

永兴一号隧道通风方案设计与施工

常冠星

中铁十四局集团青岛工程有限公司, 山东 青岛 266000

[摘要]通风方案设计是隧道施工建设的重要环节之一, 具有排出毒害气体, 净化洞内空气, 保障施工安全的重要作用。文中以永兴一号隧道为工程背景, 针对不同的隧道入口设计了对应的通风方案, 计算了隧道通风量, 选取了通风设备, 并对隧道内风机和风管的施工方案进行了探讨。文中的研究成果可为隧道的分区通风设计与研究提供参考。

[关键词]通风量计算; 隧道通风; 方案设计

DOI: 10.33142/ec.v6i12.10371

中图分类号: U455.3

文献标识码: A

Design and Construction of Ventilation Scheme for Yongxing No.1 Tunnel

CHANG Guanxing

China Railway 14th Bureau Group Qingdao Engineering Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266000, China

Abstract: Ventilation scheme design is one of the important links in tunnel construction, which plays an important role in discharging toxic gases, purifying the air inside the tunnel, and ensuring construction safety. Taking the Yongxing No.1 Tunnel as the engineering background, corresponding ventilation schemes were designed for different tunnel entrances, the tunnel ventilation volume was calculated, ventilation equipment was selected, and the construction scheme of fans and ducts inside the tunnel was discussed. The research results in the article can provide reference for the design and research of zoned ventilation in tunnels.

Keywords: ventilation calculation; tunnel ventilation; conceptual design

引言

在隧道工程建设中, 由于爆破、机械运转及开挖土层均会产生大量废气, 对洞内空气造成严重的污染^[1-2]。为了保证洞内施工人员的健康, 必须采用适当的通风措施^[3-4]。我国长大隧道通常修建斜井、竖井或平行导洞, 采用压入式和巷道式相结合的通风方式^[5-7]。

本文以永兴一号隧道为例, 介绍隧道通风方案的设计和施工程序。该隧道位于广西境内环江至河池区间, 设计时速 350km, 为单洞双线隧道, 进口里程 DK277+660, 出口里程 DK287+790, 中心里程为 DK282+725, 隧道全长 10130m, 进、出口均接路基工程。隧道内线路纵坡呈“人”型, 进口至出口依次为, 5940m 的 5%上坡, 3695.67m 的 18.7%下坡, 494.33m 的 6%下坡。隧道采用“2 横+1 泄水洞”的辅助坑道施工方案。

在本文中, 对隧道进行通风分区设计, 进行了风量、风压的计算, 以及根据风量进行了设备选型并提出了针对通风质量管理的安全技术措施, 最终得到永兴一号隧道的通风方案。

2 通风布置方案

2.1 总体通风方案

按照隧道施工安排, 永兴一号隧道共划分 4 个工区: 永兴一号隧道进口、永兴一号隧道 1 号横洞、永兴一号隧道 2 号横洞、永兴一号隧道出口。

根据项目的施工方法和施工组织情况, 通风方案为:

①进口工区在第一个横通道贯通前采用压入式通风; 正洞

与泄水洞第一个横通道贯通后, 采用巷道式通风。②永兴一号隧道 1 号横洞工区采用压入式通风。③永兴一号隧道 2 号横洞工区与出口工区贯通前采用压入式通风, 贯通后采用巷道式通风。④永兴一号隧道出口工区采用压入式通风^[8-10]。

2.2 通风布置

2.2.1 进口工区通风布置

隧道进口在第一个横通道贯通前采用“压入式”通风, 在隧道进口洞口 30m 范围外, 设置 2 台轴流风机, 分别将接风管至正洞及泄水洞掌子面小于 15 米处, 进行压入式通风, 见图 1。

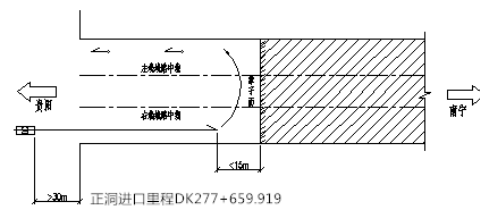
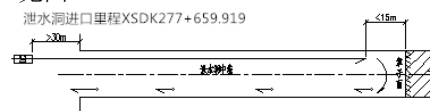


图 1 进口工区压入式通风平面布置图 (工况 1)

在正洞与泄水洞第一个横通道贯通后, 采用巷道式通风, 见图 2。在隧道第一个横通道后方 20m 位置设置 2 台

轴流风机,两条风管分别至泄水洞和正洞掌子面进行通风,为引导洞内通风流向,加大洞内风速,在正洞、泄水洞及横通道内分别设置1台射流风机,射流风机安装时方向应与隧道内通风流向相同,将污风经横通道从泄水洞排出。

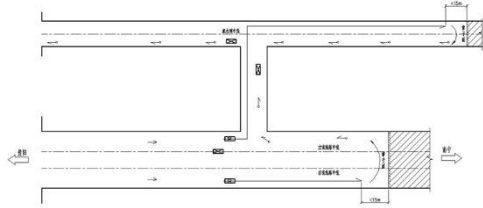


图2 进口工区巷道式通风平面布置图(工况2)

在正洞与泄水洞第二个(第n个)横通道贯通后,采用巷道式通风,见图3。在隧道进口最前边横通道设置2台轴流风机,两条风管分别接至泄水洞和正洞掌子面进行通风;在正洞、泄水洞及横通道内分别设置1台射流风机。

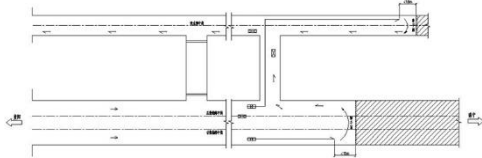


图3 进口工区巷道式通风平面布置图(工况3)

2.2.2.1 1号横洞工区通风布置

1号横洞开挖采用“压入式”通风方式。在1号横洞洞口30m范围外设置1台轴流风机,将风管接至1号横洞掌子面小于15m处,进行压入式通风,见图4。

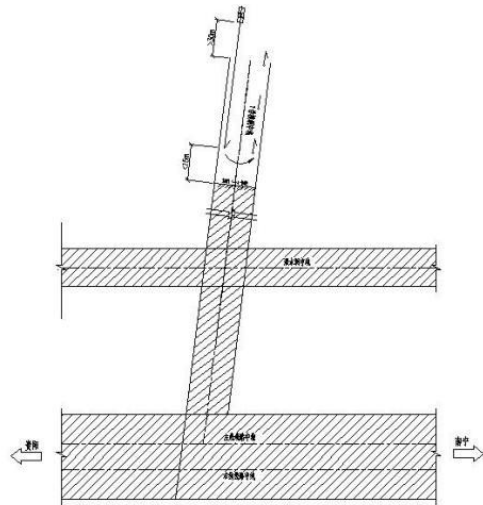


图4 1号横洞工区压入式通风平面图(工况1)

1号横洞工区泄水洞与正洞在第一个横通道贯通前,在1号横洞洞口30m范围外设置2台轴流风机,分别将接风管至正洞及泄水洞掌子面小于15米处,进行压入式通风;在正洞、泄水洞与1横通道交汇位置分别设置1台射流风机,以引导洞内通风流向,加大洞内风速,射流风机安装时方向应与隧道内通风流向相同,见图5。

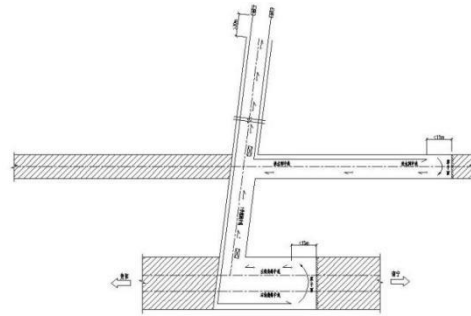


图5 1号横洞工区压入式通风平面图(工况2)

1号横洞工区泄水洞与正洞在横通道贯通之后,在1号横洞洞口30m范围外设置2台轴流风机,分别将接风管至正洞及泄水洞掌子面小于15米处,进行压入式通风;在泄水洞与横通道交汇设置1台射流风机,将横洞与正洞交汇位置风机向前移动至横通道后方,引导洞内通风流向,加大洞内风速,射流风机安装时方向应与隧道内通风流向相同,将污风经泄水洞从横洞排出,见图6。

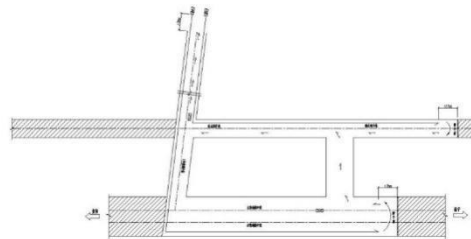


图6 1号横洞工区压入式通风平面图(工况3)

1号横洞工区泄水洞与正洞在第二个(第n个)横通道贯通之后,进口工区正洞与横洞工区正洞贯通前,正洞、泄水洞仍采用压入式通风。在1号横洞洞口30m范围外设置2台轴流风机,分别将接风管接至正洞及泄水洞掌子面小于15米处,进行压入式通风;在泄水洞与1横通道交汇设置1台射流风机,将第一个横通道位置风机向前移动至最前面横通道后方20m位置,在泄水洞内每隔1000米设置射流风机一台,引导洞内通风流向,加大洞内风速,射流风机安装时方向应与隧道内通风流向相同。不具备通风功能的横通道设置风门或帘幕,将污风经泄水洞从横洞排出。如图7所示:

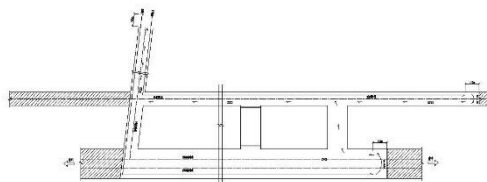


图7 1号横洞工区压入式通风平面图(工况4)

1号横洞工区反向开挖小里程泄水洞与正洞,在1号横洞洞口30m范围外设置2台轴流风机,分别将接风管至正洞小里程及泄水洞掌子面小于15米处,进行压入式通风;在正洞、泄水洞与1横通道交汇分别设置1台射流风机,以引导洞内通风流向,加大洞内风速,射流风机安装

时方向应与隧道内通风流向相同。如图 8 所示:

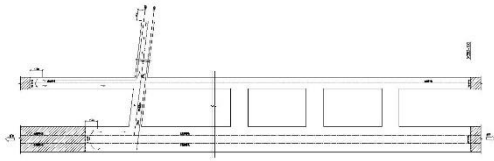


图 8 1号横洞工区压入式通风平面图(工况5)

1号横洞工区反向开挖小里程泄水洞与正洞,在横通道贯通之后,进口工区正洞与横洞工区正洞贯通前,采取压入式通风,在1号横洞洞口30m范围外设置2台轴流风机,分别将接风管至正洞及泄水洞掌子面小于15米处,进行压入式通风;在正洞、泄水洞与横通道交汇分别设置1台射流风机,在泄水洞与1号横洞交汇设置1台射流风机,以引导洞内通风流向,加大洞内风速,射流风机安装时方向应与隧道内通风流向相同。如图9所示:

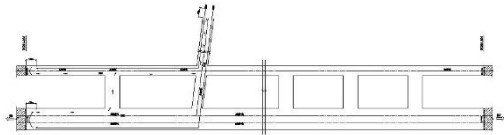


图 9 1号横洞工区压入式通风平面图(工况6)

2.2.3.2 2号横洞工区通风布置

2号横洞开挖采用“压入式”通风方式。在2号横洞洞口30m范围外设置1台轴流风机,将接风管至2号横洞掌子面小于15米处,进行压入式通风。如图10所示:

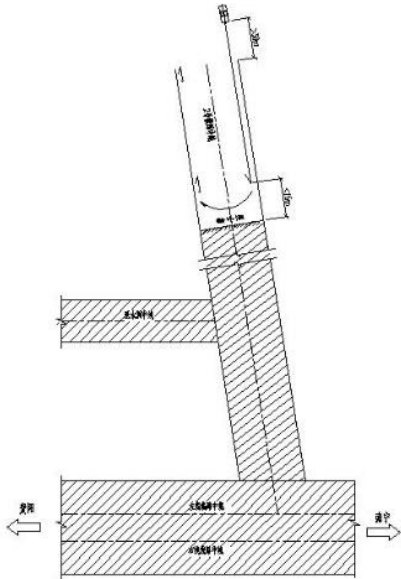


图 10 2号横洞工区压入式通风平面图(工况1)

2号横洞工区泄水洞与正洞在第一个横通道贯通前,采取压入式通风,在2号横洞洞口30m范围外设置2台轴流风机,分别将接风管至正洞及泄水洞掌子面小于15米处,进行压入式通风;在泄水洞与1横通道交汇设置1台射流风机,以引导洞内通风流向,加大洞内风速,射流风机安装时方向应与隧道内通风流向相同。如图11所示:

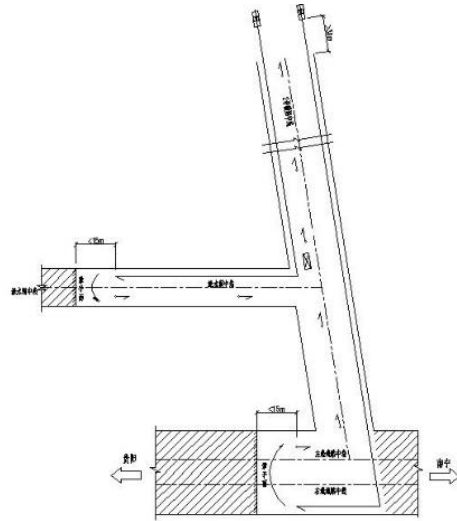


图 11 2号横洞工区压入式通风平面图(工况2)

2号横洞工区泄水洞与正洞在第一个横通道贯通之后,出口工区正洞与横洞工区正洞贯通前,正洞、泄水洞仍采用压入式通风。在2号横洞洞口30m范围外设置2台轴流风机,分别将接风管至正洞及泄水洞掌子面小于15米处,进行压入式通风;在泄水洞与横通道交汇设置1台射流风机,在横通道与泄水洞、正洞交汇位置后方设置2台射流风机,引导洞内通风流向,加大洞内风速,射流风机安装时方向应与隧道内通风流向相同,将污风经泄水洞从横洞排出。如图12所示:

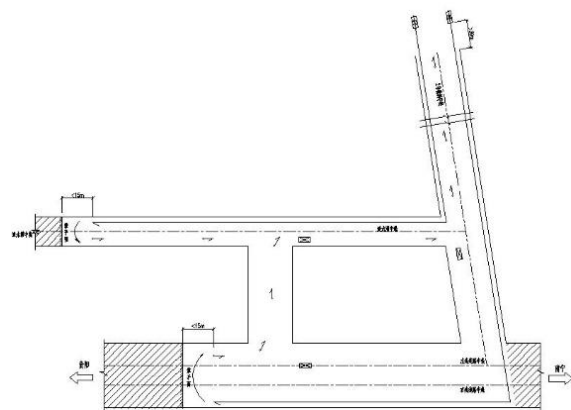
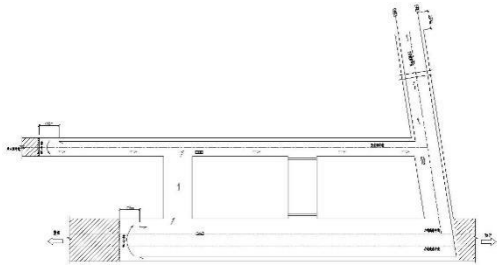
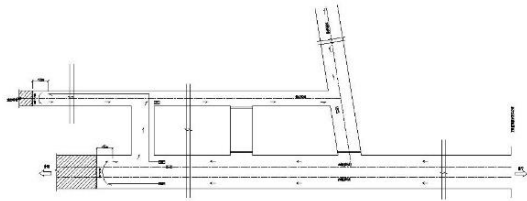


图 12 2号横洞工区压入式通风平面图(工况3)

2号横洞工区泄水洞与正洞在第二个(第n个)横通道贯通之后,出口工区正洞与横洞工区正洞贯通前,正洞、泄水洞仍采用压入式通风。在2号横洞洞口30m范围外设置2台轴流风机,分别将接风管至正洞及泄水洞掌子面小于15米处,进行压入式通风;在泄水洞与2号横洞交汇设置1台射流风机,将横洞与正洞、泄水洞交汇位置风机向前移动至最前面横通道后方,引导洞内通风流向,加大洞内风速,射流风机安装时方向应与隧道内通风流向相同。不具备通风功能的横通道设置风门或帘幕,将污风经泄水洞从横洞排出。如图13所示:

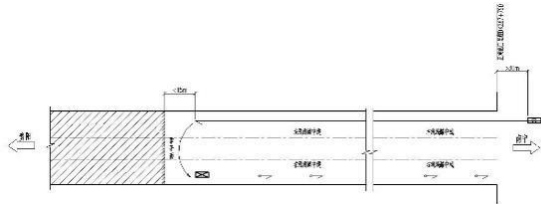

图 13 2号横洞工区压入式通风平面图 (工况 4)

出口工区正洞与2号横洞工区正洞贯通后,正洞、泄水洞采用巷道式通风。在正洞最前边横通道位置设置2台轴流风机,两条风管分别至泄水洞和正洞掌子面进行通风;为引导洞内通风流向,加大洞内风速,在正洞、泄水洞及横洞与泄水洞交汇内分别设置1台射流风机,射流风机安装时方向应与隧道内通风流向相同;不具备通风功能的横通道设置风门或帘幕,将污风经泄水洞从横洞排出。如图14所示:


图 14 2号横洞工区压入式通风平面图 (工况 5)

2.2.4. 出口工区通风方案

出口工区隧道正洞采用压入式通风,在隧道进口洞口30m范围外设置1台轴流风机,分别将接风管至正洞及泄水洞掌子面小于15米处,进行压入式通风。如图15所示:


图 15 出口工区压入式通风平面图 (工况 1)

3 通风计算与风机设计

3.1 需风量和工作风压计算

根据《高速铁路隧道工程施工技术规程》^[11]要求,需风量可以从以下五个方面进行计算:排出炮烟需风量、洞内人员需风量、最低风速、排出机械废气需风量、风压,选取其中最大值作为隧道内需风量的标准^[12-13]。

(1) 排除炮烟需风量 Q_1 (m^3/min)

$$Q_1 = \frac{2.25}{t} \sqrt{A \times b \times S^2 \times L^2 \times K / P^2} \quad (1)$$

其中: t 为通风时间 (min), 取 $30min$; A 为爆破耗药量 (kg), 正洞取 $431kg$, 泄水洞取 $75.9kg$; b 为 $1kg$ 炸药有害气体生成量 (L), 取 $40L$; S 为巷道断面面积 (m^2),

正洞取 $125m^2$, 泄水洞取 $22m^2$; L 为巷道长度或临界长度 (m); K 为考虑淋水使炮烟浓度降低的系数, 取 0.8 ; $P=1/(1-L/100 \times P100)$ 为巷道计算长度范围内漏风系数, 百米漏风率 $P100$ 控制在 2% 以内。

长距离掘进时,炮烟在沿巷道流动过程中与巷道内的空气混合,在未达到巷道出口时已被稀释到允许浓度,从工作至炮烟已稀释到允许浓度处的距离称为临界长度,临界长度按下式计算:

$$L_{max} = 12.5 \frac{Ab\beta}{SP^2} \quad (2)$$

其中: β 为紊流扩散系数, 由表1确定。

表 1 紊流扩散系数

$l/2d$	6.35	7.72	9.60	12.10	15.80	21.85
β	0.40	0.46	0.53	0.60	0.67	0.74

注: l 为出口至掌子面距离 $4\sqrt{S}$, d 为风管直径, 取 $1.8m$ 。

(2) 洞内人员需风量 Q_2 (m^3/min)

$$Q_2 = q \times k \times m \quad (3)$$

其中: q 为洞内每人每分钟所需新鲜空气, 取 $3m^3/min$; m 为洞内同时工作的最多人数, 正洞取 80 人, 泄水洞取 30 人; k 为风量备用系数, 取 1.15 。

(3) 最低风速要求需风量 Q_3 (m^3/min)

$$Q_3 = V \times S \times 60 \quad (4)$$

其中: V 为洞内允许最小风速 (m/s), 取 $0.25m/s$; S 为巷道断面面积 (m^2), 正洞取 $125m^2$, 泄水洞取 $22m^2$ 。

(4) 排出机械废气需风量 Q_4 (m^3/min)

$$Q_4 = K \times \sum N_i T_i \quad (5)$$

其中: K 为规定的单位需风量, 取 $3m^3/(min \cdot kW)$; N_i 为各内燃机功率 (kW); T_i 为同时工作柴油机设备利用率系数, 考虑到车辆等待等因素, 取 1.3 。

(5) 风压计算 h (Pa)

$$h = 1.1 \times \alpha \times L \times (Q_{max}/60)^2 / D^5$$

其中: α 为风管摩阻系数, 取 0.002352 ; L 为风管长度 (m); Q_{max} 为最大需风量 (m^3/min); D 为风管直径 (m), 取 $1.8m$ 。

(6) 各工作面最大独头通风距离、百米漏风率 $P100$ 、最大风量见表2。

3.2 通风设备选择及布置

各型号风机技术参数见表3。

表 3 风机技术参数表

风机型号	风量	风压	高效风量	最大配用 电机功率
	(m^3/min)	(Pa)	(m^3/min)	(KW)
SFD (B) -No11.5	1171~2281	727~4628	1863	75×2
SFD (B) -No14	2113~4116	1078~6860	3361	160×2

表 2 永兴一号隧道工作面风量

位置	最大独头通风长度 (m)	百米漏风率 P100 (%)	Q1 (m ³ /min)	Q2 (m ³ /min)	Q3 (m ³ /min)	Q4 (m ³ /min)	Q _{max} (m ³ /min)
进口工区正洞	3154	2	1954	276	1875	2761	2761
进口工区泄水洞	3340	2	242	104	330	1381	1381
1号横洞工区正洞	2610	2	1722	276	1875	2761	2761
1号横洞工区泄水洞	2610	2	206	104	330	1381	1381
2号横洞工区正洞	3655	2	2156	276	1875	2761	2761
2号横洞工区泄水洞	4195	2	282	104	330	1381	1381
出口工区正洞	1190	2	1021	276	1875	2761	2761

(1) 压入式通风轴流风机的选择: 根据计算结果及风机技术参数, 各工点压入式通风轴流风机配置见表 4。

表 4 永兴一号隧道风机配置

工区	设备名称	型号	数量	备注
进口工区正洞	轴流风机	SFD(B)-No14	1台	2×160kW
	风管	Φ1.8m	3200m	百米漏风率 2%
进口工区泄水洞	轴流风机	SFD(B)-No12.5	1台	2×75kW
	风管	Φ1.8m	3350m	百米漏风率 2%
1号横洞工区正洞	轴流风机	SFD(B)-No14	1台	2×160kW
	风管	Φ1.8m	2610m	百米漏风率 2%
1号横洞工区泄水洞	轴流风机	SFD(B)-No12.5	1台	2×75kW
	风管	Φ1.8m	2610m	百米漏风率 2%
2号横洞工区正洞	轴流风机	SFD(B)-No14	1台	2×160kW
	风管	Φ1.8m	3660m	百米漏风率 2%
2号横洞工区泄水洞	轴流风机	SFD(B)-No12.5	1台	2×75kW
	风管	Φ1.8m	4200m	百米漏风率 2%
出口工区正洞	轴流风机	SFD(B)-No14	1台	2×75kW
	风管	Φ1.8m	1200m	百米漏风率 2%

(2) 巷道式通风洞内的轴流风机选择: 其功率要求相对较低, 因此选用型号为 SFD(B)-No11 轴流风机, 功率 2×75kW。

(3) 射流通风机选择: 根据经验并结合断面大小考虑, 排出污浊空气的 1#泄水洞和 2#泄水洞, 一般 500m 布置一台; 进入新鲜空气的正洞, 一般 1000m 设置一台。射流通风机配置见表 5。

表 5 射流通风机配置

位置	最大配用电机功率 (KW)	数量
进口工区正洞	55kW	3
进口工区泄水洞	55kW	7
1号横洞工区正洞	55kW	3
1号横洞工区泄水洞	55kW	5
2号横洞工区正洞	55kW	4
2号横洞工区泄水洞	55kW	8
出口工区正洞	55kW	1

4 风机、风管的安装

4.1 风机安装

(1) 风机基座应稳固结实, 避免运行中振动, 风机出口处设置加强型柔性管与风管连接, 风机与柔性管结合处应多道绑扎, 减少漏风。

(2) 通风机安装位置应与洞口保持 30m 距离。

4.2 风管安装

(1) 风管必须有出厂合格证, 使用前进行外观检查, 保证无损坏, 粘接缝牢固平顺, 接头完好严密。

(2) 挂设风管要平、顺、直。在斜井作业时, 先由技术员放出风管位置, 并每隔 5m 标出位置, 然后用电钻钻眼, 安置膨胀螺栓; 在正洞作业时, 衬砌地段根据衬砌模板缝每 5m 标出螺栓位置, 未衬砌地段, 先由技术员在边墙上标出水平位置, 然后用电钻钻眼, 安置膨胀螺栓。

(3) 洞内由于空间有限且风管半径较大, 为了防止风管布下垂影响行车, 可每 5m 增设 1 个采用扁钢制作的圆环悬挂风管布, 并用紧线器张紧 8 号镀锌铁线后, 风管吊挂在拉线下。

(4) 正洞内风管通过衬砌台车及挂板台车时, 采用 1mm 厚钢板制作成直径 1m 的硬风管, 固定在衬砌台车上, 其两端设凹槽, 软风管套在硬风管上, 用废旧轮胎内胎制作成胶带, 捆绑在凹槽部位。由于软质风管不利于在转弯处长期使用、维护, 因此要求在转弯处设置硬质风管, 硬质风管按照每侧 3 米设计, 总共 6 米长。

(5) 风管安装悬吊要稳固, 悬挂高度一致, 要求每 10m 挠度不大于 150mm, 轴向偏差每 100m 不大于 300mm。为克服长期使用风管疲劳造成的长度延伸、挠度增大, 每月进行一次系统检查, 每 300m 为一个检查调整段, 风管拉紧后去除多余部分, 增设钢圈接头, 捆绑牢固。

(6) 风管末端安装 60m 范围采用旧风管, 风管出口距工作面小于 15m。

5 结论

本文以永兴一号隧道为案例, 对其进行通风方案设计。首先根据施工安排将隧道划分四个工区, 并对每个工区分别进行通风平面布置; 接着, 计算了隧道内需风量以及工作风压, 并根据计算结果选取了通风设备; 最

后,提出了风机和风管的施工方案。合理进行通风平面布置并设计合适的通风设备,对隧道通风的安全和经济性具有重要意义。

[参考文献]

- [1]方勇,彭佩,赵子成等.风管出口位置对隧道施工通风效果影响的研究[J].地下空间与工程学报,2014,10(2):468-473.
- [2]周洋,赵宇,张志强,等.隧道通风管道布置参数对瓦斯运移特性的影响[J].科学技术与工程,2021,21(29):9.
- [3]曾志斌,曾卓.铁路瓦斯隧道运营通风与监控联动研究[J].工程技术研究,2022,4(1):12-13.
- [4]郭志杰,何际军,张灿程,等.金门特长公路隧道通风方案比选研究[J].隧道建设(中英文),2019,39(21):321-326.
- [5]崔柔柔.翠云山特长隧道通风竖井设计与施工方案[J].北方交通,2023(2):87-91.
- [6]冯晓卫,瞿家繁.从黑山南北高速看欧洲公路隧道通风关键参数对比研究[J].公路,2021,66(5):4.
- [7]周健,邹逸伦,徐汪豪等.米仓山公路隧道出口段施工通风方案设计[J].中外公路,2020,40(3):199-204.
- [8]霍滨.兰州地铁1号线下穿黄河区间隧道通风竖井施工方案研究[J].施工技术(中英文),2022,51(13):6.
- [9]谢文红,叶盛,李成,等.浙江杭绍台高速公路特长隧道通风与排烟系统设计与实践[J].交通节能与环保,2022(1):018.
- [10]蔡厚强,王建,任光远,等.乐红特长隧道通风系统设计及运营优化研究[J].路基工程,2022(2):000.
- [11]任卫英.太行山隧道通风系统需风量优化[J].山西交通科技,2023(1):96-99.
- [12]银建伟,申铁军.某公路隧道通风风压计算与施工布置[J].交通科技与管理,2023(7):0106-0108.
- [13]李旭,陈晓利,李远哲,等.火灾工况下公路隧道通风智能控制模型研究[J].公路交通技术,2022,38(6):156-162.

作者简介:常冠星(1986.9—),毕业院校:山东科技大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:中铁十四局集团青岛工程有限公司,职务:部门负责人,职称级别:工程师。