

上跨主线隧道风道群开挖施工技术

房志煜

广东长正建设有限公司，广东 珠海 519000

摘 要： 在21世纪，人类不断地开发和利用地下空间，公路隧道是连通区域交通的主要方式。根据数据，到2020年为止，我国的公路隧道总数达到21316座，总建设长度高达2199.93万米。其中，特长隧道有1394座，通行距离达623.55万米，而长隧道的数量则达到了5541座，总长度达到963.32万米。作为主要的隧道通风排烟手段，通风风道在长隧道和特长隧道中得到了广泛的应用。然而，在建设通风风道的过程中，对其的需求也在逐渐增加，对施工技术的研究也变得越来越紧迫。研究的目的是解决如何在施工过程中保证联络风道的安全和快速施工，以及如何优化工艺以实现降低工程成本和节约施工成本的目标，从而实现节约型社会化的理念。

由于许多隧道通风系统的建设过程可能会影响到整条隧道甚至项目的总体建造时间，目前的风道连接方式通常是在风道的上方跨越主洞，距离为5—10米之间。然而，当执行此操作时，必须设置用于风道建设的轨道运输工具并展开风道的施工工作面，这必然会对隧道的主洞施工产生干扰，从而导致施工效率降低、资源消耗增加及延迟施工进度，最终可能导致工程费用的上升。

关 键 词： 通风风道；特长隧道；上跨主线隧道

Excavation Construction Technology of Duct Group of Upper Cross Mainline Tunnel

Fang Zhiyu

Guangdong Changzheng Construction Co., Ltd, Guangdong, Zhuhai 519000

Abstract： In the 21st century, human beings continuously develop and utilize underground space, and highway tunnels are the main way to connect regional transportation. According to the data, by 2020, the total number of highway tunnels in China has reached 21,316, and the total construction length is up to 21,999,300 meters. Among them, there are 1,394 extra-long tunnels with a passing distance of 6,235,500 meters, while the number of long tunnels has reached 5,541 with a total length of 9,633,200 meters. As the main means of tunnel ventilation and smoke extraction, ventilation ducts are widely used in long tunnels and extra-long tunnels. However, in the process of constructing ventilation ducts, the demand for them is gradually increasing, and the research on construction technology has become more and more urgent. The goal of the research is to solve the problem of how to ensure the safe and fast construction of the contact ducts during the construction process, and how to optimize the process to achieve the goal of reducing the project cost and saving the construction cost, so as to realize the concept of saving socialization.

As the construction process of many tunnel ventilation systems may affect the overall construction time of the entire tunnel or even the project, the current air duct connection method is usually over the main hole above the air duct at a distance of between 5–10 meters. However, when this operation is carried out, it is necessary to set up the rail transportation for duct construction and to unfold the construction working surface of the duct, which inevitably interferes with the construction of the tunnel's main cavern, leading to reduced construction efficiency, increased resource consumption and delayed construction process, which ultimately may lead to an increase in the project cost.

Key words： ventilation ducts; very long tunnels; cross mainline tunnels

一、工程概况

（一）工程简介

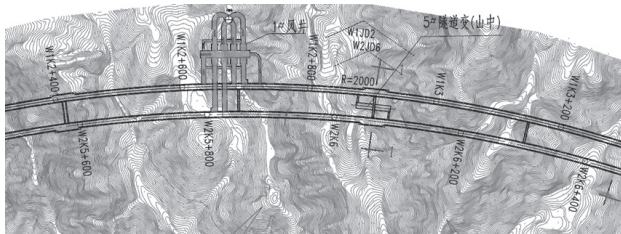
珠海市公共工程建设中心牵头建设兴业快线（北段）项目，珠海兴格投资有限公司负责投融资建设。兴业快线（北段）的起点位于香洲区兴业路，终点是唐家。沿途是城市住宅及生活区

域。该路线通过下穿隧道穿越梅华路，然后通过矿山隧道进入凤凰山。通过利用现有地形的高差，将合并段隧道分为西线和东线两条隧道。西线隧道从凤凰山出来后，经过金唐东路上跨，最后接上哈工大路。东线隧道穿过鸡山村和中山大学，最后接上港湾大道与唐乐路的交叉口。项目向南直通梅华东路、迎宾北路。

本工程西线隧道全长约5761m，1#通风竖井位于西线隧道



> 图 1-1 兴业快线（北段）总体平面图



> 图 1-2 竖井风道平面位置图

W1K2+674 西侧，距隧道进口 2.2 公里，内径 11m，排风道净空面积为 22m²，周长为 18m，送风道净空面积为 43m²，周长为 27m，井深 86m。竖井、风道与地下风机房连接，风道需跨越左线隧道与右线隧道相连。

（二）周边环境

本项目的西线隧道风井位于滨海的凤凰山腹地，凤凰山高林密，仅有上山步道，设备进场、材料进场、渣土运输都不具备条件。

（三）工程地质水文条件

沿线的地下水主要分为两种赋存方式：一种是存在于第四系松散层中的孔隙水；另一种是存在于基岩裂隙中的水。

1）第四系松散层孔隙水

在疏松的填筑土层、海陆交互沉积层、第四系冲洪积及残积土层中，第四系松散层孔隙水主要依赖大气降水补给，侧向径流补给次之。其富水性较差，埋深会随着旱季和雨季的变化而变化，富水动态变化较大，径流途径较短。潜水孔隙通常会导致土壤变得湿润且脆弱，这对道路基础的稳定性有不利影响。

2）基岩裂隙水

花岗岩不同风化带的裂隙水是基岩裂隙水的主要组成部分，并且强风化~中风化带在储水层段中发挥着主要的作用。

以下是基岩裂隙水的特性：也就是说，地下水的分布主要受到存在于岩体中裂缝发展程度的影响，并且具有显著的各向异性。在节理裂缝较为丰富的区域，裂缝水储量更多，同时其透水能力也相对强大。

二、施工重难点

竖井横风道群结构与普通的隧道相比极其复杂，纵横交错。在施工过程中是比较困难的，施工部署也面临的极大的挑战。同时在开挖的过程中，上跨的风道与主线隧道十分贴合，且坡度大开挖难度系数大。在风道的弯道段开挖也非常困难。

在施工过程中应合理安排各通道开挖顺序；及时跟进超前地质预报；优化爆破参数；合理进行施工部署；同时应在施工过程

中加强监测以此来克服风道群施工的困难。

三、施工技术措施

（一）施工特点

1）在遵循主洞的标准建设计划的前提下，只需在进行挖掘建设的过程中做出微小的修改，而对于隧道的主洞建设计划则保持基本不变。然后先开挖、初支风道，后与主隧道一同进行衬砌施工。

2）在交叉口施工段落，在主洞的二次衬砌钢筋施工过程中，预先需考虑排风口的预留，以便在后期排风口开挖时，开口安全且不扰动其他主洞二衬混凝土。交叉口的开挖紧邻主洞二衬，需要科学、合理制定爆破或开挖方案，确保隧道主洞的安全稳定。

3）通过在主线上跨越风道的方式施工，不仅可以缩小风道的斜率，还可以有效地减少其长度，从而使挖掘和衬砌任务变得更加简单易行，提高了劳动效率。此外，这种方式几乎不会影响到主洞或连接通道的施工，使得这两项工作的进展能够同步推进，进而加速整体隧道项目的实施进程。并且由于风道的缩短，所需完成的工作量也相应减少，这无疑是促进项目速度提升的重要因素。

4）在风道上跨越主线隧道施工，以传统施工工艺取代了原有方式，从而降低了施工难度，减少了施工设备的需求，并采用了传统施工作业工具，从而加快了施工进度，减少了误工的发生。这种做法不仅在施工人员和设备投入方面降低了成本消耗，而且缩短了工期。

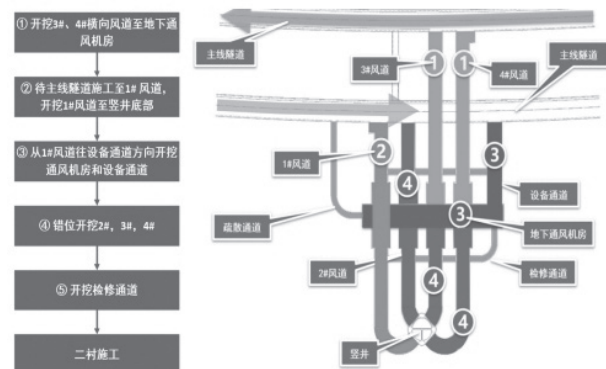
（二）工艺原理

1）两条风道的开挖位于主线隧道之上，其岩板厚度相对较薄，且几乎紧密相连。坡度大，最大坡度达 22% 出碴和钻孔均有较大难度。在主线隧道上方 20m 范围内的风道采用控制爆破（短进尺台阶开挖、抗扰动的施工技术措施）的方式进行开挖

2）对于坡度较大段，现场衬砌采用钢拱架加支持形式施工，钢拱架拱脚部位与地面进行锚固固定，防止拱架下滑，钢拱架采用热轧普通工字钢 I16，拱架间距为 1m，拱架间用钢筋进行连接，每段施工长度不大于 5 米。

3）下方主线隧道二次衬砌施工完成后，再进行上方主线隧道开挖施工。考虑到上方风道施工对主线隧道的影响，故在风道下方主线隧道衬砌施工完成后，衬砌台车不移动。

4）施工过程要注意爆破参数的计算和选取，建立数字模型去

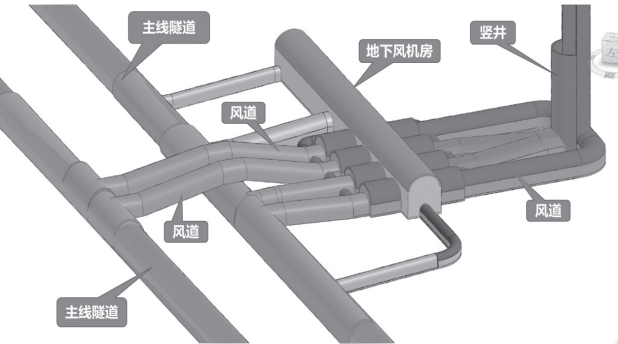


> 图 3.3-1 施工工艺流程图

分析风道爆破对正洞的影响，经过数值模拟分析为安全后方可进行爆破。同时加强隧道正洞的监测，确保施工的安全。

（三）施工工艺流程

开挖3#、4# 横向风道至地下风机房→待主线隧道施工至1#风道，开挖1# 风道至竖井底部→从1# 风道往设备通道方向开挖通风机房和设备通道→错位开挖2#、3#、4# 风道→开挖检修通道→二衬施工。

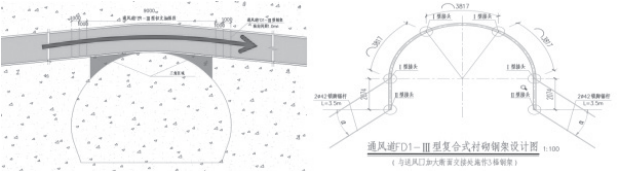


> 图 3.3-2 示意图

（四）施工要点

1. 风道开挖

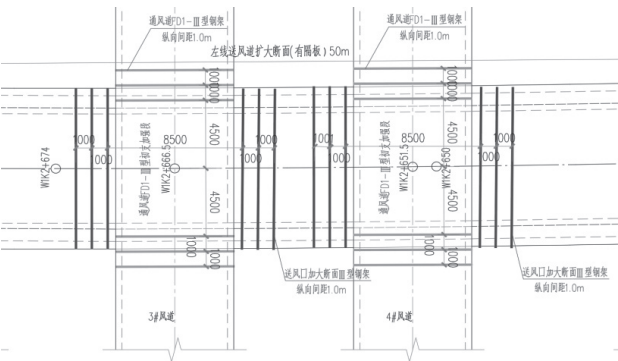
风道从右向左开挖贯通，施工至主线隧道中隔板附近时，左右各立三榀拱架进行加固，拱架道参照 FD1-III 拱架类型 HW100*100，间距1米，钢拱架每侧采用4根锁脚锚管进行固定，锚管直径 $\phi 42$ ，长度3.5m。同时中间过顶段风道初支采用 FD1-III 加强段类型，即采用 L=3500 的药卷锚杆 $\phi 25@1000 \times 1000$ （环向 \times 纵向），梅花型布置，和150mm 厚 C25 喷射混凝土及钢筋网。



> 图 3.4.1-1 过顶风道开挖示意图

2. 上跨主线隧道开挖

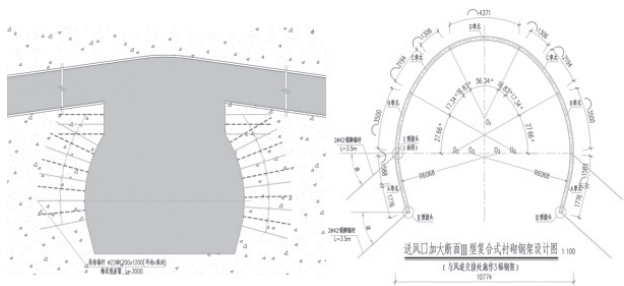
1) 开挖主线隧道时，上方风道要进行封闭，禁止人员随意进出，同时在风道顶端布置好监测点，主线隧道施工过程中，加强对风道的监测。



> 图 3.4.2-1 主线隧道与风道加强段示意图



图 3.4.2-2 现场施工设立钢拱架



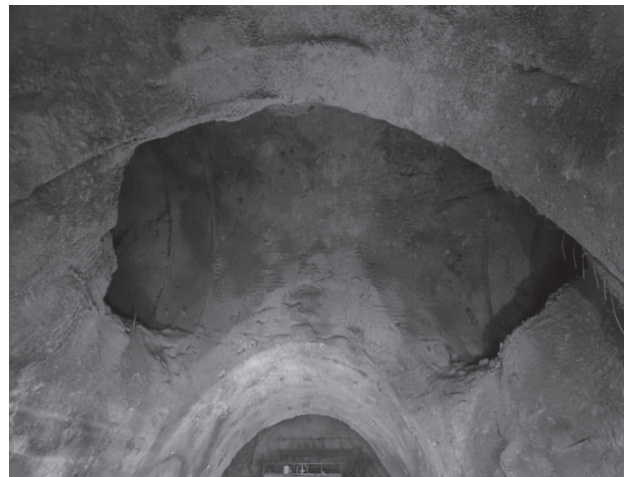
> 图 3.4.2-3 主线隧道开挖示意图

> 图 3.4.2-4 主线隧道拱架及锁脚锚杆示意图

2) 在主线隧道靠近风道处，每侧立三榀拱架进行加固，拱架参照送风口加大断面 III 型钢架，间距1m。

3) 为保证安全，主线隧道与风道交接处的三角区域岩石需要破除，使主线隧道与风道贯通，此处采用 L=3000 的药卷锚杆 $\phi 22@1200 \times 1200$ （环向 \times 纵向），梅花型布置，和120mm 厚 C25 喷射混凝土及钢筋网。拱架参照送风口加大断面 III 型钢架类型工16，间距1米，钢拱架每侧采用4根锁脚锚管进行固定，锚管直径 $\phi 42$ ，长度3.5m，主线隧道开挖爆破采用控制爆破，进尺控制在2米范围内。

4) 上跨风道群开挖成果展示：



> 图 3.4.2-5 现场施工成果展示图

四、风道群开挖施工安全控制措施

1) 只有通过公安部门的培训并获得资格的爆破工人才能开始工作。在钻孔前,需要检查是否存在盲炮:一旦进入掌子面,如果发现有盲炮,应立刻通知爆破工人处理,不能在原来的炮眼中继续钻孔。在执行爆破任务时,工作人员必须严格遵循《爆破安全规程》的规定进行操作。

2) 装药过程启动后,炮眼20m的区域内禁止再次进行钻孔操作,并且严格禁止同时进行装药操作。任何与装药操作无关的其他活动,特别是电焊、气焊和金属切割等。所有在装炮区的设备和工具都必须暂停使用,并移至安全的距离之外。

3) 负责从事、搭设高空作业安全防护设施的工作人员,需要接受特别的培训,只有在通过考试并获得资格证书后才能开始工作,同时,他们也需要定期接受身体健康的检查。

4) 建筑电力和日常用电的线路需要独立布置,同时动力和照明的保护设备也应该独立。在变电配电室内,绝对禁止吸烟,不允许堆积任何杂物,确保室内和室外的通道都能畅通无阻。对于供电线路,台车上的供电线路需要定期进行检查和维护,在乘坐人员之前,必须先进行检查,然后再乘坐人员。建筑工作人员的电力使用必须遵循“十不准”的规定。

5) 在进入施工现场的人员,都需要穿着完整的劳动保护装备,并且要采取有效的预防手段。

6) 喷射混凝土、注浆、洞内施工时,操作人员应戴口罩、眼镜、安全帽和胶手套。

7) 要有良好的照明设备。

8) 在操作设备的过程中,我们必须严格遵守使用维护保养规定以及定期的检查。对于恶劣的环境和有限空间施工,我们需要增强对设备的监控,并且要特别关注人员和设备的安全。

9) 我们需要积极寻找并解决可能影响设备安全运行的因素和

潜在风险,以确保设备在优良的工作状态下运行。

10) 密闭空间作业安排专人监护,进入作业前,监护人应对作业人员进行安全交底,并会同作业人员检查安全措施,统一联系信号。

11) 密闭空间作业现场应明确作业负责人、监护人员和作业人员,不得在没有监护人的情况下作业。

12) 凡要进入密闭空间危险作业场所作业,必须根据实际情况事先测定其氧气、有害气体、可燃性气体、粉尘的浓度,符合安全要求后,方可进入。

五、结论

本文通过叙述上跨风道群开挖施工的施工过程,分析过程中可能遇到的问题。从地质水文、周边环境、施工准备、开挖过程等需要注意的细节阐明了上跨主线隧道风道群的开挖施工工艺的细节,以及如何施工的过程中保证工人管理人员的安全以及结构的安全。这项施工技术在优化和改进竖井通风联络风道的建设顺序的同时,主要是通过分部施工方式来实现联络风道与主洞交叉口段的全面结构,从而最大限度地减少了联络风道建设对隧道主洞建设的影响,并提升了施工的安全性。此外,优化联络风道的过程缩短了其长度,降低了工程成本,提升了安全性,加速了施工进度,从而提高了整个隧道的施工效率。在兴业快线(北段)工程的隧道通风竖井联络风道中,该施工方法得到了成功的运用,总体来看,其经济效益仍然相当显著。

根据国内纵向通风联络风道的布局和文献资料的研究,对于通风联络风道上跨越隧道主洞的施工技术的研究尚处于空白阶段。对兴业快线(北段)隧道联络风道上跨越主洞交叉施工的研究,具有重大的社会价值。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家标准. GB 6722-2014. 爆破安全规程. 中国标准出版社. 2015.

[2] 中华人民共和国交通部标准. JTG/T 3660-2020 公路隧道施工技术规范. 北京:人民交通出版社, 2020.