

高速公路特长隧道施工通风设计研究

Study on Ventilation Design of Expressway Extra Long Tunnel Construction

罗雪松

Xuesong Luo

福建路桥建设有限公司
中国·福建 福州 350000
Fujian Road and Bridge Construction Co., Ltd.,
Fuzhou, Fujian, 350000, China

【摘要】高速公路特长隧道不断出现在施工建设中,由此引发的通风难题以及成本的提升极大阻碍了工程建设的施工,因此,长、大隧道施工过程的通风显得尤为重要。

【Abstract】The construction of super-long tunnel of expressway is always in construction, and the ventilation problem and cost increase caused by this cause greatly impede the construction of the project construction. Therefore, ventilation of long and large tunnel construction are especially important.

【关键词】高速公路;特长隧道;通风设计研究

【Keywords】highway; extra long tunnel; ventilation design research

【DOI】10.36012/etr.v2i1.1032

1 引言

随着高速公路的发展及技术应用的提高,长、大隧道越来越多地出现在高速公路建设施工中。而长、大隧道的通风问题,关系到一线施工人员的身体健康甚至生命安全,同时洞内含氧量的状况也会影响部分机械设备的维修成本和使用寿命。文章从工程实际出发,根据中国甘肃省渭武高速公路木寨岭特长隧道建设中的通风问题从设计方面进行着重探讨。

2 工程概况

本项目为中国兰州至中国海口的国家高速公路(G75)渭源至武都建设项目,是国家高速公路网中重要的一段,也是中国西北地区通往中国东南沿海的交通大动脉。

木寨岭隧道穿越漳河与洮河分水岭——木寨岭,横跨漳县、岷县两县。隧道采用分离式设计,左线里程 ZK210+635~ZK225+856,全长 15231m;右线里程 K210+635~K225+798,全长 15163m,洞身最大埋深 690m。

木寨岭隧道共分为三个标段,其中进口段双洞 5745m,另加一个斜井(木寨岭隧道 1#斜井)1623m。施工划分为两个施工工区,进口工区负责主洞、左右洞 3665m 施工任务;斜井工区负责木寨岭隧道 1 号斜井及主洞 2080m 施工任务。掌子面独头掘进最大长度分别为 3665m 和 3703m。

3 施工通风方案

3.1 施工通风总体方案

隧道采用分阶段通风管理模式,分别采用压入式、混合式

及巷道式通风方案,以压入式轴流风机为主、射流风机为辅的多种通风机组合通风方式来解决木寨岭隧道长距离施工通风问题。

3.2 施工通风原则

从隧道长度、开挖断面、机械设备等方面来看,对于特长隧道优先考虑混合式通风方法,当主通风机不能保证隧道施工通风要求时,须设置局部通风系统。

3.3 三阶段施工通风方案

进口端单边掘进 3665m,斜井工区单边掘进 3703m(含斜井长度)。为保证施工安全、确保施工进度按计划实施,根据拟定的合同划分情况及施工进度和施工组织安排,结合其他相关超特长隧道施工通风经验,确定木寨岭隧道施工通风方案分为三个阶段。

①第一阶段:洞口至洞内 2235m 采用独头压入式通风。

②第二阶段:洞内 2235m 至斜井辅助主洞施工第一条车行横洞贯通前(主洞巷道式、斜井独头压入式)。

主洞施工段:左右洞轴流风机进洞,主洞采用巷道式通风,新鲜风流由右洞压入,污浊空气由左洞排出,此时隧道内增设射流风机,以克服隧道主洞巷道通风阻力,并将排风隧道作为专用出渣运输通道,应注意各横向通道的封堵。

斜井辅助主洞施工段:斜井采用独头压入式通风,在斜井进入正洞施工后且在横通道贯通前,在斜井口并排安装两套通风系统,分别负责主洞左线和右线的施工通风,采用独头压入式通风^[1]。

③第三阶段:在斜井工区与主洞工区开挖贯通后,将斜井

两台风机移至斜井与右洞交叉口处,斜井井身段停止所有作业,并对斜井交叉口进行封闭。此时风机到掌子面的最大距离为 2080m,没有超过 2235m,按前述计算,能够满足施工通风需要。

将此前在左洞 ZK210+300 处的风机及隔风墙全部拆除,在左洞内间隔 300m 安装射流风机,加速洞内空气流通,确保空气质量满足要求。

4 施工通风控制指标

为了确保隧道内空气质量合格,氧气含量要符合标准,即不低于 20%;粉尘的含量不能高于 10mg,二氧化硅含量不能高于 10%;在工作人员进入隧道后,CO 含量不能高于每立方米 30mg,CO₂ 含量不能高于 0.5%;隧道内平均温度不能高于 28℃;在隧道内进行连续施工的过程中,新鲜空气不能低于每分钟 3m³,风的供应量不能小于每小时 3m³;在隧道开挖过程中,隧道全断面的风速不能低于每秒 0.25m。

5 通风计算

5.1 计算参数的确定

一次开挖断面: $S=40\text{m}^2$ (三台阶);

一次爆破耗药量: $A=64.8\text{kg}$ (V 级围岩炸药单耗);

通风距离: $L=3703\text{m}$;

洞内最多作业人数: $m=45$ 人;

爆破后通风排烟时间: $t \leq 30\text{min}$;

通风管直径: $\varphi=1800\text{mm}$;

管道百米漏风率: $\beta=1.5\%$ 。

5.2 按压入式通风方式进行风量试算

5.2.1 风量计算

①按洞内同时工作的最多人数计算风量,公式为:

$$Q_1 = kmq \quad (1)$$

式中, q 取 $3\text{m}^3/\text{min}$; m 为洞内同时工作的最多人数, 45 人; k 为风量备用系数, 取 1.15。

计算得: $Q_1 = kmq = 1.15 \times 45 \times 3\text{m}^3/\text{min} = 155.25\text{m}^3/\text{min}$ 。

②按排出炮烟计算风量。按三台阶开挖,最多炸药量所产生的有害气体到允许的浓度,计算:

$$\begin{aligned} Q_2 &= V_1 - (K \times V_1^{1+1} / V_2)^{1/2} \\ &= 1118.4 - (1 \times 10^{-4} \times 1118.4^{30+1} / 2.6)^{1/30} \\ &= 1118.4 - 664.88 \\ &= 453.22\text{m}^3/\text{min} \end{aligned}$$

式中, V_1 为次爆破产生的炮烟体积, $V_1 = S \times L_s = 40 \times 27.96 = 1118.4\text{m}^3$; S 为次开挖的断面面积,按 40m^2 计算; L_s 为炮烟抛

掷长度,按经验公式 $L_s = 15 + A/5 = 15 + 64.8/5 = 27.96\text{m}$; A 为次爆破耗药量, $A = 64.8\text{kg}$; V_2 为次爆破产生有害气体的体积, $V_2 = \alpha \times A = 40 \times 10^{-3} \times 64.8 = 2.6\text{m}^3$; A 为单位重炸药爆破产生有害气体换算成 CO 的体积,取 40L/kg ; K 为 CO 允许浓度,取 100ppm ,即 1×10^{-4} ; t 为通风时间,取 30min 。

③按允许最低风速计算风量:

$$Q_3 = 60VS \quad (2)$$

式中, V 为全断面开挖取 0.15m/s ,分部开挖取 0.25m/s ; S 为一次开挖的断面面积,按 40m^2 计算。

计算得: $Q_3 = 60 \times 0.25\text{m/s} \times 40\text{m}^2 = 60\text{m}^3/\text{min}$ 。

④按稀释和排除内燃机废气计算风量:本项目采用无轨运输,供风量应足够将内燃设备所排放的废气全面稀释和排出,使有害气体降至允许浓度以下。考虑在洞内同时有 2 台 ZL50D 型装载机(功率 158kW)和 3 辆 20T 自卸车(功率 247kW)作业,总功率 1057kW ,取机械设备的平均利用率为 70%,隧规 1kW 需供风量不小于 $3\text{m}^3/\text{min}$,算得:

$$Q_4 = n_i \times t_i \times N = 1057 \times 0.7 \times 3\text{m}^3/\text{min} = 2220\text{m}^3/\text{min}$$

式中, n_i 为洞内同时使用内燃机作业的总 kW 数; t_i 为利用率系数,取 0.7; N 为功率通风计算系数,中国暂行规定为 $2.8 \sim 3\text{m}^3/\text{min}$ 。

5.2.2 洞内需风总量

爆破与出渣不可能同时进行,选其大者作为计算控制风量。通过上述计算,按稀释和排除内燃机废气计算风量为 $2220\text{m}^3/\text{min}$,大于 $453.22\text{m}^3/\text{min}$,因此取按稀释和排除内燃机废气计算风量为控制指标,即 $Q = Q_1 + Q_3 + Q_4 = 155.25\text{m}^3/\text{min} + 60\text{m}^3/\text{min} + 2220\text{m}^3/\text{min} = 2375.25\text{m}^3/\text{min}$,通风机采用 SDF (C)-No14 型风机高速高效风量为 $3361\text{m}^3/\text{min}$ 。

因此,从风机供风量而言,此方案可行。

5.3 漏风试算

5.3.1 漏风计算

$$Q_{\text{机}} = Q_{\text{max}} \div (1 - \beta)^{L/100} \quad (3)$$

式中, β 为百米漏风率(取 $\beta = 1.5\%$); L 为巷道长度,本项目 $L = 3703\text{m}$ 。

$$\begin{aligned} Q_{\text{机}} &= Q_{\text{max}} \div (1 - \beta)^{L/100} = 2375.25\text{m}^3/\text{min} \div (1 - 1.5\%)^{3703/100} \\ &= 4157\text{m}^3/\text{min} \end{aligned}$$

5.3.2 高山地区修正后的供风量计算

$$Q_{\text{高}} = (100 \div P_{\text{高}}) \times Q_{\text{供}} = (100 \div 71.28) \times 3361\text{m}^3/\text{min} = 4715\text{m}^3/\text{min}$$

其中, $P_{\text{高}}$ 为高山地区大气压,单位为 KPa, $P_{\text{高}} = 71.28\text{KPa}$ 。

$$Q_{\text{机}} = 4157\text{m}^3/\text{min} < 4715\text{m}^3/\text{min} = Q_{\text{高}}$$

因此,从扣减漏风量后供风量而言,此方案可行。

