$$

由风量计算结果, 以消除顶层有害气体和最小风速所需风量为最大。因此, 工作面设计风量以消除顶层有害气体和最小风速所需风量为准, $Q=1920m^3/min$ 。

2.1.2 侧隧道工作面通风风量

各个侧隧道开挖参数不同, 如表 2 所示。

侧隧道开挖参数						表 2
技术参数	最大断面 面积 A (m^2)	侧隧道内 施工最大 人数 M	内燃机总 功率 N (kW)	最大挖掘 面积 A' (m^2)	爆破最大 炸药量 G (kg)	长度 (m)
一号隧道	30	10	330	30	262.5	70
二号隧道	90	50	540	90	787	130
三号隧道	97	50	540	97	845.8	153.4
四号隧道	60	20	330	60	525	65.5
五号隧道	60	20	330	60	525	65.5
六号隧道	80	20	540	80	700	153.4
七号隧道	87	20	540	87	761	130
八号隧道	30	10	330	30	262.5	52.5

从施工单位要求出发, 为维护管理方便以及后续隧道开挖的通风技术要求, 风机选型尽可能地选用同一类型风机, 扩大通用性, 因此选三号隧道的最大通风量作为风机风管选型依据。由计算主隧道通风量公式算得 $Q=1638m^3/min$ 。

2.2 通风设备选型

利用新型风机取代现有风机, 新型号风机技术参数如下: 风压 1600Pa, 两级转速, 980r/min 时风量 $2400m^3/min$, 功率 80kW; 750r/min 时风量 $1800m^3/min$, 功率 45kW。通风管选用直径 1.5m SWFG 软管。在侧隧道开挖时风机用低转速。

2.2.1 主风机、风管校核

(1) 风量校核

工作面的通风最小供风量

$$Q=Q_{机}/p=2400/1.08=2222m^3/min>1920m^3/min$$

(2) 风筒通风阻力

A. 风筒摩擦风阻 $R_f=6.5a \cdot L/D^5$

式中, a 为摩擦阻力系数, 取 $0.002kg/m^3$; L 为风筒长度, m; D 为风筒直径, m。

$$R_f=0.86Pa$$

风筒拐弯局部风阻 $R_x=0.1$

B. 风筒摩擦阻力 $HL=(R_f+R_x) \cdot Q \cdot Q_{机}=0.86 \cdot 2400 \cdot 2222/3600=1300Pa$

风筒出口局部阻力 $h_{x0}=\xi \cdot Q^2/D^4$

式中, ξ 为局部阻力系数, 取 1

$$h_{x0}=271Pa$$

C. 全压 $h_M=HL+h_{x0}=1571Pa<1600Pa$

因此, 通过主风机的风量风压校核, 所选风机和风管符合通风要求, 是可行的。

2.2.2 局部风机、风管选型和校核

(1) 侧隧道口设置的通风机最小供风量

$$Q_{机}=Q=1638m^3/min<1800m^3/min$$

(2) 主风机风量校核

$$Q'_{机}=Q=1638m^3/min<2400m^3/min$$

注: 此时主风机采用高转速大风量, 加快上游污风的稀释。

(3) 由主隧道风阻计算, 侧隧道采用同样的通风管道, 距离短, 风机风压满足要求。

因此, 通过局部风机的风量风压校核, 所选风机和风管符合通风要求, 是可行的。

整个通风系统通过风机的风量风压校核, 所选风机和风管都符合通风要求, 整个隧道施工所需通风设备有 4 台主风机, 1000m 通风管。

3 通风方案效益分析

利用现有设备, 又要满足施工通风要求, 根据方案设计计算可以看出, 主隧道每个洞口施工主风机则需要选用现有的 SD 21 No11 两台并联运行, 匹配直径 1.5m SWFG 型软风管。局部风机也需选用已有的风机 SD 21 No11, 每个开挖侧隧道使用 1 台。

两种方案经济效益比较			表 3
	目前方案	设计方案	
风机研制购置费 (万元)	80(共 4 台)	80(共 3 台, 包括研制费 20 万)	
风机总功率 (kW)	440	213	
运转时间 (h)	2000	2000	
电费 (万元)	44	21.3	
通风管购置费 (万元)	15	15	
安装维护管理费 (万元)	10	8	
通风费用总计 (万元)	149	124.3	

由表 3 可知, 两种方案的当前风机投资都是 80 万, 但由于新风机方案总装机功率比原有风机方案小, 且具有调速功能, 在节约电费开支上有很大的潜

力，因此如果把设备费、电费安装管理费等整个坑道施工通风费用都考虑进去，粗略估计一个坑道施工总投资至少能减少近 27.3 万。因此从长期的施工运行情况看，经济效益将是十分可观的。

参考文献:

[1] 赖涤泉. 隧道施工通风与除尘 [M]. 北京: 中国铁道出版社,

1994

[2] 赖涤泉. 秦岭隧道 I 线中部多工作面钻爆法施工通风系统的研究与实践 [J]. 世界隧道, 2000 (4).
[3] 崔颖哲. 五指山隧道出口工区施工通风 [R].
[4] 唐经世. 西康铁路秦岭隧道北段 I 线钻爆法段施工通风 [J]. 筑路机械与施工机械化, 1999 (4).
[5] 吴诚. 隧道施工通风 [J]. 隧道译丛, 1990 (11): 7-10

(上接第 46 页)

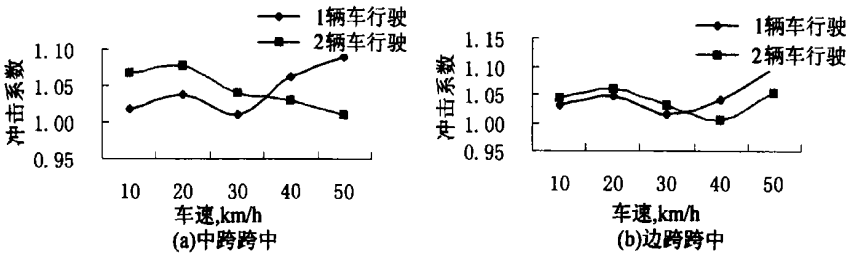


图 8 典型截面的冲击系数随车速的变化曲线

到设计和施工的预期目的，基本能够满足城市 A 级荷载的承载要求。

(2) 该桥各测试截面的实测应力与理论应力基本相符，且由偏载扭转引起的畸变应力较小，说明该桥的抗扭刚度较高。

(3) 墩梁固结端局部的应力校验系数 (1.27) 较大，表明该处受力较为复杂，用一般的平面分析理论和设计方法很难全面描述和反映实际的复杂受力状况。

(4) 该桥结构挠度校验系数均小于 1，说明该桥的抗弯刚度较大，具有一定的安全储备。

(5) 裂缝在加载前后没有明显的变化，最大的展开宽度在 0.003mm 左右，表明裂缝发展已基本稳定。但从正常使用极限状态和耐久性方面考虑，建议采取必要的修补措施。

(6) 回弹检测表明混凝土强度满足设计要求。

(7) 该桥的平均阻尼比为 1.8%，且实测频率与理论分析结果基本吻合，但总体上实测频率比理论值大，这说明该桥实际刚度优于设计值。

(8) 冲击系数的大小与车辆行车速度的相关关系不明显。动载对该桥产生的冲击系数值较小，表明桥面平整度良好。实桥的桥面确实非常平整。

参考文献:

[1] 中华人民共和国交通部. 公路桥涵设计规范 (合订本) [S]. 北京: 人民交通出版社, 1989.
[2] 交通部公路科学研究所等单位编. 大跨径混凝土桥梁的试验方法 [R]. 1982.
[3] 胡大琳. 桥涵工程试验检测技术 [M]. 人民交通出版社, 1999.