

高速公路特长隧道斜井施工通风方案优化

刘 敏

中交二公局东萌工程有限公司 陕西 西安 710119

摘要: 在高速公路特长隧道斜井进入主洞施工后, 往往为加快施工进度, 需要同时开展几个工作面施工, 因工作面施工工序不同, 经常会存在交叉作业, 导致主洞内施工新鲜空气与污浊空气相互混杂, 污浊空气又无法有序排出洞外, 采用传统压入式通风, 存在风机功率大、成本高、效率低下等缺点。通过优化工作面污风引排配合压入式通风, 有效加快污浊空气流出速度, 提升洞内施工环境, 从而达到提高隧道施工进度, 保证施工安全, 节省施工成本的目的。

关键词: 高速公路; 隧道斜井; 压入式通风; 优化; 引排

引用

随着我国交通强国战略的提出, 交通建设工程迈向了高质量发展的快车道, 但随着高速公路向西部山区的延伸, 隧道建设的规模逐年增多, 也使得特长隧道通风问题日益明显, 不合理的通风方式将导致隧道内新鲜空气稀薄、有害气体浓度超标, 并直接衍生出降低工效、危害健康、增加能耗等一系列问题。特别是基于隧址地形、地质条件、工程造价及运营通风等综合因素考量, 特长隧道多会设置斜井以增设开挖工点, 实现“长洞短打, 分段贯通”的目的, 然而, 鉴于斜井段净空断面尺寸、隧洞长度的工程特点, 斜井-主洞段的通风设计中风机数量和风管直径影响施工机械通行、供风量不足等关键问题。因此, 优化特长隧道通风技术具有现实必要性。

本文依托都香高速乐红特长隧道, 在单独斜井辅助主洞施工情况下, 由于施工顺序和施工条件影响, 相对经济、通风效果较好的巷道式通风难以适用; 采用压入式通风风机功率大、能耗高, 污浊风流经全洞, 各断面污风相互混合, 通风效果差, 空气环境无法改善。以此为此类特长隧道工程提供新型通风方式的经验。

1 工程概况

都香高速公路(云南段)乐红特长隧道全长9.75Km, 设置斜井3座, 其中1#斜井长度为1965m, 最大纵坡6.5%; 联络通道长121.39m, 最大纵坡4%; 斜井断面为净宽8m, 净高6.35m。斜井通过送风洞与左线相交, 送风洞交叉口桩号为ZK60+050, 通过扩挖作为施工进车洞, 排风洞交叉口桩号为ZK60+100, 作为施工出车洞, 设计永久右线排风洞跨左洞进入右洞, 交叉口桩号为YK60+076。斜井进入主洞分别在大小桩号开设2个掌子面施工; 经车行横洞与右线连通, 开设2个掌子面, 各掌子面最长施工距离距交叉口1.5km。^[1]

2 通风方案优化

施工通风的目的是为隧道内提供足够的新鲜空气, 并稀释、排除有害气体和降低粉尘浓度, 从而改善劳动条件。特长隧道施工通风方式为排风式、送风式、混合式、巷道式等, 这四种通风形式分别具有距离短、易漏风、设备多、管线杂等缺点。在单独斜井辅助主洞施工情况下, 由于施工顺序和施工条件影响, 相对经济、通风效果较好的巷道式通风难以适用; 采用压入式通风风机功率大、能耗高, 污浊风流经全洞, 各断面污风相互混合, 通风效果差, 空气环境无法改善。随着隧道掘进长度的延伸, 通风方案应根据不同阶段进行动态调整。

2.1 原通风方案

原通风方案主要采用独头压入式通风, 通过洞内需风量计算通风设备配置。

2.1.1 工作面所需风量计算

工作面所需风量计算

①按洞内同时工作的最多人数的需风量计算

$$Q_1 \text{斜井左} = q \times m \times k = 3.0 \times 120 \times 1.15 = 414 \text{m}^3/\text{min}$$

$$Q_1 \text{斜井右} = q \times m \times k = 3.0 \times 90 \times 1.15 = 311 \text{m}^3/\text{min}$$

式中: Q_1 —计算风量 (m^3/min)

q —洞内每人每分钟所需的新鲜空气量 (m^3/min), 按 $3 \text{m}^3/\text{min}$ 计

m —洞内同时工作的最多人数, 斜井左洞按120人计, 斜井左洞90人计

k —风量备用系数, 取1.15

②按洞内同时爆破用炸药量计算风量

$$\text{管道式通风: } Q = \frac{7.8}{t} \sqrt[3]{A(SL)^2} = 463 \text{m}^3/\text{min}$$

式中: t —通风时间 (min), 长隧道按30 (min) 计

A —同时爆破的炸药量 (kg), 全断面开挖时, 每循

环最大进尺取3.5m。

单位装药量取0.8kg/m³，则A = 108×3.5×0.8 = 303kg

S—隧道断面积 (m²)，按108m²计

L—通风区段长度 (m)

③按洞内同时工作的内燃机械设备需风量计算

采用无轨运输，按《公路隧道施工技术规范》规定按照3m³/kw·min稀释尾气。工作面考虑施工高峰期需要的内燃机械使用总功率为1068KW。

$$Q = H \cdot q \cdot k$$

式中：H—内燃机械总功，kw；

q—内燃机械单位功率供风量，4.5m³ / (min · kw)。

k—功率系数，取为0.63。

掌子面附近的内燃机作业需风量为：

$$Q_3 = 1068 \times 3 \times 0.63 = 20183/\text{min}$$

④按洞内允许最小风速0.25m/s计算

$$Q_4 = 60AV = 60 \times 108 \times 0.25 = 1620\text{m}^3/\text{min}$$

式中：V—洞内允许最小风速0.25m/s

A—隧道断面面积

计算可知：需风量为1620m³/min

⑤最大供风量确定

根据通风量计算，最大通风量为以上四种风量计算最大者。

$$Q_{\max} = \max \{ Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 \} = 2018 \text{ (m}^3/\text{min)}$$

则通风机要求提供风量：

$$Q_{\text{供}} = Q_{\max} (1 + \eta \cdot L / 100) \cdot \gamma$$

式中：Q_供—通风机要求提供风量2018m³/min；

η—管道100米漏风率，取0.02；

L—独头掘进通风管路最长距离，取斜井2021m；

γ—加风量备用系数，取1.2；

$$Q_{\text{供斜井}} = Q_{\max} (1 + \eta \cdot L / 100) \cdot \gamma = 3691 \text{ (m}^3/\text{min)} = 61.52 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\text{摩擦阻力} H_{\text{擦}} = 6.5\alpha L Q_{\text{供}}^2 / d^5$$

式中：α—风管摩擦系数，取0.00013；

L—通风长度；

Q_供—通风机要求提供风量，取61.52m³/s、51.65m³/s；

g—重力加速度，取9.8m/s²；

d—风管直径，1.8m；

$$H_{\text{擦斜井}} = 6.5\alpha L Q_{\text{供}}^2 / d^5 = 4347 \text{ (Pa)}$$

局部阻力

$$H_{\text{局}} = \zeta Q_{\text{供}}^2 / 2s^2$$

式中：ζ—局部阻力系数，一般取1.5；

Q_供—通风机要求提供风量，取61.52m³/s、51.65m³/s；

r—空气重量，取1.2kg/m³；

$$S—\text{管道净面积，取} S = \pi (d / 2)^2 = 2.54\text{m}^2$$

$$H_{\text{局斜井}} = \zeta Q_{\text{供}}^2 / 2s^2 = 528 \text{ (Pa)}$$

其他局部阻力按局部阻力的5%考虑。

2.1.2 风机风压

$$H_{\text{J斜井}} = H_{\text{擦出口}} + 1.05H_{\text{局}} = 4901 \text{ (Pa)}$$

2.2 通风量结果选取

根据以上计算，风机选取原则：Q_{供斜井} ≥ 3282m³/min，H_{J斜井} ≥ 4901Pa。

2.2.1 通风设备选择及配置

SDF (C) 型隧道施工专用轴流通风机技术性能参数表：

风机型号	速度	风量 (m ³ /min)	风压 (Pa)	高效风量 (m ³ /min)	转速 (r/min)	最高点功率 (KW)	最大配用电动机功率 (KW)
SDF _(C) -No12.5	高速	1550-2912	1378-5355	2385	1480	208	110×2
	中速	1052-1968	629-2445	1610	980	67.5	34×2
	低速	840-1475	355-1375	1208	750	2834	16×2
SDF _(C) -No14	高速	2113-4116	1078-6860	3361	1480	360	185×2
	中速	1756-2771	470-3136	2263	980	117	60×2
	低速	1152-2085	274-1725	1698	750	50	30×2

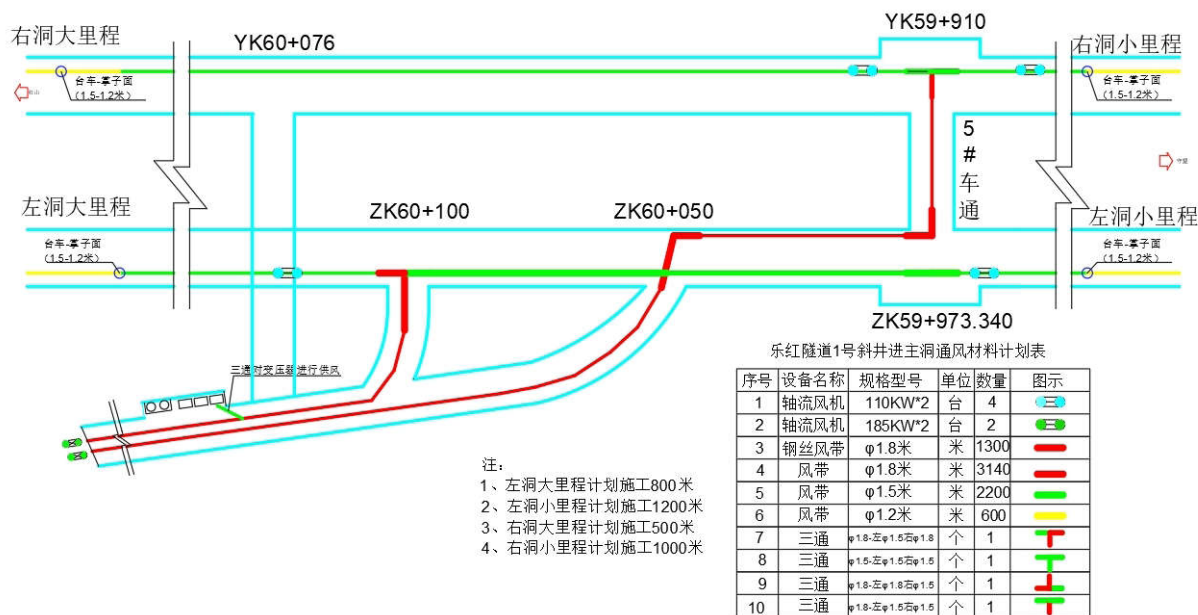
2.2.2 施工通风设备运用

原方案第一阶段采用2x132kw压入式进行通风满足斜井施工通风需求，第二阶段为进入主洞后，主要是在第一阶段的基础上更换风机为2台2x185kw轴流风机，进入主洞后各掌子面分别采用2x110kw轴流风机进行接力，风袋为将直径150cm更换为直径180cm，风袋布置于洞顶中轴线两侧，进入主洞后变径为直径150cm风袋，具体布置图如下：

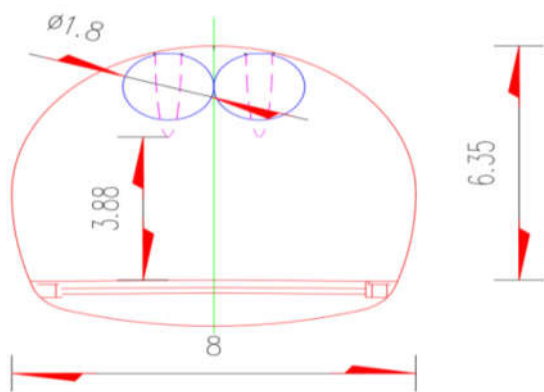
2.2.3 原通风方案评价

原通风方案缺点明显，进入第二阶段通风后，首先体现在风机功率大，耗能大，成本高；其次由于隧道断面限制，位于行车道上方风袋在未通风时自由垂落，影响下方机械设备通行，会出现风袋挂损的情况，然后将直径150cm风袋更换为180cm风袋周期长，必定影响到隧道施工；最后是2个风机同时给各掌子面供风，由于进尺长度不同，风力较强的掌子面污风会被吹至风力较

弱一端，造成污风在主洞内长期混浊，无法有序排出洞外，施工环境无法改善。^[2]



乐红隧道1号斜井进主洞通风方案布置图



风袋布置示意图

2.3 通风方案优化

2.3.1 通风方案优化原则

针对原通风方案，优化的方案主要解决新鲜风送入和污浊风快速、有序排出并且降低通风成本的原则，同时辅以降温措施，达到有效改善掌子面施工环境，减少安全隐患，提高施工效率的目的。

2.3.2 通风方案优化思路

为不影响正常施工，在原通风方案第一阶段的基础上进行提升，思路为在斜井洞口增设风机进行压入风量的提升，然后在洞内布置射流风机对洞内污浊风进行引排，通过射流风机的有序引排，使洞内污浊空气快速排出洞外，避免了对新鲜空气的污染，进而减轻洞口主风机压入风量需求，从而降低了主风机的功率，达到降本增效的目的。

2.3.3 风机安装布置

在需风量计算时，考虑了因增加洞内射流风机而对洞内风速需风量和自然风阻力参数的调整，经计算，确定洞口安装1台2x160KW风机，采用直径1.8m风筒接入洞内，原2x132KW风机继续施工，进入主洞后采用三通进行分流，2x132KW风机采用2台2x75KW风机进行接力供应2个施工较短的掌子面，2x160KW风机采用2台2x75KW风机进行接力供应2个施工较长的掌子面，具体布置图如下：

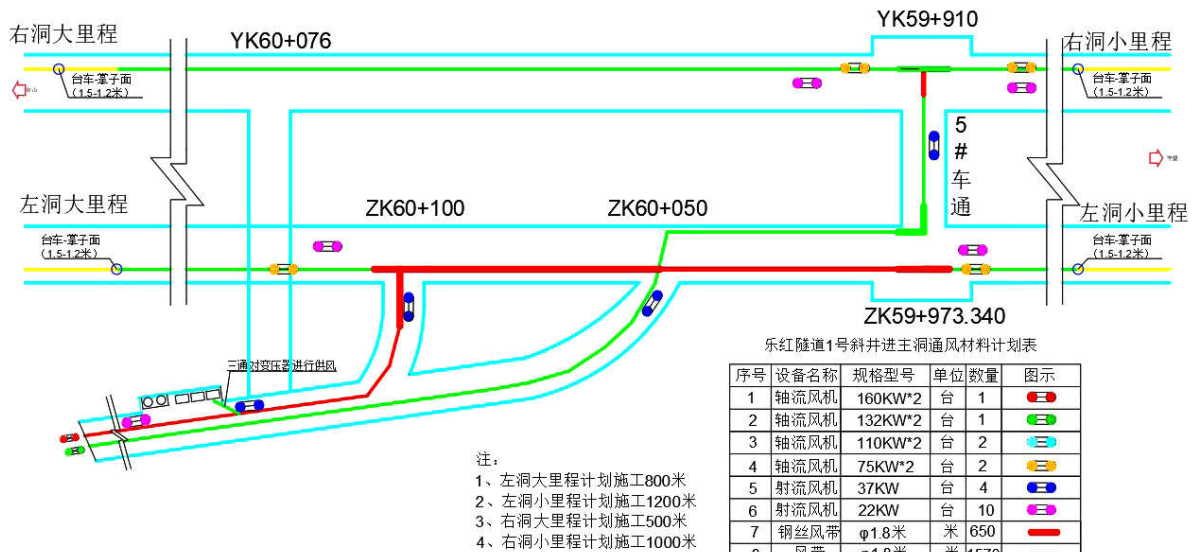
2.3.4 优化方案评价

优化后方案使用大功率风机较少，降低了通风成本，同时可以使洞内污风有序排除洞外，由于斜井内单侧未使用直径1.8m风袋，可以减少出渣车重车出渣时由于后箱堆渣太高导致下垂风袋被挂损等情况出现。

3 优化通风方案实施管理

3.1 通风效果的降低，很大一部分原因是风机保养不及时，风筒质量太差，本身材质所造成的风阻太大，特别是二衬台车至掌子面段落风筒容易受到爆破影响造成破损导致漏风等情况，所以在科学配置风机风筒的前提下，过程通风应安排专人进行管理，在二衬台车后面安装全新直径1.5m风筒，二衬台车至掌子面安装循环使用的1.2m风袋，在降低材料成本的同时提高通风质量。

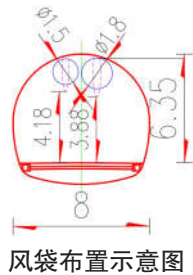
3.2 各交叉口射流风机需严格按照方案布置，设置统一开关进行同时启停，斜井内射流风机利用斜井的烟囱效应可适当距离布置，设置分段开关进行启停管理。



乐红隧道1号斜井进主洞通风材料计划表

序号	设备名称	规格型号	单位	数量	图示
1	轴流风机	160KW*2	台	1	
2	轴流风机	132KW*2	台	1	
3	轴流风机	110KW*2	台	2	
4	轴流风机	75KW*2	台	2	
5	射流风机	37KW	台	4	
6	射流风机	22KW	台	10	
7	钢丝绳带	φ1.8米	米	650	
8	风带	φ1.8米	米	1570	
9	风带	φ1.5米	米	4100	
10	风带	φ1.2米	米	600	
11	三通	φ1.8-φ1.5φ1.8	个	1	
12	三通	φ1.5-φ1.5φ1.5	个	1	
13	三通	φ1.8-φ1.8φ1.5	个	1	
14	三通	φ1.8-φ1.5φ1.5	个	1	

乐红隧道1号斜井进主洞通风方案布置图



3.3 在隧道爆破作业完成后，采用压入风和抽排风的同时，再配合洒水车进行洒水降尘，可以有效降尘和洞内降温，降低风机通风时长，节省通风成本。^[3]

4 方案成本对比

在工程阶段性施工过程中，通过对优化方案的实施，及时归集通风成本，并对原方案进行同条件测算，将原方案与优化方案进行成本对比测算如下：

优化方案与原方案成本测算表

序号	项目	原方案	优化方案	优化方案-原方案	备注
1	轴流风机成本	80.43万元	52.31万元	+28.12	国内知名品牌
2	射流风机成本	/	20.6万元	-20.6	国内知名品牌
3	风筒成本	121.54万元	93.96万元	+27.58	
4	电费成本	35640度/d	27080度/d	+8560度/d	

注：1、风筒仅对斜井至交叉口处进行对比
 2、轴流风机按照每天22h计算，射流风机按照每天4h计算。
 3、“+”节省，“-”超支。

5 结束语

5.1 通过对都香高速乐红隧道1#斜井通风方案的优化，并且通过科学的过程管理，提高了隧道施工工效，缩短了隧道内排风时间，加快了施工进度，为乐红隧道如期贯通提供了条件。

5.2 通过污风定向引排，大大减少了独头压入式通风的压力，节约了项目通风成本，同时论证了压入式通风和定向风机引排的实践应用。

参考文献

- [1]王帅帅,许前顺,郭春.主嘎拉超长高海拔公路隧道进出口工区施工通风方案研究[J].现代隧道技术,2018,55(S2):337-342.
- [2]石平,程久胜.乌池坝特长公路隧道通风方案设计[J].现代隧道技术,2007,(02).
- [3]都香高速乐红特长隧道施工组织设计2018.