

ICS 93.060
CCS R 18

DB61

陕西省地方标准

DB 61/T 1417—2021

DB 61/T 1417—2021

水工隧洞施工通风技术规范

Technical specifications for ventilation of hydraulic tunnel

2021 - 01 - 19 发布

2021 - 02 - 19 实施

陕西省市场监督管理局

发布

目 次

前言.....II

引言..... III

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 总则..... 3

5 通风标准..... 3

6 通风方式..... 4

7 通风计算..... 4

8 通风设备..... 7

9 施工安全及劳动保护..... 9

附录 A（资料性）机械通风方式示意 10

附录 B（资料性）通风管道沿程摩擦风阻及局部阻力系数..... 13

附录 C（规范性）通风管道漏风系数 15

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由陕西省水利厅提出并归口。

本文件起草单位：陕西省引汉济渭工程建设有限公司、中铁第一勘察设计院集团有限公司、西南交通大学。

本文件主要起草人：杜小洲、董鹏、刘赓、苏岩、魏军政、刘福生、李凌志、王明年、宋晓峰、陶磊、于丽、党康宁、严涛、李雄、李立民。

本文件由陕西省引汉济渭工程建设有限公司负责解释。

本文件首次发布。

联系信息如下：

单位：陕西省引汉济渭工程建设有限公司

电话：029—86326789

地址：陕西省西安市未央区浐灞大道2021号

邮编：710024

引 言

水工隧洞施工通风作为隧洞规划、施工阶段一个重要的因素，备受关注。长大隧洞的施工通风方案将直接影响着工程的前期规划和实施中的工作环境质量。因此，制定隧洞施工通风的统一标准极为重要。

引汉济渭秦岭隧洞（岭脊段）的各工区受控因素多，施工通风距离长。钻爆法施工段独头通风最长距离分别为：无轨斜井工区7.5 km，无轨主洞工区6493 m。TBM施工段已完成独头通风最长15.3 km，计划独头通风最长16.6 km。无论是钻爆法，还是TBM法，上述通风距离均远超现有的工程实践，另外，隧洞施工中针对TBM法的瓦斯处理等亦鲜有工程实例可借鉴。依托引汉济渭工程开展了《秦岭超长隧洞施工通风技术研究》，解决了隧洞施工通风问题，形成了一套施工通风技术体系。

为便于隧洞工程特别是特长隧洞工程的前期规划，保障隧洞施工期的洞内环境，规范陕西省境内水工隧洞的施工通风作业。在总结已建隧洞（道）工程施工通风经验的基础上，借鉴引汉济渭工程的技术成果，特制定《水工隧洞施工通风技术规范》。

水工隧洞施工通风技术规范

1 范围

本文件规定了陕西省境内水工隧洞施工通风技术总则、通风标准、通风方式、通风计算、通风设备、施工安全及劳动保护等技术要求。

本文件适用于陕西省境内水工隧洞施工通风系统的设计、实施、管理。对于钻爆法通风长度大于7.5 km，TBM法通风长度大于16 km的隧洞需要开展施工通风专题研究。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GBZ 1 工业企业设计卫生标准
JB/T 10489 隧道用射流风机
JTG/T 3660 公路隧道施工技术文件
JTG/T D70/2-02 公路隧道通风设计细则
SL 378 水工建筑物地下开挖工程施工文件
SL 642 水利水电地下工程施工组织设计文件
TB 10068 铁路隧道运营通风设计文件
TB 10120 铁路瓦斯隧道技术文件
TB 10304 铁路隧道工程施工安全技术规程
铁路隧道施工通风技术与标准化管理指导手册（工管技[2009]77号）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

施工通风 construction ventilation

在施工期间，为使隧洞内的有害气体、粉尘、余热等达到劳动卫生标准允许值，而引入新鲜空气的一种换气行为。

3.2

通风管 ventilation duct

通风系统中，为组织气流沿预设线路输送的通管。通常将输送新鲜空气的通道称为送风管，排出污染空气的通道称为排风管。

3.3

送风式通风 forced ventilation

利用设置在洞外的通风机械通过通风管道将新鲜空气送至工作面，以供给洞内足够的新鲜空气，污浊空气通过隧洞流出，稀释、排除有害气体和降低粉尘浓度。

3.4

排风式通风 extracted ventilation

利用风机从洞内或局部用风地点抽出污浊空气，新鲜风流沿隧洞流入，污风经风管由风机抽出。

3.5

风仓式接力通风 air-cabin relay ventilation

隧洞内设置封闭的风仓，利用风机通过通风管道将新鲜空气输送至风仓，并由风仓处的风机继续向后续风管供风。

3.6

需风量 requested air volume

能满足隧洞施工中人员、设备的新风要求，满足洞内的环境和卫生标准，预测计算确定的新鲜空气量。

3.7

设计风量 designed air volume

考虑到隧洞施工通风系统损耗的风量、风压以及通风机效率等因素和必要的安全储备，而确定的通风量。

3.8

沿程阻力 frictional resistance

风流在隧洞及通风道中流动时与壁面摩擦而产生的阻力。

3.9

局部阻力 local resistance

风流流经隧洞和通风（管）道突然扩大或缩小、转弯、交岔、汇合等变化处所产生的阻力。

3.10

自然风压力 natural wind pressure

由于隧洞内外自然条件引起的隧洞两端压力差在隧洞内形成的通风压力。

3.11

平均百米漏风率 average air leakage rate per 100 meter

在规定的风压条件下，平均每百米正（负）压风筒漏风量占风筒进（出）口风量的百分数。

3.12

最优排尘风速 optimal dust exhaust velocity

将既能最大限度排除浮尘而又不致使落尘二次飞扬的风速称为最优排尘风速。

4 总则

- 4.1 水工隧洞施工通风方案应综合考虑隧洞通风长度、开挖断面、施工方法、施工组织及配置、施工安全、辅助坑道、通风效果等因素，经技术经济综合比较后，选择合理的通风方式。
- 4.2 水工隧洞施工通风应以改善施工环境、保障作业人员身体健康，达到洞内作业环境卫生标准，应符合以下规定：
- a) 应有足够的新鲜空气供应，保障洞内空气的氧气含量；
 - b) 降低隧洞内有害气体浓度和粉尘浓度，应确保作业人员的人身安全和健康；
 - c) 隧洞内环境温度和湿度应保障施工人员正常作业、施工设备正常运转。
- 4.3 当水工隧洞施工独头掘进长度大于洞径 5 倍时，应采用风管式、巷道式等机械通风方式。通风方式可选择送风式、排风式、混合式或巷道式等（见附录 A）。
- 4.4 施工通风应充分利用施工斜井、竖井、横洞和平行导坑等辅助坑道，且应考虑自然风压力作用的影响。
- 4.5 设置机械通风系统的水工隧洞，在施工期应设置施工通风监测与控制设施，并应根据通风效果合理确定通风设施运行方案及其控制方案，保证通风系统平稳、安全、节能运行。
- 4.6 对存在瓦斯等有害气体、高温等作业区，应做专项通风设计，并设置监测装置。
- 4.7 水工长隧洞施工通风作业，应遵守国家有关政策和法规，重视环境保护和节约能源，合理设计施工通风方案，并确定通风设备选型及布置。

5 通风标准

- 5.1 水工隧洞施工作业环境应符合以下卫生及环境控制标准：
- a) 施工期隧洞内空气中氧气含量按体积计不得小于 20 %；
 - b) 施工期隧洞内粉尘浓度和有害气体浓度应符合表 1 的规定。
 - c) 隧洞内噪声不应大于 90 dB；
 - d) 隧洞内相对湿度不宜高于 80 %；
 - e) 隧洞内作业区温度不宜大于 28 ℃。

表1 隧洞内粉尘浓度和有害气体浓度控制标准

指标		控制标准	备注
粉尘 (mg/m ³)		≤2	TBM 施工，游离二氧化硅的粉尘浓度 $M_{SiO_2} > 10\%$
		≤4	TBM 施工，游离二氧化硅的粉尘浓度 $M_{SiO_2} < 10\%$
		≤2	钻爆法施工，游离二氧化硅的粉尘浓度 $M_{SiO_2} > 10\%$
有害气体	CO 浓度 (mg/m ³)	≤30	特殊情况下，可为 100 mg/m ³ ，但施工人员工作时间不得超过 30 min
	CO ₂ 浓度 (%)	≤0.5	—
	NO _x (换算成 NO ₂) 浓度 (mg/m ³)	≤5	—

- 5.2 水工隧洞洞内施工通风风速应符合以下规定：
- a) 钻爆法施工时，洞内通风风速不应小于 0.25 m/s；

- b) TBM 法施工时，洞内通风风速不应小于 0.5 m/s；
- c) 隧洞工作面的最优排尘风速宜为 0.4 m/s~0.7 m/s，且工作面最高允许风速不宜大于 4 m/s；
- d) 瓦斯隧洞施工时，应将洞内各处的瓦斯浓度控制在 0.5 % 以下，洞内风速不应小于 0.25 m/s。
对瓦斯易于积聚处，应实施局部通风，风速不宜小于 1 m/s。

5.3 隧洞施工通风应能提供洞内各项作业所需的最小风量，每人应供应新鲜空气 3 m³/min，采用内燃机作业时，供风量不宜小于 4 m³/(min·kW)。

6 通风方式

6.1 单洞水工隧洞施工通风方式选择应按以下规定：

- a) 采用无轨运输时，应采用送风式通风；
- b) 采用有轨运输的：独头掘进距离较短时，应采用送风式通风；独头掘进距离较长时，宜采用混合式通风。

6.2 双洞水工隧洞施工通风方式选择应按以下规定：

- a) 当两洞独头掘进距离较短时，应采用送风式通风；
- b) 当两洞独头掘进距离较长时，宜采用巷道式通风。

6.3 对于无巷道式通风条件且独头掘进长度较长的隧洞，可采用风仓式接力式通风。

7 通风计算

7.1 一般规定

7.1.1 水工隧洞施工通风计算应根据施工方法、洞内施工机械类别及数量、作业人员数量、允许风速等确定最小需风量。若存在有害气体、高地温等情况，应结合预测（或实测）值，经计算分析一并考虑。

7.1.2 采用钻爆法施工时，需风量应按照洞内同时工作的最多人数、允许最小风速、爆破排烟情况、洞内作业机械废气稀释等分别计算后，取其最大值。

7.1.3 采用 TBM 法施工时，工作面风量应满足排尘风速、允许最小风速及掘进机组设备散热、冷却、人员舒适度要求，并不低于掘进机后配套设计风量。

7.2 施工需风量计算

7.2.1 对于钻爆法施工的水工隧洞，应考虑按爆破排烟计算开挖面所需风量，并应符合以下规定：

- a) 送风式通风的需风量可按公式（1）计算：

$$Q_b = \frac{9.824}{t} \sqrt[3]{\frac{Gb(AL_0)^2}{P_q^2 C_a}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Q_b ——爆破工作面需风量（m³/s）；

T ——通风时间（s）；

G ——同时爆破的炸药量（kg）；

b ——每千克炸药产生的CO当量（L/kg）；

A ——隧洞开挖断面积（m²）；

L_0 ——通风区段的长度（m）；

P_q ——通风区段内风筒始末端风量之比；

C_a ——要求到达的CO浓度 (ppm)。

b) 混合式通风的需风量应可按公式 (2) ~ (3) 计算:

$$Q_1 = \frac{9.824}{t} \sqrt[3]{\frac{Gb(AL_0)^2}{P_q^2 C_a}} \dots\dots\dots (2)$$

$$Q_2 = Q_1 + Av_w \dots\dots\dots (3)$$

式中:

Q_1 ——送风机应向工作面提供的风量 (m^3/s) ;

Q_2 ——排风机从工作面排出的风量 (m^3/s) ;

v_w ——隧洞内允许最低平均风速 (m/s)。

7.2.2 按洞内同时工作的最多人数所需风量, 应按公式 (4) 计算:

$$Q_p = 0.05N_p \dots\dots\dots (4)$$

式中:

Q_p ——作业人员需风量 (m^3/s) ;

N_p ——隧洞内最多人数。

7.2.3 按洞内允许最低风速所需风量, 应按公式 (5) 计算:

$$Q_w = v_w A \dots\dots\dots (5)$$

式中:

Q_w ——洞内最低风速需风量 (m^3/s) ;

v_w ——隧洞内允许最低平均风速 (m/s) ;

A ——隧洞开挖断面积 (m^2)。

7.2.4 洞内作业机械废气稀释所需风量应考虑内燃机械数量和装机功率等因素, 并应符合以下规定:

a) 隧洞内同时作业的出渣车辆台数可按公式 (6) ~ (7) 计算:

$$n_i = \frac{120gL}{\Delta t g_c} + 1 \dots\dots\dots (6)$$

$$n_0 = V / V_c \dots\dots\dots (7)$$

若 $n_i \geq n_0$, 则取 $n_i = n_0$ 。

式中:

L ——洞内运输距离 (km) ;

Δt ——出渣车辆时间间隔 (min) ;

v_c ——隧洞内运输车辆平均速度 (km/h) ;

n_0 ——每个循环装车总数;

V ——每循环石渣的松方数量 (m^3) ;

V_c ——每车装运松方量 (m^3)。

b) 隧洞内施工需风量应按公式 (8) 计算:

$$Q_m = 0.067 g \sum N_i \dots\dots\dots (8)$$

式中:

Q_m ——洞内机械需风量 (m^3/s) ;

N_i ——每种内燃设备的额定功率 (kW) ;

$\sum N_i$ ——隧洞内同时作业的内燃设备的总功率 (kW) 。

7.2.5 若洞内工作面有瓦斯逸出, 则应供给充足的新鲜风量, 应按公式 (9) 计算:

$$Q_g = \frac{Q_{CH_4}}{B_g - B_{g0}} K_g \dots\dots\dots (9)$$

式中:

Q_g ——瓦斯隧洞内工作面需风量 (m^3/s) ;

Q_{CH_4} ——工作面瓦斯逸出量 (m^3/s) ;

B_g ——工作面瓦斯允许浓度;

B_{g0} ——新鲜风量中的瓦斯浓度;

K_g ——瓦斯逸出不均匀系数, $K_g \approx 1.5 \sim 2$ 。

7.2.6 通风系统供给 TBM 工作面的风量应不低于 TBM 后配套风机的设计风量, 应按最低风速 0.5 m/s 考虑。特殊情况下, 应对机组的散热和冷却等因素专门计算。

7.3 施工通风压力计算

7.3.1 水工隧洞通风管路的通风压力计算应考虑沿程阻力、局部阻力、风机压力等。

7.3.2 计算通风管路沿程阻力时, 计算风量可取风机风量与工作面需风量的几何平均值, 可按公式 (10) 进行计算:

$$Q_c = \sqrt{Q_f Q_h} \dots\dots\dots (10)$$

式中:

Q_f ——风机供风量 (m^3/s) ;

Q_h ——隧洞工作面需风量 (m^3/s) ;

Q_c ——计算几何平均风量 (m^3/s) 。

7.3.3 通风管路沿程阻力损失应按公式 (11) 计算:

$$h_f = \sum R_f Q_c^2 \dots\dots\dots (11)$$

式中:

R_f ——管路沿程摩擦风阻 (kg/m^7) , 可按附录B进行取值;

Q_c ——计算几何平均风量 (m^3/s) ;

h_f ——管路沿程阻力损失 (Pa) 。

7.3.4 通风管路局部阻力损失应按公式 (12) 计算:

$$h_x = \sum \xi_g \frac{Q_i^2}{d^4} \dots\dots\dots (12)$$

式中:

ξ ——管路中局部阻力系数, 可按附录B进行取值;

Q_i ——局部风阻处的风量 (m^3/s) ;

d ——管路当量直径 (m) ;

h_x ——管路中局部阻力损失 (Pa) 。

7.3.5 通风机的设计全压应按公式 (13) ~ (14) 计算:

$$H_t \geq h_t \dots\dots\dots (13)$$

$$h_t = h_f + h_x \dots\dots\dots (14)$$

式中:

H_t ——风机设计全压 (Pa) ;

h_t ——总管道阻力损失 (Pa) 。

7.3.6 风机供风量应按公式 (15) 计算:

$$Q_j = P Q_h \dots\dots\dots (15)$$

式中:

P ——通风管道漏风系数, 可按附录C进行取值;

Q_h ——取洞内工作面各项需风量计算中的最大值;

Q_j ——风机供风量 (m^3/s) 。

7.3.7 风机的轴功率与电机功率应按以下方法计算:

a) 通风机的轴功率应按公式 (16) 计算:

$$N = \frac{Q_j H_t}{1000 \eta} \left(\frac{273 + t_0}{273 + t_1} \right) \frac{P_1}{P_0} \dots\dots\dots (16)$$

式中:

N ——风机功率 (kW) ;

η ——风机效率 (%), 一般取80 %;

t_0 ——标准温度 ($^{\circ}\text{C}$), 可取20 $^{\circ}\text{C}$;

t_1 ——风机环境温度 ($^{\circ}\text{C}$) ;

P_0 ——标准大气压 (Pa), 可取101325 Pa;

P_1 ——风机环境大气压 (Pa) 。

b) 通风机的电机功率应按公式 (17) 计算:

$$N_D = \frac{N}{\eta_m} K_D \dots\dots\dots (17)$$

式中:

K_D ——风机功率储备系数, 可取1.15;

η_m ——电机效率 (%), 可取90 %~95 %;

N_D ——风机电机功率 (kW) 。

8 通风设备

8.1 一般规定

8.1.1 水工隧洞应根据通风方式、需风量等合理选择风管及风机等通风设备, 并布置通风系统。

8.1.2 风机功率和风管直径应根据水工隧洞掘进长度、运输净空、断面大小等计算确定。

8.1.3 水工隧洞施工通风机可采用射流风机、轴流风机。

8.1.4 风机应满足隧洞通风系统使用要求, 并具有良好的节能、环保特性。

8.1.5 通风系统应设有专人负责运行、维护和管理。

8.2 通风机选型与布置

8.2.1 隧洞通风采用射流风机时，宜选用推力大、推力功率比大的射流风机。

8.2.2 射流风机纵向布置及设置间距应综合考虑风机效率、经济性等因素。

8.2.3 射流风机应具有消声装置，电机防护等级不应低于 IP55，绝缘等级不应低于 F 级。

8.2.4 射流风机在野外距离出风口 10 m 且成 45°夹角处测量的 A 声级应小于 77 dB。

8.2.5 轴流风机的选型应符合以下规定：

- a) 应结合使用条件、通风量、风压及性能曲线选择风机；
- b) 宜采用变频控制。

8.2.6 当隧洞掘进距离较长，需要提高风压时，可采用多台通风机串联，且风机型号和性能参数应相同。

8.2.7 通风机应安装保险装置，当发生故障时能自动停机。

8.2.8 防护网和射流风机支架等钢结构应接地。

8.2.9 通风机应保持正常运转，如因检修、设备故障、停电等原因停止供风而受影响的开挖工作面应停止工作。

8.2.10 瓦斯隧洞洞内风机应采用防爆型，且瓦斯工区应配套一套同等性能的备用通风机。

8.3 风管

8.3.1 送风式的进风管口应设在洞外，宜在洞口 30 m 以外。

8.3.2 排风式的风机宜设在距洞口 30 m 以外的下风向。

8.3.3 通风管距离隧洞开挖面的距离应根据隧洞断面大小和施工工法确定，送风式的出风管口距开挖面不宜大于 5 倍的正洞当量直径和 15 m，排风式的进风管口距开挖面不宜大于 5 m。

8.3.4 采用混合式通风时，当一组风机向前移动，另一组风机的管路应相应接长，并始终保持两组管道相邻段交错 20 m~30 m。局部通风时，排风式风管的出风管口应引入主风流循环的回风流中。

8.3.5 送风管宜采用软管，排风管应采用硬管。

8.3.6 通风管布设应满足以下要求：

- a) 通风管的吊点间距不宜大于 3 m，吊点应牢固；
- b) 通风管的安装应做到平顺，接头严密。

8.3.7 在不影响隧洞施工作业且断面净空允许的条件，宜采用大直径风管，同时宜增大每节风管长度，减少风管接头。

8.3.8 通风管应设置专人定期维护、修理，如有破损，应及时修补或更换。当采用软质风管时，靠近风机部分应采用加强型风管。

8.3.9 瓦斯隧洞工区内的风管应采用抗静电、阻燃的风管，宜采用大直径风管。

8.4 通风控制

8.4.1 风机控制系统宜以自动控制为主，手动控制为辅。

8.4.2 通风控制应符合以下规定：

- a) 风机不应频繁启闭；
- b) 风机控制周期不宜小于 10 min；
- c) 应首先启动累计运行时间最短的风机；
- d) 每台风机应间隔启动，启动时间间隔不宜小于 30 s。

9 施工安全及劳动保护

9.1 施工安全

9.1.1 应对有毒有害气体和粉尘浓度进行定期检测，加强通风管理，严禁浓度超标、违规施工作业，并应符合以下规定：

- a) 应采取人工检测和自动监测相结合的方法进行，多种监测仪器应集中结合布置；
- b) 测点应主要布置在掌子面开挖作业区和衬砌作业区，距地面高度 1.3 m~1.5 m，且测点应设在工作地点的下风侧，远离出风口和可能产生涡流的区域；
- c) 检测数据达不到规定标准时，应采取措施限期整改。

9.1.2 应建立安全监测信息反馈流程，及时指导施工通风，提高信息化施工技术和管理水平。

9.1.3 应严格控制现场作业人数，开挖作业面宜实施机械化作业，严禁超员组织施工作业。

9.1.4 若存在瓦斯地段，应按《煤矿安全规程》制定防瓦斯施工安全措施。

9.2 劳动保护

9.2.1 施工通风时，应加强防火用电管理。

9.2.2 应控制洞内噪声水平，佩戴个人防护用品。

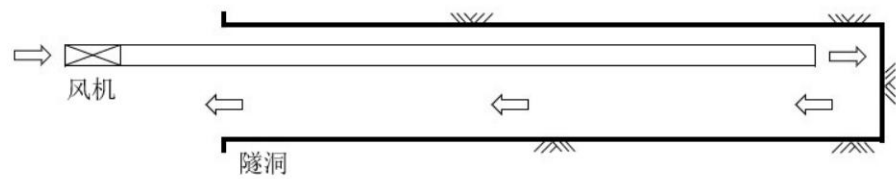
9.2.3 应采用综合防尘措施，配备必要的防尘器材，并控制洞内温湿度环境，做好施工人员个人防护。

9.2.4 洞内作业人员应定期体检，保障健康。

附录 A
(资料性)
机械通风方式示意

A.1 送风式通风

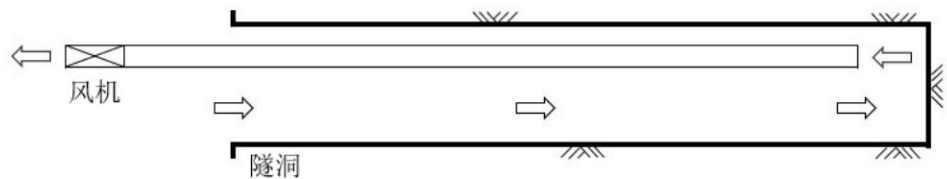
送风式又称压入式，通风管路的进风口设在洞外，出风口设在工作面附近，在风机的作用下，新鲜空气从洞外经管路送到掌子面，稀释有害气体和粉尘等，污浊空气则由隧洞排至洞外，其布置方式如图 A.1 所示。



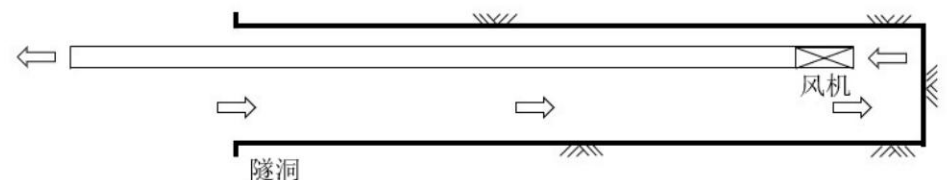
图A.1 送风式通风示意图

A.2 排风式通风

排风式分为抽出式和排出式，通风管路的进风口设在工作面附近，出风口设在洞外，在风机的作用下，新鲜空气从洞外经隧洞到达工作面，污浊空气则直接由管路排至洞外，其布置方式如图A.2、图A.3所示。考虑排出式通风在隧洞掘进时风机随工作面的推进需不断前移，且爆破时飞石易击坏通风设备，一般不宜采用。



图A.2 抽出式通风示意图

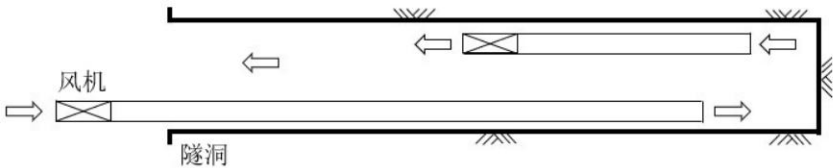


图A.3 排出式通风示意图

A.3 混合式通风

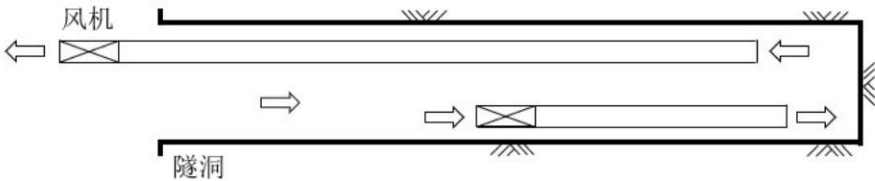
A.3.1 混合式是由送风式和排风式联合工作，兼有二者的优点，具体的布置方式分为长压短抽方式和长抽短压方式，后者又分为前压后抽式和前抽后压式。

A.3.2 长压短抽方式。布置方式如图A.4所示，以压入式通风为主，靠近工作面一段用抽出式通风，抽出式通风要配备除尘装置。一般用在开挖工作面粉尘特别多的工点，主要使用柔性风管，成本较低，但除尘器要经常随风管移动，增大了通风阻力，除尘效果差时，未除掉的微尘和污风会使全隧洞受到污染。在隧洞施工中较少采用此通风方式。



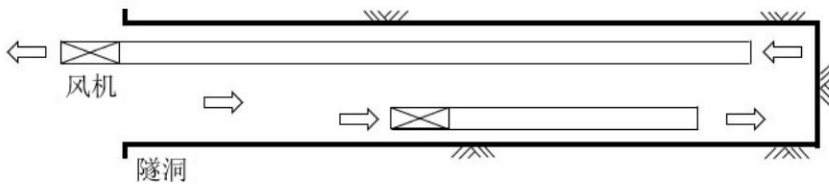
图A.4 长压短抽式通风示意图

A.3.3 前压后抽式。布置方式如图A.5所示，以抽出式通风为主，靠近工作面设一段压入式通风。此通风方式可使整条隧洞不受烟尘污染，但因主要使用刚性风管，成本较高。此通风方式较适用于有轨运输的隧洞。



图A.5 前压后抽式通风示意图

A.3.4 前抽后压式。布置方式如图A.6所示，以抽出式通风为主，抽出风管口靠近工作面，巷道中设一段压入式风管，其出风口在抽出风口后面。其缺点与前压后抽式相同，此通风方式一般在井巷工程中应用。

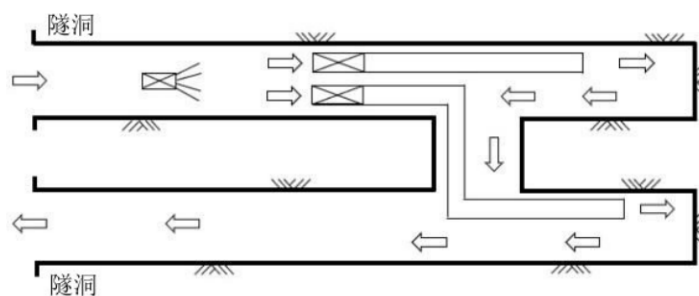


图A.6 前抽后压式通风示意图

A.3.5 在混合式通风中，压入式风机的风量要比抽出式小，有时可用引射器代替；为避免污风循环，压入式风机进风口与抽出式风管吸风口（或压入式风机吸风口）的重合距离应不小于10 m，并且尽量使排出的污风处于下风向。

A.4 巷道式通风

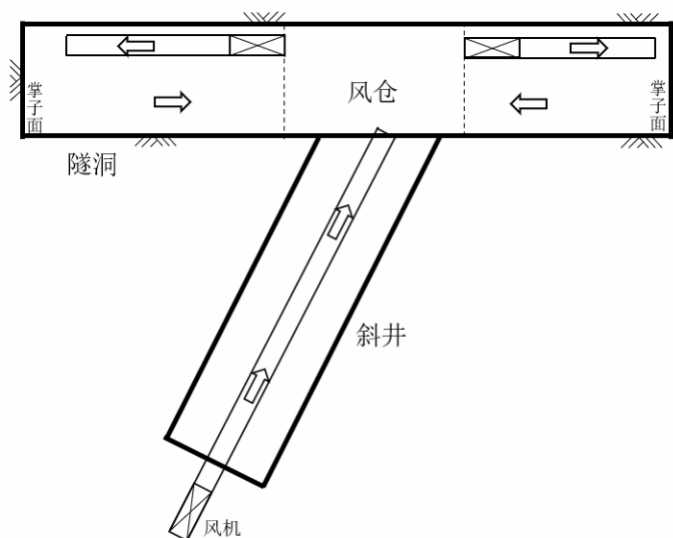
巷道式通风是在射流风机的作用下，双洞与横通道构成通风系统，洞外新鲜空气从一主洞进入，经横通道时利用风管将空气输送至工作面，洞内污浊空气自工作面经横通道从另一主洞或平导排出洞外，其布置方式如图A.7所示。



图A.7 巷道式通风示意图

A.5 风仓式接力通风

风仓式接力通风方式主要应用于无巷道式通风条件且独头掘进长度较长的单洞隧洞，此时采用独头送风式长距离通风可能会受到斜井长度或断面净空要求等限制，无法满足洞内的环境要求，因此可选择风仓式接力通风这一施工通风方式来提高通风效率，改善洞内空气质量。在风仓式接力通风中，利用设置在洞外的风机通过通风管道将新鲜空气输送至隧道洞内封闭的风仓，并由风仓处的风机继续向各工作面进行供风，污风沿隧洞流出，布置方式如图A.8所示。



图A.8 风仓式接力通风示意图

附 录 B
(资料性)
通风管道沿程摩擦风阻及局部阻力系数

B.1 通风管道沿程摩擦风阻

通风管道沿程摩擦风阻可按公式 (B.1) ~ (B.2) 计算:

$$R_f = \frac{6.5\alpha L}{d^5} \dots\dots\dots (B.1)$$

$$\alpha = \frac{\lambda \rho}{8} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:
 α ——通风管道摩擦阻力系数 (kg/m³) ;
 λ ——通风管道达西系数, 对柔性通风管进行计算时可取0.019~0.021;
 ρ ——空气密度 (kg/m³) ;
 d ——通风管道当量直径 (m) 。

B.2 通风管道的局部阻力系数

通风管道的局部阻力系数取值应根据局部损失的具体形式确定, 并可按照以下规定进行取值:

a) 突然扩大的异径管接头, 其局部阻力系数可按公式 (B.3) 计算:

$$\xi = (1 - A_1 / A_2)^2 \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:
 A_1 ——进风处接头的管道截面面积 (m²) ;
 A_2 ——出风处接头的管道截面面积 (m²) 。

b) 突然缩小的异径管接头, 其局部阻力系数可按公式 (B.4) 计算:

$$\xi = 0.5(1 - A_2 / A_1)^2 \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:
 A_1 ——进风处接头的管道截面面积 (m²) ;
 A_2 ——出风处接头的管道截面面积 (m²) 。

c) 通风管道转弯时, 其局部阻力系数可按公式 (B.5) ~ (B.6) 计算:

$$\xi = 0.008\theta^{0.75} / n^{0.8} \dots\dots\dots (B.5)$$

$$n = R / d \dots\dots\dots (B.6)$$

式中:
 θ ——转弯角度;
 R ——转弯处的曲率半径 (m) ;
 d ——管道直径 (m) 。

- d) 管道入口处的局部阻力系数 ξ 可取为 0.6;
- e) 管道出口处的局部阻力系数 ξ 可取为 1.0;
- f) 管道分岔处的局部阻力系数 ξ 可取为 1.0。

附 录 C
(规范性)
通风管道漏风系数

C.1 通风管道漏风系数可按公式 (C.1) 或 (C.2) 计算:

$$P = \frac{1}{1 - \frac{L}{100} P_{100}} \dots\dots\dots (C.1)$$

$$P = \frac{1}{(1 - P_{100})^{L/100}} \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:
 L ——通风管道长度 (m);
 P_{100} ——平均百米漏风率。

C.2 软质通风管道平均百米漏风率可综合考虑其弯曲角度、初始通风量等因素, 并应符合以下规定:

a) 在风速一定时, 软质风管平均百米漏风率随其转弯角度的增大而线性增大, 平均百米漏风率风管转弯角度影响系数 K_θ 可按公式 (C.3) 计算:

$$K_\theta = 0.017\theta + 1 \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:
 K_θ ——风管弯曲角度影响系数;
 θ ——风管转弯角度 (°)。

b) 其他条件一定时, 初始通风量对软质风管平均百米漏风率影响系数 K_Q 的影响规律可按公式 (C.4) 计算:

$$K_Q = 0.4279 \ln Q_0 + 0.154 \dots\dots\dots (C.4)$$

式中:
 K_Q ——风管初始风量影响系数;
 Q_0 ——风管初始通风量 (m³/s)。