

悬臂式隧道掘进机施工除尘技术与应用研究

曹强 权金龙 韩振 张健

(徐州徐工基础工程机械有限公司 江苏 徐州 221300)

摘要: 文章结合悬臂式隧道掘进机施工持续产生粉尘的特点, 开展悬臂式隧道掘进机配套除尘通风系统研究, 对风量、风速、断面和布置方式等给出了参考性指导意见。研究结果对悬臂式隧道掘进机工作环境改善、抑制粉尘扩散、降低粉尘浓度, 以及保障施工人员健康等方面具有重要意义。

关键词: 悬臂式隧道掘进机; 除尘; 通风

0 引言

悬臂式隧道掘进机工作时会产生大量的粉尘, 如何减少粉尘污染, 切实有利于工人身体健康, 是隧道施工行业面临的重大难题。同时, 及时有效地降尘, 也可提高隧道内的能见度, 提高掘进施工效率, 提升各工序的协同效率。目前, 国内传统采用的除尘办法为高压喷雾降尘或压风排尘, 效果不佳, 且压风排尘时间较长, 排出的灰尘直接排入大气中, 污染附近环境。结合工程实际, 本文开展了悬臂式隧道掘进机配套施工除尘技术的研究。

1 通风系统选型

目前, 国内隧道掘进通风实践表明前抽后压通风布置方式被认为是粉尘防治有效的布置方式, 充分利用了压入式和抽出式风筒口的有效射程和有效吸程, 粉尘从产生到被处理经过的时间和路程最短, 使粉尘污染控制在最小的范围内。掘进机司机和工人在新鲜风流中作业, 有利于工人身心健康。基于以上分析, 本研究针对 $10\text{m} \times 6\text{m} \times 100\text{m}$ (宽 $\times$ 高 $\times$ 长) 的隧道采取前抽后压的布置方式。

考虑到硬岩隧道不存在瓦斯等有害气体, 又因为硬岩隧道粉尘密度大于煤矿岩巷粉尘密度, 为了保证隧道内粉尘不沉降同时又均匀分布, 本研究中取隧道最小风速为 0.2m/s 。

风量是保证隧道空间最低风速的前提, 也是新鲜风流的来源, 风量为:

$$Q = 60v_{\min} \times S \quad (\text{m}^3/\text{min})$$

式中: $v_{\min}$ —最低风速;

S —隧道断面积。

本研究中 $S = 6 \times 10 = 60\text{m}^2$, $v_{\min} = 0.2\text{m/s}$, 带入得 $Q = 720\text{m}^3/\text{min}$, 考虑到长距离隧道中风筒的风阻问题, 认为 60m^2 大断面隧道中风量 $750\text{m}^3/\text{min}$ 是合理的。

湿式旋流除尘风机利用喷雾的湿润凝集和旋流的离心分离作用进行除尘, 在国内隧道中应用广泛。本研究工况中, 抽风筒直径 d 取 1m 。则除尘风速:

$$v_f = \frac{4Q}{60\pi d^2} = 15.92 \approx 16 \quad (\text{m/s})$$

2 通风系统固定布置研究

2.1 压抽风量比

参考目前在煤矿巷道中大量的经验和现场总结得出远压近抽式通风系统中抽风筒风口至工作面距离 $L_a \leq 1.5\sqrt{S}$ 而压风筒风口至工作面距离 $L_e \leq (4 \sim 5)\sqrt{S}$ 时除尘效果较好, 而目前本研究涉及的隧道的支撑数据还不具备, 所以取 $L_a = 12\text{m}$, $L_e = 35\text{m}$ 进行应用验证。

压风筒风口距工作面 35m , 抽风筒风口距工作面 12m , 分别研究 $Q_a/Q_e = (0.8, 0.9, 1, 1.1, 1.2)/1$ 时的除尘效果。为了整体考量通风系统的除尘效果, 分别取呼吸高度平面 ($z = 1.5\text{m}$)、压风筒平面 ($z = 5\text{m}$) 和抽风筒平面或截割平面 ($z = 3\text{m}$) 的粉尘浓度图进行分析。本研究中, 隧道宽度为 10m , 而掘进机截割头最大直径 1m , 意味着尘源范围相对于隧道宽度而言较小, 故需对抽风筒的径向布置方式加以考虑, 分别按远近壁布置进行研究 (图 1)。

抽风筒远壁、近壁布置时不同压抽比下的除尘效果

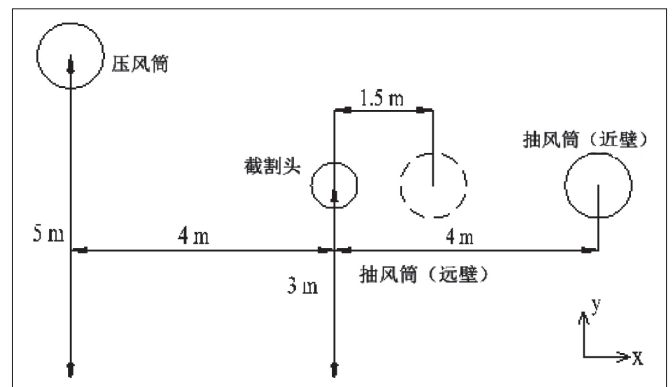


图1 抽风筒近远壁布置

(图2): 压抽比在 $(0.9 \sim 1.1)/1$ 时, 粉尘发生逸散, 压抽比 $> 1/1$ 时粉尘出现在压风侧积聚的情况, 且压风量越大积聚越显著, 但逸散现象改善明显; 压抽比 $< 1/1$ 时工作面附近容易形成旋流, 从而将粉尘控制在一定空间内后由抽风筒排出, 且压抽比 $=0.8/1$ 时控尘效果好于压抽比 $=0.9/1$ 时。

不同于远壁布置, 抽风筒近壁布置情况下。压抽比 $> 1/1$ 时, 容易发生粉尘逸散的情况, 压抽比 $=1.1/1$ 时逸散最严重, 压抽比 $=1.2/1$ 时粉尘在抽风侧上部空间明显积聚。压抽比 $\leq 1/1$ 时, 形成了旋流, 有效控制了粉尘, 压抽比越小, 旋流半径也越小, 更有利于将粉尘控制在一个较小的空间内。

综合来看, 压抽比 $=0.8/1$ 时大断面隧道内粉尘控制和排出效果最佳, 对比发现抽风筒近壁布置时, 较容易实现通过调节压抽比将粉尘控制在固定空间内, 压风量小于抽风量时, 控尘和除尘效果都好于压风量大于抽风量时。抽风筒远壁布置时粉尘积聚更为严重, 都积聚在压风侧的整个空间, 而近壁布置时的积聚范围更小, 一般在隧道顶部空间。

2.2 抽风口距离

通过以上的结果分析, 大断面无瓦斯隧道中, 压风量小于抽风量时整体效果好, 易于通过调节风筒布置位

置来获得最佳控尘和排尘效果, 那么压风量大于抽风量时的抽风筒的距离是否合适需要进行验证。根据上文分析结果, 压抽比 $=1/1$ 时的远壁布置效果远差于其他布置形式, 本节分别选取压抽比 $=1/1$ 和压抽比 $=0.8/1$ 时的近壁布置和压抽比 $=0.8/1$ 时的远壁布置研究抽风筒最优布置距离。

压抽比 $=0.8/1$ 时, 抽风筒近壁布置下不同的抽风筒风口距工作面距离形成的除尘效果差异较大(图3), 可以看出 $L_a=12\text{m}$ 时迎头端在抽风筒一侧形成了旋流, 且旋流范围很小, 有利于抽风筒将粉尘及时排出; 但当 $L_a=14\text{m}$ 时, 不仅未能形成旋流, 且粉尘在抽风筒风口前端严重积聚, 同时可以看到, 当 $L_a < 12\text{m}$ 时, 粉尘出现大范围逸散, 且高浓度范围在抽风筒风口之后, 说明抽风筒位置过于靠前, 不能对整个粉尘范围起到作用, 综合比较认为, 该条件下抽风筒有效吸程在 12m 左右。

额外的, 在压抽比 $=1/1$, 抽风筒近壁布置时进行了模拟分析, 难以通过调节抽风筒距工作面距离形成旋流从而控尘。虽然没有出现粉尘高浓度聚集的情况, 但除尘效果难以保证。当抽风口距工作面 12m 时, 能够将粉尘在 25m 范围内基本抽出但粉尘具有通过压风高度平面逸散的可能性, 但当把 L_a 增加到 14m 时, 粉尘在截割头两侧的控制效果出现差异, 在压风侧出现大范围逸散但在抽风侧被控制在抽风筒风口之前。

综上, 近壁布置时抽风口距工作面 12m 能够保证在压抽风量比变化时除尘效果较好, 但压抽比 $=0.8/1$ 时能够形成有助于控尘的旋流, 而且旋流范围小, 有效地将高低浓度区域隔离。另外, $L_a \neq 12\text{m}$ 时, 压抽比 $=0.8/1$ 的情况下粉尘控制情况不规则, 而压抽比 $=1/1$ 的情况下粉尘运动范围具有一定规律, 符合之前的理论分析。

另外, 由图3可知, 压抽比 $=0.8/1$, 抽风筒远壁布置时抽风筒风口距工作面的距离决定了高浓度粉尘的空间位置, 往往在抽风口附近。抽风筒与工作面的距离决定了粉尘的逸散程度和旋流的控尘效果, 距离过小时不利于形成旋流并进一步将粉尘抽出, 距离过大时又不利于及时抽出粉尘导致粉尘在抽风侧的积聚。当未能形成旋流时, 高浓度粉尘在抽风平面的位置较其他两平面距工作面更近, 说明高浓度粉尘将有向隧道口方向移动的可能。

当抽风口距工作面 12m 时, 能将旋流范围保持在抽风口之前, 但存在一

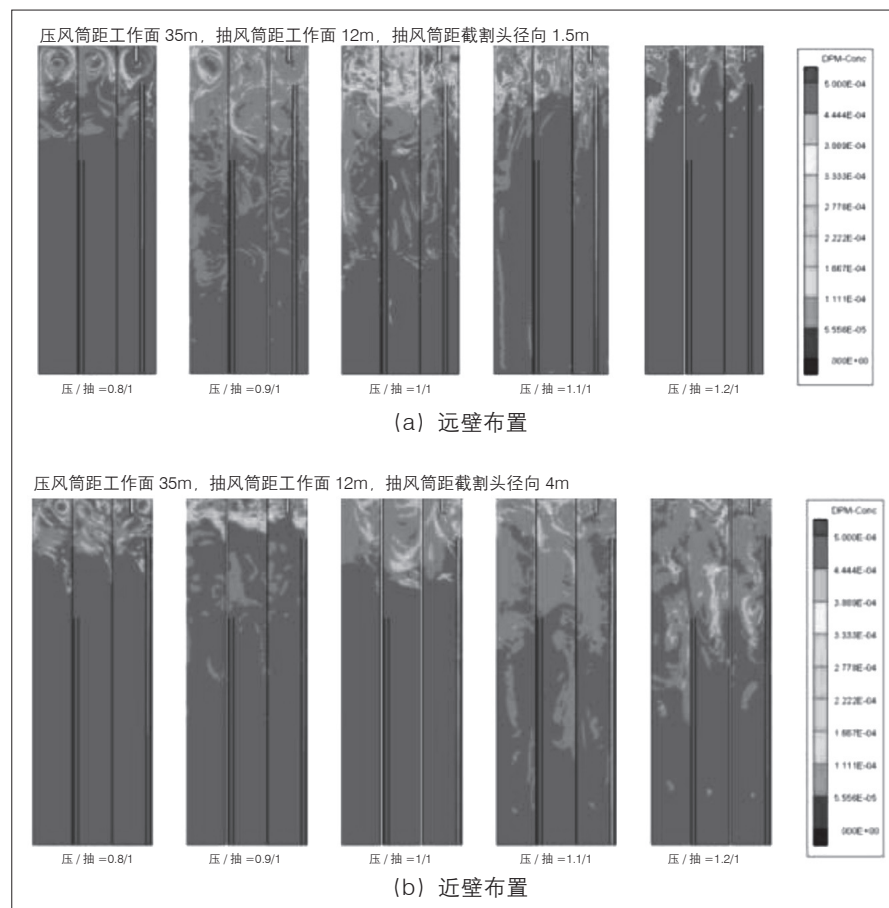


图2 远壁/近壁布置时不同压抽比下的粉尘浓度

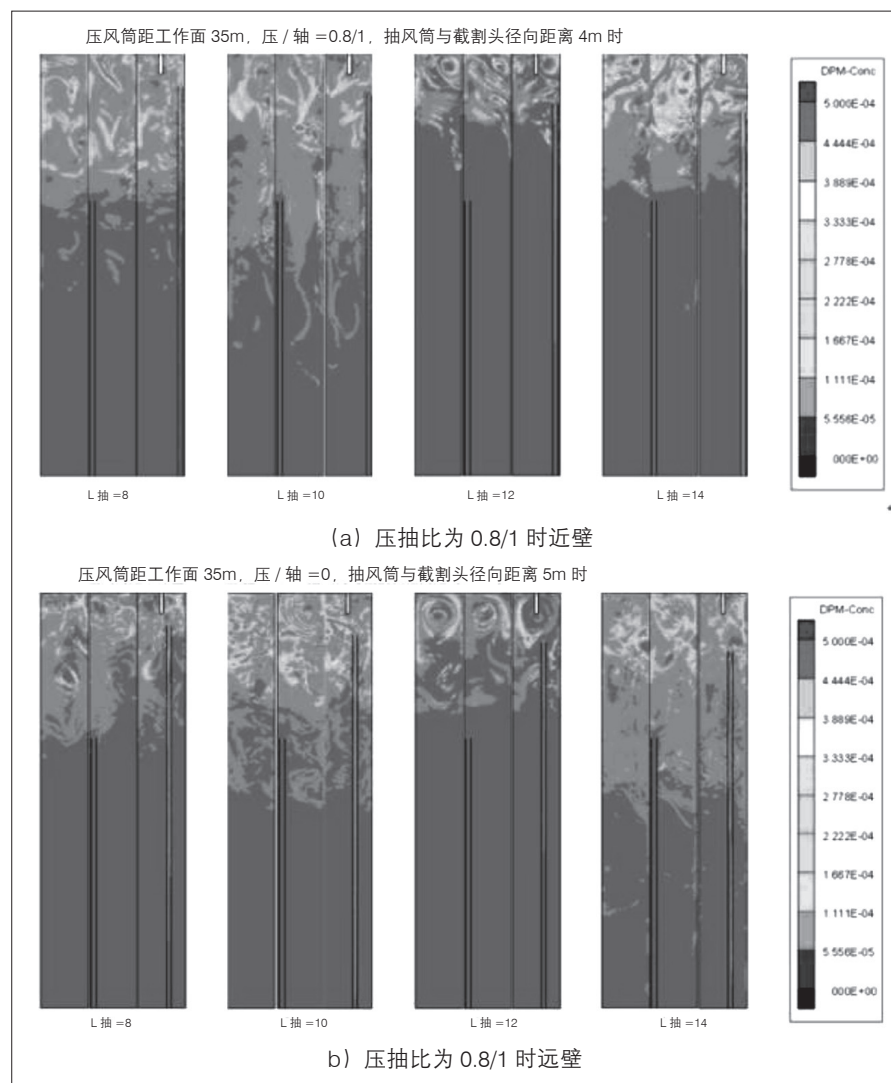


图 3 压抽比为 0.8/1 时近壁 / 远壁布置不同抽风筒距离的粉尘浓度

定逸散。 $L_a=12\text{m}$ 时, 远壁布置形成的旋流范围大, 中心位置更靠近隧道中心线, 所以对粉尘的控制效果不如近壁布置, 出现了部分的粉尘逸散; $L_a < 12\text{m}$ 时, 抽风筒过近的吸入粉尘, 不利于形成旋流, 出现高浓度粉尘扩散的情况, 然而远壁布置时为将粉尘聚集在迎头端附近较小的范围内提供了可能, 但是仍有逸散; $L_a > 12\text{m}$ 时, 远壁布置的逸散情况远比近壁布置严重, 但是近壁布置时出现大浓度大范围积聚, 排尘和除尘效果有限。

综合来看, 风口距工作面 12m 时, 无论是抽风筒近壁布置还是远壁布置, 压风量小于等于抽风量时, 均能

获得较好除尘效果。

2.3 压风口距离

根据前文的分析, 取 $Q_a/Q_e=0.8$, $L_a=12\text{m}$ 这一较优参数进行压风口距离变量分析, 结合前面的结果中粉尘出现逸散时范围一般都在压风筒风口之前, 本节中以 35m 为最大值, 每 5m 为一梯度进行模型设置, 即 $L_e=35\text{m}$ 、 $L_e=30\text{m}$ 、 $L_e=25\text{m}$ 和 $L_e=20\text{m}$ 加以对比研究。通过模拟, 压风筒过近时会导致粉尘的逸散, 直接影响了工作面的控尘效果, 在压风筒距离工作面 25m 时甚至出现了高浓度粉尘的逸散, 导致了整个隧道空间内粉尘逸散范围变大, 压风筒距离工作面 30m 时形成了一个较大范围的旋流; 但由于超出抽风筒吸程范围, 导致了粉尘的逸散; 而压风筒距离工作面 20m 时完全破坏了迎头端的控尘形式。综合来看, 压风筒距离工作面 35m 是合适的。

3 结语

根据以上研究, 徐工集团针对中小断面隧道, 研发了机载除尘系统; 针对中大断面隧道, 研发了大风量履带行走式除尘系统, 采用多节悬臂结构的可调式负压风筒, 同时吸风口可进行双级变幅角度调节。以上 2 种除尘系统配合悬臂式隧道掘进机在隧道施

工, 达到了较好的除尘效果。

参考文献:

[1] 周锦龙, 易永华. 微穿孔板吸声结构参数计算及在湿式旋流除尘风机中的应用 [J]. 矿山机械, 2015, 43(08): 18-21.

作者简介: 曹强 (1990-), 男, 汉族, 江苏徐州人, 本科, 工程师, 研究方向: 煤矿及隧道掘进机械、除尘机械及其施工工艺。