

高海拔长大隧道掌子面通风技术

汪 明

陕西华山路桥集团有限公司 陕西 西安 710000

摘 要：高海拔长大隧道掌子面通风极具特殊性。高海拔环境下，空气稀薄、气压低、氧气含量少，使得通风难度显著增加。在通风设备选型方面，要着重选择大风量高压风机，以克服高海拔带来的通风阻力；所选设备需适配高海拔低氧环境，确保稳定运行；同时要保障长距离通风的稳定性，满足隧道深处的通风需求。通风关键技术涵盖压入式通风、射流风机辅助通风、巷道式通风及综合除尘技术，各项技术协同作用，有效解决通风难题，为施工安全和人员健康提供坚实保障。

关键词：高海拔长大隧道；掌子面；通风技术

引言：高海拔地区的长大隧道建设因低气压、低含氧量和复杂多变气候等特殊地理环境因素，在隧道施工时困难重重。掌子面作为施工关键区域，其通风状况对施工人员生命健康与工程进度影响重大。但传统通风技术在高海拔长大隧道中难以满足实际需求，致使有害气体积聚、粉尘浓度过高，危及安全且降低效率。因此，深入研究掌子面通风技术，优化系统设计并创新策略，对保障工程和提升环境质量意义非凡。

1 高海拔长大隧道掌子面通风的特点

高海拔长大隧道掌子面通风具有诸多独特特点，这些特点给通风工作带来了极大挑战。高海拔地区空气稀薄、气压低，空气密度小，这对通风设备的性能产生显著影响。风机在高海拔环境下，其实际工作效率会大幅下降，产生的风量和压力远低于在平原地区的表现。同时，氧气含量的减少不仅影响施工人员的呼吸，还使内燃机械设备因氧气不足而燃烧不充分，产生更多有害气体，进一步增加了通风的难度和需求。恶劣的气候条件也是高海拔地区的一大难题，低温会使通风管道材料变脆，容易破裂损坏，影响通风系统的密封性和可靠性。昼夜温差大可能导致通风设备和管道因热胀冷缩出现连接部位松动、漏风等问题。大风天气会增加通风系统的外部阻力，强紫外线则会加速通风管道和设备外壳的老化，缩短其使用寿命。从隧道施工本身来看，长大隧道通风距离长，通风阻力显著增加。随着风流在管道内流动距离的延长，沿程阻力和局部阻力不断增大，通风能耗大幅上升，而掌子面的有效风量却不断减少，难以保证有足够的新鲜空气供应^[1]。而且，长大隧道施工中掌子面数量多，不同掌子面的施工进度和作业情况不同，对通风的需求差异较大。比如爆破作业时需要大量新鲜空气排出炮烟和有害气体，支护作业时通风需求相对较

小，这种复杂的需风量分布增加了通风系统设计和运行管理的难度。此外，隧道施工过程中会产生大量粉尘和有害气体，如钻眼、爆破、装碴等作业都会产生粉尘，运输车尾气以及地层释放的有害气体也会污染空气。在高海拔地区，空气稀薄使得污染物扩散速度慢，更容易在掌子面附近积聚，导致空气质量恶化，严重影响施工人员的健康和施工设备的正常运行。

2 高海拔长大隧道掌子面通风设备选型

2.1 选大风量高压风机

2.1.1 考虑高海拔环境对风机性能的影响

在高海拔地区，空气稀薄、气压低、含氧量少，这些因素会显著影响风机的性能。普通风机在高海拔环境下，其实际风量和风压会大幅下降，无法满足隧道掌子面的通风需求。因此，在选择风机时，要充分考虑高海拔环境对风机性能的影响，优先选择专门为高海拔环境设计的大风量高压风机。这类风机经过特殊设计和优化，能够在低气压环境下保持稳定的风量和风压输出，确保掌子面有足够的新鲜空气供应。

2.1.2 结合隧道长度和施工进度确定风机参数

高海拔长大隧道的长度和施工进度是选择风机的重要依据。随着隧道的不断掘进，通风距离逐渐增加，通风阻力也会相应增大。要根据隧道的实际长度和施工进度，合理确定风机的风量和风压参数。在施工初期，可选择相对较小参数的风机；随着隧道的延伸，逐步更换为大风量高压的风机。同时，要考虑风机的可扩展性，以便在后续施工中能够方便地进行升级和调整。

2.1.3 评估风机的可靠性和维护成本

在高海拔长大隧道施工中，风机的可靠性至关重要。由于隧道施工环境恶劣，风机需要长时间连续运行，一旦出现故障，将严重影响施工进度和人员安全。

要选择可靠性高、质量稳定的风机产品。还要考虑风机的维护成本,包括设备的维修、保养和更换零部件等费用。选择易于维护、配件供应充足的风机,能够降低维护成本,提高通风系统的运行效率。

2.2 适配高海拔低氧环境

在高海拔长大隧道掌子面施工中,适配高海拔低氧环境来选择通风设备至关重要。高海拔低氧环境会使普通动力设备的功率下降,效率降低。通风设备应采用专门为高原设计的动力系统,如具备高原适应性的电机。这种电机能够在低氧环境下保持稳定的功率输出,确保通风设备正常运转,为掌子面提供持续的通风动力。由于高海拔地区空气稀薄,通风设备需要具备更高的效率来实现有效的空气输送。选择具有优化叶片设计和空气流道的风机,能够在低气压环境下提高风量和风压,保证新鲜空气能够快速、有效地送达掌子面,同时排出有害气体。高海拔地区气温低、昼夜温差大,设备应选用具有良好耐寒性和抗冻性的材料,防止因低温导致设备损坏^[2]。设备的结构要紧凑、坚固,能够承受高海拔地区的强风、沙尘等恶劣气候条件的影响。通过安装传感器实时监测掌子面的空气质量、氧气含量等参数,通风设备能够根据实际情况自动调整运行状态,实现精准通风。这样既能保证掌子面的空气质量,又能降低能源消耗,提高通风效率。

2.3 保障长距离稳定通风

在高海拔长大隧道施工中,为解决掌子面通风问题,选择通风设备时保障长距离稳定通风是核心要点,可从以下几个方面进行考量:(1)选用高效增压风机:高海拔地区空气稀薄,长距离通风会使风压损失较大。因此,要选择具备高效增压能力的风机,这类风机能够在低气压环境下产生足够的风压,克服长距离通风的阻力,将新鲜空气持续稳定地输送到掌子面。同时,风机应具备良好的稳定性和可靠性,以适应长时间连续运行的要求。(2)采用大口径低阻风筒:风筒的口径和阻力对通风效果影响显著。大口径风筒可以有效降低风阻,减少通风过程中的能量损耗,保证通风量的稳定。此外,要选择低阻风筒材料,如表面光滑、质地均匀的风筒,进一步降低风阻,提高通风效率。(3)优化风筒连接方式:风筒的连接质量直接关系到通风的稳定性。采用密封性能好、连接牢固的连接方式,如快速接头或密封胶圈连接,能够减少风筒连接处的漏风现象,确保通风系统的密封性。同时,定期检查风筒连接情况,及时修复或更换损坏的连接部位。(4)设置中继增压装置:对于超长距离的通风,单一风机可能无法满足通风需

求。此时,可以在通风线路中合理设置中继增压装置,如中继风机或增压风柜,对空气进行二次增压,提高通风压力,保障长距离通风的稳定性。(5)配备智能监测系统:安装智能监测系统,实时监测通风设备的运行状态、风压、风量、空气质量等参数。通过数据分析和预警功能,及时发现通风系统中的问题,并采取相应的措施进行调整和修复,确保通风系统始终处于稳定运行状态。

3 高海拔长大隧道掌子面通风关键技术

3.1 压入式通风技术

3.1.1 通风量精准计算

在高海拔长大隧道掌子面采用压入式通风技术时,精准计算通风量是关键。高海拔地区空气稀薄,气压低,空气密度与平原地区差异大,这会影响通风效果。计算通风量需综合考虑多种因素,如洞内同时工作的最多人数、一次爆破的炸药量、内燃机械作业产生的废气量等。通过精确的公式和实际数据,确定满足掌子面空气清新、有害气体浓度达标的通风量,为后续通风系统的稳定运行提供基础。

3.1.2 通风管道优化设计

通风管道的设计对压入式通风技术的效果影响显著。在高海拔环境下,要选择耐用、密封性好的管道材料,减少漏风现象。同时,合理设计管道的直径和走向,降低通风阻力。例如,采用大直径管道可有效减少通风能耗,提高通风效率。此外,对管道的连接方式进行优化,确保连接牢固、严密,避免因连接不当导致通风效果下降,保障新鲜空气能顺利输送到掌子面。

3.1.3 通风过程动态监测

在高海拔长大隧道掌子面的压入式通风过程中,进行动态监测十分必要。通过安装各类传感器,实时监测掌子面的空气质量、风速、风压等参数。一旦发现空气质量不达标或通风参数异常,及时调整通风系统的运行。例如,当有害气体浓度升高时,可增加通风量;当风速过小时,检查管道是否堵塞或风机是否正常工作。动态监测能及时发现问题并解决,保证通风系统的高效运行。

3.2 射流风机辅助通风

在高海拔长大隧道施工中,射流风机辅助通风是保障掌子面良好通风环境的关键技术之一。射流风机通过喷射出高速气流,诱导周围空气流动,从而有效推动隧道内的空气循环。在高海拔地区,空气稀薄,常规通风方式效果受限,射流风机的作用就更为凸显。安装射流风机时,需依据隧道的实际结构与通风需求精准定位。一般会安装在隧道顶部或侧壁,尤其在弯道、变截面等

特殊位置,合理增设射流风机,以确保风流能够顺畅通过。根据高海拔环境特点,对射流风机的转速、叶片角度等进行优化,使其能产生足够的推力和风量,加速空气流动,及时排出掌子面产生的有害气体、粉尘和炮烟。此外,射流风机可与其他通风方式协同作业。例如与压入式通风配合,压入式通风先将新鲜空气送至一定区域,射流风机再接力推动,扩大新鲜空气覆盖范围,提升通风效率,为隧道施工人员提供安全、舒适的作业环境,有力保障高海拔长大隧道的施工安全与进度。

3.3 巷道式通风技术

巷道式通风技术在高海拔长大隧道掌子面通风中发挥着重要作用,通过以下一系列技术手段有效解决通风难题:(1)合理规划巷道布局:依据隧道的地质条件、长度和施工进度等因素,科学设计平行导坑或横通道等巷道的位置和走向。确保巷道与主隧道之间的连接合理,以便风流能够顺畅地在两者之间流动,实现有效的通风循环。(2)优化通风设备配置:选用适合高海拔环境的通风机,并合理布置在巷道内。根据巷道的长度和断面尺寸,确定风机的数量和功率,保证能够产生足够的风压和风量,推动空气在巷道和主隧道内流动。

(3)设置风流调控装置:在巷道与主隧道的连接处安装风门、风墙等风流调控装置,精确控制风流的方向和流量。通过调节这些装置,确保新鲜空气能够优先流向掌子面,同时有效排出污风。(4)加强通风监测与管理:安装先进的监测设备,实时监测巷道和主隧道内的空气质量、风速、风压等参数。根据监测数据及时调整通风设备的运行状态,保证通风系统始终处于最佳运行状态。(5)定期维护与检修:制定严格的维护计划,定期对通风设备和巷道进行检查、清洁和维修。及时处理设备故障和巷道损坏等问题,确保通风系统的稳定运行。

3.4 综合除尘技术

在高海拔长大隧道的施工场景中,掌子面处易产生

大量粉尘,严重影响施工环境与人员健康,综合除尘技术的应用迫在眉睫。泡沫除尘技术可发挥重要作用,通过特殊的发泡装置,产生丰富细腻的泡沫,泡沫覆盖在产尘源表面,有效抑制粉尘飞扬,且能与粉尘充分结合使其沉降。安装空气净化装置也是关键一环,在隧道内合适位置设置高效的空气净化设备,利用过滤、吸附等原理,去除空气中的细微粉尘颗粒,提升空气质量^[3]。采用水幕降尘可进一步加强除尘效果,在隧道内设置水幕系统,形成一道水幕屏障,当含尘气流通过时,粉尘被水幕拦截、捕捉,从而降低粉尘含量。此外,对运输道路进行硬化处理,并定期洒水清扫,能减少车辆行驶过程中产生的扬尘。综合运用这些除尘技术,多管齐下,为高海拔长大隧道营造清洁、安全的施工环境。

结语

未来,高海拔地区隧道工程数量势必持续攀升,这对掌子面通风技术提出了更为严苛的要求。当前虽已在通风技术上取得一定进展,但面对复杂多变的高海拔环境,仍有较大提升空间。需持续深入探索,不断优化通风系统设计,增强设备对极端条件的适应能力。同时,借助先进科技提升智能化水平,实现通风系统的精准调控。唯有如此,才能为高海拔长大隧道的安全、高效施工筑牢根基,满足日益增长的工程建设需求,有力推动隧道工程建设行业朝着更高质量的方向蓬勃发展。

参考文献

- [1]冯浩.高海拔长大隧道纵向通风应用研究[J].中国科技期刊数据库工业A,2025(1):103-106.
- [2]刘俊龙,杜君涛,赵晓辉,杨伟,李俊.高海拔地区隧道施工通风关键技术研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(12):009-013.
- [3]石拓.高海拔铁路长大隧道斜井与竖井接力通风技术探讨[J].建筑技术开发,2023,50(1):105-107.