

渤海海峡隧道施工通风方案探讨

吴元金, 邹 翀

(中国中铁隧道集团有限公司技术中心, 河南洛阳 471009)

[摘要] 由于海上施工竖井布设难度大, 致使渤海海峡隧道独头单口掘进长度加大, 几个工作面独头单口掘进长度都在 25 km 左右。本文采用渤海海峡隧道现有的设想方案, 通过通风方式的选择、通风计算和通风设备选型对本工程的施工通风进行研究, 提出利用巷道式通风解决独头单口掘进 25 km 隧道施工通风的方案, 为渤海海峡隧道的可行性研究提供施工通风方面的技术支持。

[关键词] 渤海海峡隧道; 施工通风; 巷道式通风; 方案设计

[中图分类号] U453.5 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2013)12-0090-05

1 前言

近百年来国内外已建成、正在建设和拟建的海底隧道越来越多。已建成的海底隧道中著名的有全长 53.9 km 的日本青函隧道、全长 50.5 km 的英法海底隧道和全长 18.7 km 的日本新关门铁路隧道等。我国的厦门翔安海底隧道、青岛胶州湾海底隧道和狮子洋隧道等的修建, 为我国拟建的类似工程提供了重要的指导作用。美国—俄罗斯白令海峡隧道、琼州海峡隧道、台湾海峡隧道^[1]、渤海海峡隧道^[2-4]等拟建的特长海底隧道都在研究阶段, 这些隧道的修建都有一个相同的难题——超长距离施工

通风^[5-7], 而我国利用隧道掘进机(TBM)施工的隧道施工通风技术正在逐步提高^[8, 9], 在隧道结构断面允许的条件下, 利用巷道式通风能极大地提高隧道独头单口掘进距离^[10], 并达到节能的目的, 因此研究利用巷道式通风解决超长距离施工通风具有重要的意义。

2 渤海海峡隧道工程概况

渤海海峡隧道初步方案为双洞单线+服务隧道方案, 见图 1。主隧道与服务隧道中线之间的距离为 30 m, 沿隧道纵向每隔 700 m 设置一条横通道连接主隧道和服务隧道。

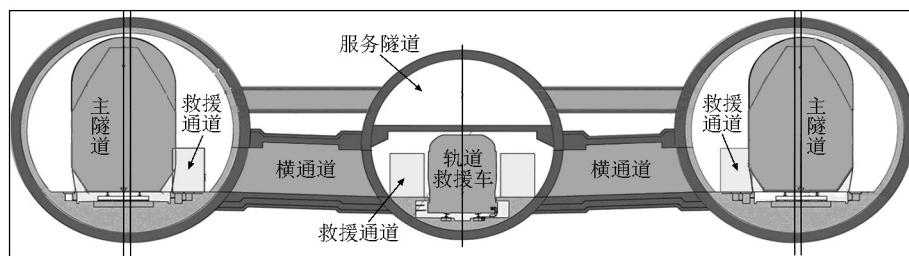


图1 渤海海峡隧道横断面

Fig.1 Cross section of Bohai Strait tunnel

根据我国高速铁路隧道断面大小, 内净空面积 66 m²可以满足客车 200~250 km/h 的行车速度要求,

[收稿日期] 2013-10-08

[基金项目] 中铁隧道集团有限公司重大课题(隧研合 2012-15)

[作者简介] 吴元金(1984—), 男, 江西玉山县人, 工程师, 主要从事地下工程科研与施工工作; E-mail: 258334960@qq.com

并在参考英法海底隧道和我国狮子洋隧道断面大小的基础上,初步设计主隧道外径为11.3 m,服务隧道外径为7.5 m,横通道外径为4.5 m,采用复合式衬砌,主隧道初期支护为30 cm,二次衬砌为40 cm;服务隧道初期支护为30 cm,二次衬砌为30 cm。

拟建的渤海海峡隧道的主隧道与服务隧道均采用敞开式TBM+钻爆法施工,隧道共分为5个施工段(见图2),即第1段从蓬莱端隧道口到北长山岛

竖井,第2段从北长山岛竖井到砣矶岛,第3段从砣矶岛到北隍城岛竖井,第4段从北隍城岛竖井到老铁山水道中部,第5段从老铁山水道中部到旅顺端隧道口。采用15台TBM施工,其中每段隧道用3台,2台掘进主隧道,1台掘进服务隧道。服务隧道可作为超前导洞先施工,查明详细地质情况,如果遇到不良地质,通过服务隧道对主隧道进行各种超前预处理。

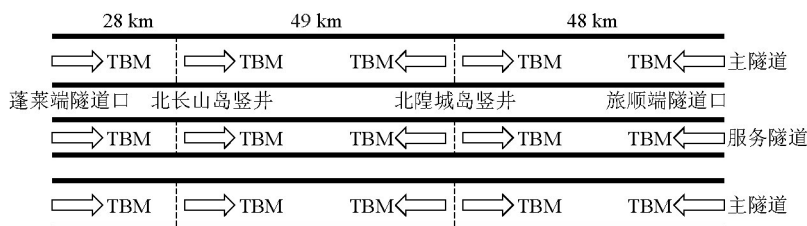


图2 渤海海峡主隧道、服务隧道掘进段划分图

Fig.2 Tunneling section graph partitioning of Bohai Strait main and service tunnel

3 TBM 施工特点

TBM 区别于钻爆法施工,具有以下特点:

- a. TBM 设备配置复杂,机电、液压和精密高科技设备多;
- b. 作业人员主要集中在前方后配套的作业平台上;
- c. 掘进连续快速;
- d. 作业产生的粉尘不多,但集中发热现象严重,热量多;
- e. 非爆破作业。

TBM 施工作业特点对与之配套的通风系统提出了相应的要求。机电、液压和精密高科技设备多,对作业环境的要求高;作业产生的粉尘多,热量多,必须采取除尘降温措施;非爆破作业,不存在对风管的破坏问题,风管维护相对容易。设备人员集中,通风除尘重点突出;掘进连续快速,通风管路要快速跟进。

4 施工通风设计

隧道掘进的施工通风方式有压入式、排风式、混合式和巷道式等。巷道式通风是最节能且通风效果最好的通风方式,但实施应用需要相应的条件。由于渤海海峡隧道是单线三洞隧道同时掘进,且单口掘进长度达到25 km,就目前的通风设备及技术来看是无法实现独头压入式、排风式和混合式通风的。结合本工程的特点,在通风方式的选择上可满足巷道式通风实施条件,因此本隧道选择巷道式通风较为合理。

4.1 风量计算

本文取北隍城岛竖井所处隧道段进行通风计算,其他隧道段通风计算与其相似,不再重复计算。

采用TBM施工的需风量计算同钻爆法一样,主要从除尘、降温、稀释有害气体和作业人员呼吸4个方面来考虑,与钻爆法不同的是不需要考虑排除炮烟的需风量。TBM施工通风的风量计算基本上沿用的是国外的标准。英国《建筑工业中隧道开挖作业安全实用规程》认为,当风速小于0.5 m/s时,粉尘会逆风扩散,因此本规程把这一风速作为最低标准。此标准在其他国家也被广泛采用。

渤海海峡隧道施工通风风量计算主要参数见表1。

表1 渤海海峡隧道施工通风相关参数

Table 1 The construction ventilation parameters of Bohai Strait tunnel

施工通风相关内容	参数
服务隧道断面/m ²	51.5
主隧道断面/m ²	78.86
单工作面最多施工人数	80
每人需新鲜风量/(m ³ ·min ⁻¹)	4
TBM施工功率/kW	1 000
风管送风长度/m	1 500
TBM施工除尘最低风速/(m·s ⁻¹)	0.5
风管摩擦阻力系数	0.01
风管百米漏风率	0.015
隧道壁面沿程阻力系数	0.021

TBM施工通风风量按人员呼吸、稀释围岩散发的有害气体、对TBM施工降温和除尘各项所需风量中的最大值作为单口掘进的需风量。经计算,除尘所需的风量(洞内允许的最低风速)为最大需风量,因此,主隧道需风量为 $2\,366\text{ m}^3/\text{min}$,服务隧道需风量为 $1\,545\text{ m}^3/\text{min}$ 。

4.2 通风设备匹配计算

本工程施工通风第一阶段(前 $1\,500\text{ m}$ 之内)采用压入式通风,第二阶段采用巷道式通风。

4.2.1 第一阶段

竖井施工期间以及正洞施工 $1\,500\text{ m}$ 以内采用压入式通风,风机架设在竖井外靠上风侧,污风从竖井内排出。通风布置示意图见图3,经计算,主隧道选用 $\text{SDF}_{(c)}\text{№}12.5(+3^\circ)$ 风机,服务隧道选用 $\text{SDF}_{(c)}\text{№}11.5(0^\circ)$ 风机,风管均选择直径为 $\phi 1\,800\text{ mm}$ 的风管,能满足主隧道和服务隧道的需风量要求。风管百米漏风率取 0.015 ,风管摩擦阻力系数取 0.01 进行计算,计算结果如图4、表2和表3所示。

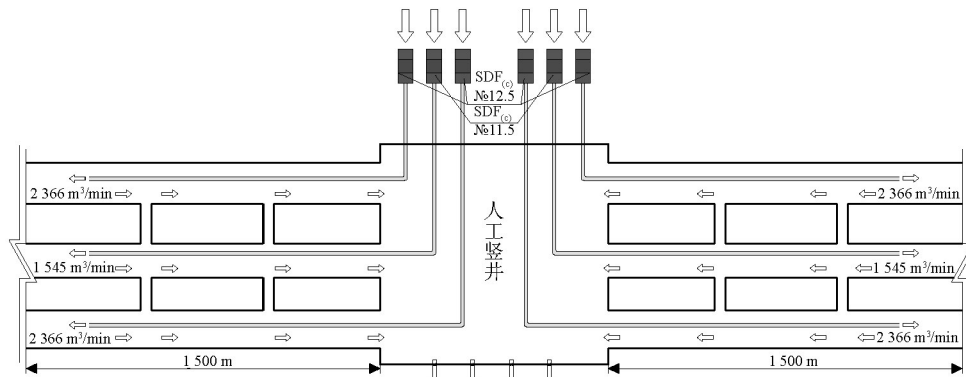


图3 第一阶段压入式通风布置示意图

Fig.3 Layout sketch map for forced ventilation of the first phase

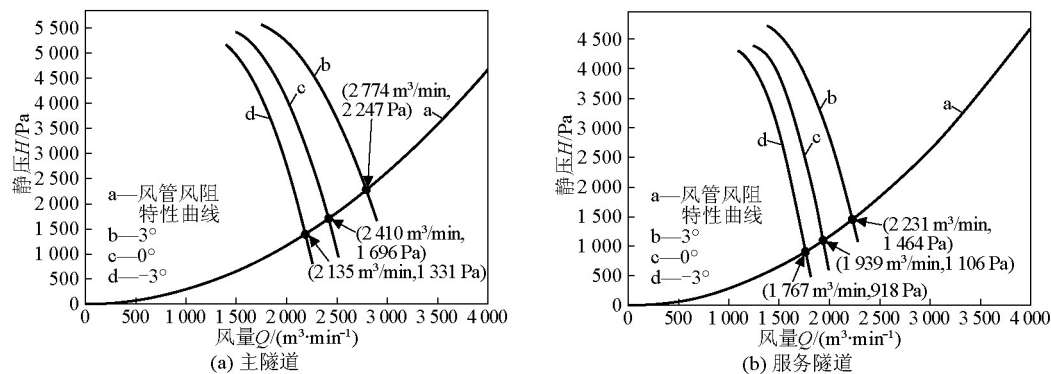


图4 风机选型匹配曲线

Fig.4 The matching curves of the draught fan selection

注:(a)为 $\text{SDF}_{(c)}\text{№}12.5$ (高速)风机与 $\phi 1\,800\text{ mm}$ 风管匹配曲线;(b)为 $\text{SDF}_{(c)}\text{№}11.5$ (高速)风机与 $\phi 1\,800\text{ mm}$ 风管匹配曲线

表2 主隧道送风计算结果

Table 2 Ventilation calculation for main tunnel

叶片角度	出口风量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1})$	风机静压/Pa	风机风量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1})$	风管风阻/ $(\text{Ns}^2 \cdot \text{m}^{-3})$	局部阻力百分比/%
-3°	1 881.95	1 398.17	2 188.16	1.051 24	4.88
0°	2 075.80	1 701.05	2 413.56	1.051 24	4.88
3°	2 400.59	2 274.99	2 791.19	1.051 24	4.88

表3 服务隧道送风计算结果

Table 3 Ventilation calculation for service tunnel

叶片角度	出口风量/(m ³ ·min ⁻¹)	风机静压/Pa	风机风量/(m ³ ·min ⁻¹)	风管风阻/(Ns ² ·m ⁻⁸)	局部阻力百分比/%
-3°	1 515.16	912.53	1 761.69	1.058 49	5.53
0°	1 667.35	1 105.06	1 938.65	1.058 49	5.53
3°	1 916.98	1 460.71	2 228.90	1.058 49	5.53

4.2.2 第二阶段

当竖井施工完成、正洞施工超过1 500 m时采用巷道式通风,通风布置示意图见图5,同样主隧道

选用SDF_(c)№12.5风机,服务隧道选用SDF_(c)№11.5风机,风管均选择直径为φ1 800 mm的风管,计算结果与第一阶段计算相同。

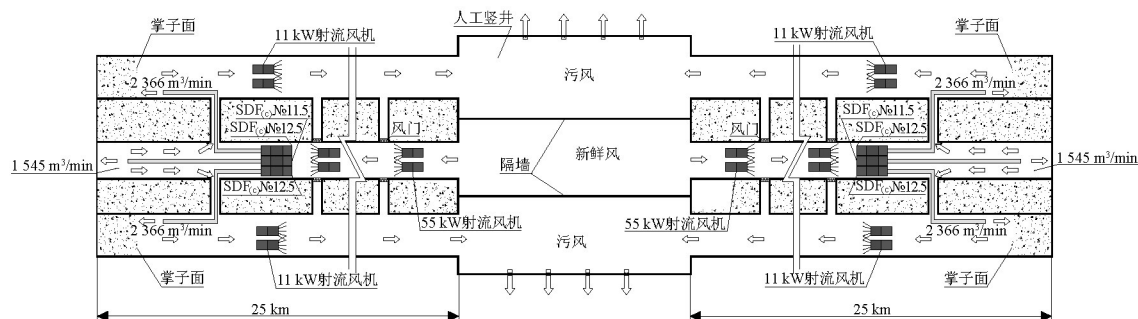


图5 第二阶段巷道式通风布置示意图

Fig.5 Layout sketch map for gallery-type ventilation of the second phase

4.3 射流增压计算

4.3.1 通风最不利时服务隧道射流增压计算

服务隧道最长施工距离为25 km,属于新鲜风道,为三路隧道施工提供所需新鲜风,通过送风计算得到三路风机供风量 $Q=7\ 521\ \text{m}^3/\text{min}(125.35\ \text{m}^3/\text{s})$ 。服务隧道衬砌后断面积 $A=51.5\ \text{m}^2$ 。断面风速 $v=\frac{Q}{A}$ 即服务隧道断面风速为 $v=2.43\ \text{m/s}$ 。服务隧道阻力计算如下

$$P=\lambda\frac{L}{d}\frac{\rho}{2}\bar{v}^2 \quad (1)$$

式(1)中, P 为服务隧道阻力,Pa; \bar{v} 为服务隧道断面平均风速,m/s; λ 为隧道壁面沿程阻力系数(本隧道为混凝土拱墙、无碴轨道,沿程阻力系数取0.021); L 为计算段隧道长度,m; d 为隧道当量直径; ρ 为空气密度,均取 $1.20\ \text{kg}/\text{m}^3$ 。

单台射流风机升压力 P_j 计算

$$P_j=\rho v_j^2\varphi(1-\Psi)\frac{1}{K_j} \quad (2)$$

式(2)中, v_j 为射流风机出口风速(55 kW射流风机 $v_j=32.2\ \text{m/s}$,11 kW射流风机 $v_j=18.8\ \text{m/s}$); φ 为面积比, $\varphi=F_j/F$, F_j 为射流风机出口面积(55 kW射流风机

$F_j=1.54\ \text{m}^2$,11 kW射流风机 $F_j=1.23\ \text{m}^2$), F 为隧道断面积; Ψ 为风速比, $\Psi=v_c/v_j$, v_c 为隧道内风速, v_j 为射流风机出口风速; K_j 为射流损失系数,通过查表,55 kW射流风机取 $K_j=1.13$,11 kW射流风机取 $K_j=1.12$ 。

通过计算,服务隧道通风总阻力为229.64 Pa,55 kW射流风机应用到服务隧道中的单机升压力为24.82 Pa,因此,服务隧道最少应设置10台55 kW射流风机,分5组,每组2台。一般情况下,每组风机纵向间距取隧道截面积的当量水利直径(服务隧道为8.1 m)的10倍或10倍以上,只要每组风机之间具有足够的纵向间距,则风机尽可能地布置在靠近隧道洞口的位置。针对本隧道,射流风机从竖井底部服务隧道入口开始安装第一组,间隔100 m安装一组。

4.3.2 主隧道射流风机布置

主隧道的射流通风计算与服务隧道相似,计算结果为:单台11 kW射流风机在主隧道的升压力为5.82 Pa,每个主隧道的通风阻力为8.12 Pa,需要两台11 kW的射流风机。建议在离掌子面最近的横通道处的主隧道靠近竖井一侧分别布设一组射流风

机,使污风能顺利从两个主隧道排出。

5 结语

1) 25 km 的巷道式通风在之前的隧道施工通风中从未遇到过,通过之前通风方式的研究和计算,渤海海峡隧道施工时采用巷道式通风是可行的。

2) 渤海海峡隧道施工通风设计存在一个需要施工过程中解决的问题:竖井被分割成3个区域,中间区进新风,两边区出污风,如何在井外把新鲜风和污风分割开来,需要在施工的过程中采用合理的措施防止洞内出来的污风又通过竖井中间区进入隧道,形成污风循环。

3) 隧道在施工期间,射流风机布设位置至竖井或洞口端的横通道建议及时封闭,以此来保证服务隧道新鲜风流的质量,避免污风循环。

4) 笔者从事多年的长大隧道施工通风设计与管理工作,对隧道施工通风深有体会,再好的设计都需要现场精细的管理才能体现出设计效果。因

此,建议本工程施工期间组建专业的通风班组进行施工通风管理。

参考文献

- [1] 杨 艳,陈宝春. 世界跨海工程概况与台湾海峡通道可能性[J]. 福建建筑,2007(8):26-28.
- [2] 宋克志,王梦恕. 国内外水下隧道修建技术发展动态及其对渤海海峡跨海通道建设的经验借鉴[J]. 鲁东大学学报:自然科学版,2009,25(2):182-187.
- [3] 宋克志,王梦恕. 烟大渤海海峡隧道的可行性研究探讨[J]. 现代隧道技术,2006,43(6):1-8.
- [4] 宋克志,王梦恕. 修建渤海海峡跨海隧道可行性初探[J]. 鲁东大学学报:自然科学版,2006,22(3):253-260.
- [5] 罗占夫,肖元平. 南水北调西线隧洞独头通风 14 km 方案研究[J]. 隧道建设,2011,31(S1):354-357.
- [6] 张全洲. 特长隧洞施工通风系统设计及应用[J]. 铁道建筑技术,2011(7):102-107.
- [7] 汪雪英,杨恩文,蓝祖秀. 南水北调西线工程深埋长隧洞掘进机施工通风研究[J]. 隧道建设,2007,27(S2):250-253.
- [8] 齐梦学. TBM 施工通风除尘方案及应用[J]. 建筑机械化,2006(11):58-60.
- [9] 李宏亮. 中天山特长隧道 TBM 施工通风技术[J]. 铁道建筑技术,2009(11):8-10,17.
- [10] 申百围. 长大隧道巷道式通风技术与应用[J]. 北方交通,2012(10):93-96.

Discussion on construction ventilation program of Bohai Strait tunnel

Wu Yuanjin, Zou Chong

(Technology Center of China Railway Tunnel Group Co. Ltd., Luoyang, Henan 471009, China)

[Abstract] The tunneling length of single face of Bohai Strait tunnel increases to 25 km due to the arrangement difficulty of the vertical shafts. The construction ventilation of Bohai Strait tunnel is studied in terms of ventilation mode selection, ventilation calculation and facility selection, on the basis of the existing devised program. In the end, the gallery-type ventilation method is proposed to solve the ventilation problem of the mentioned tunnel. The paper can provide ventilation technical support to the study on Bohai Strait tunnel.

[Key words] Bohai Strait tunnel; construction ventilation; gallery-type ventilation; program design