

西平线隧道煤尘堆积成因及防治技术研究

杨家奕

中国铁路西安局集团有限公司宝鸡工务段

DOI:10.12238/pe.v3i4.15114

[摘要] 本文聚焦西平线隧道煤炭运输及煤尘堆积现象。研究分析了其隧道分布状况和煤炭运输运营情形。结合2024年西平线隧道煤尘统计数据,剖析出运量密集、隧道长度、车厢封闭性缺陷及运行速度等成因。据此,研究提出了有针对性的煤尘防治技术方案:一源头控制手段,包括给车厢加盖、喷洒抑尘剂形成“固态篷布”;二在隧道内对煤尘控制,如降低隧道口的气流扰动、设抑尘剂补充系统、加强隧道通风等;三堆积煤尘清理,介绍吸煤车清灰作业、人工清理。为西平线隧道的煤尘治理工作提供技术上的参考依据。

[关键词] 西平铁路; 隧道煤尘堆积; 煤尘危害; 抑尘技术; 煤尘清理

中图分类号: U455 **文献标识码:** A

Study on the cause and control technology of coal dust accumulation in Xiping Line tunnel

Jiayi Yang

Baoji Engineering Section, Xi 'an Railway Bureau Group Co., LTD. Baoji City

[Abstract] This study focuses on coal transportation and dust accumulation phenomena in the Xiping Line Tunnel. It analyzes the tunnel distribution patterns and coal transport operations. By examining 2024 dust statistics from the Xiping Line Tunnel, the study identifies contributing factors including high traffic volume, tunnel length, defective compartment sealing, and operational speed. Based on these findings, the research proposes targeted dust control solutions: 1) Source control measures such as installing dust-proof covers and spraying dust suppressants to form "solid protective barriers"; 2) In-tunnel dust management including reducing airflow disturbances at tunnel entrances, establishing dust suppressant replenishment systems, and enhancing ventilation; 3) Dust accumulation clearance methods involving coal truck cleaning operations and manual disposal. These technical recommendations provide a reference for dust control efforts in the Xiping Line Tunnel.

[Key words] Xiping Railway; tunnel coal dust accumulation; coal dust hazard; dust suppression technology; coal dust cleaning

1 西平线及煤炭运输概况

1.1 西平线概况

西平线东起于陕西西安茂陵站,向西经过礼泉、乾县、永寿、彬州(县级市)、长武5市县,而后进入甘肃境内,途径宁县、泾川等,最终抵达平凉南站,正线全长267.3公里,设计时速为120公里,全线规划车站(包含线路所在内)共26处,近期启用23处,以陕西16站+甘肃7站构成运输网络,主要以煤炭运输为主,兼顾部分省际交流及地方客货运输,其中煤炭装车核心集中于大佛寺、上孟、宁县南、长武四大站点,通过专用线完成矿区煤炭的集中转运^[1]。

本文聚焦西平线特定区间的隧道煤炭运输及煤灰堆积问题,研究范围包括:西平线单行区间K25+238~K87+304、K110+676~

K172+740(合计124.130公里),以及西平线上下行区间K87+304~K110+676(计23.372公里),总研究区间长度为170.874公里。

1.2 西平线隧道分布概况

隧道的组成包括主体建筑物和附属设备两部分。主体建筑物是由洞身和洞门构成;附属设备则包含避车洞、防排水设施等,对于长度较大的隧道,还需配备专门的通风及照明设备。隧道长度系指进出口端墙面之间的距离,即以端墙面与内轨顶面的交线同线路中线的交点计算;依据长度差异,隧道可分为以下几类:短隧道(全长500m及以下)、中隧道(全长500m以上至3000m)、长隧道(全长3000m以上至10000m)以及特长隧道(全长10000m以上)^[2]。本文所研究的礼泉站至长庆桥站区间内,共有21座隧道,累计长度为64452m,占全线总长度的37.7%。这21座隧

表 2-1 永寿桥隧车间清理隧道粉煤灰统计表

	行别	隧道名	全长	具体公里数	堆积位置	长度(m)	宽度(m)	厚度(m)
1	单	丁家山	5752	K56+116-K56+700	丁家山隧道出口	590	1.6	0.2
2	上	永寿梁上行	17155	K105+700-K108+450	永寿梁上行出口	2750	1.5	0.1
3	单	太峪	5594	K116+140-K116+540	太峪隧道进口	400	2.4	0.15
4	单	杨家塬	1667	K134+797-K135+097	杨家塬隧道出口	300	1.6	0.15
5	单	芦寨	2013	K137+970-138+286	芦寨隧道进口	300	1.6	0.2
6	单	柴村	1098	K145+510-K145+664	柴村隧道进口	150	1.6	0.15
7	单	相公塬	4178	K153+740-K154+128	相公塬隧道出口	390	1.6	0.15
8	单	文家沟隧道出口	1676	K159+300-K159+663	文家沟隧道出口	360	1.6	0.15
9	单	石家河一号进口	1989	K163+595-K164+095	石家河一号进口	500	1.5	0.15

道中,短隧道5座,中隧道11座,长隧道3座(丁家山隧道、太峪隧道、相公塬隧道),特长隧道2座(永寿梁 I 线隧道、永寿梁 II 线隧道)。

1.3 西平线煤炭运输运营情况

西平线是国家重点铁路项目。线路建设目标即解决黄陇煤炭基地的外运瓶颈问题,同时要缓解陇海线与宝中线运力趋近饱和的压力。西平线建成后在多个层面有显著影响。它进一步拉动区域煤炭产能的扩张,积极推动了“散改集”(散货改集装箱)与“公转铁”(公路转铁路)等运输模式的转型。它催生煤炭专用线运输网络的建设。这些变化降低了物流成本,为煤炭资源的规模化发展提供了有力的支撑;然而,随着煤炭产能的持续提升与运输需求的不断增长,西平线单线(嵩店至太峪最初即建设为复线)运能也接近饱和。陕西省发改委正推动复线建设工作,目标是使西平线适配新增产能的运输需求。

2025年西平线煤炭运输的货源主要是四大矿区及中转煤炭,运输主体方向为自西向东(即平凉→西安)。从预计运量来看,四大矿区运量排序为:彬长>庆阳>新疆>旬邑。彬长矿区是核心来源,运量占到西平线总量的60%以上,预计年发运量超过2500万吨,矿区内的大佛寺站和上孟站单日最高发运量分别达6.24万吨和4.04万吨,经西平线发运的煤炭量占彬长矿区总外运量的80%以上;宁正矿区依托宁县南站专用线,预计2025年运量突破1000万吨,占西平线总运量的20%-25%;新疆煤炭经兰新线转宝中线至平凉南站中转,年转运量约800万吨,占比15%-20%;旬邑矿区是补充货源地,年运量约200万吨,占比5%。综合来看,2025年西平线煤炭运输总量预计超过4500万吨,但受单线运输条件的限制,运量增长面临瓶颈^[3]。

在运输组织过程中,各站点分工明确:平凉南站作为重要中转站接收新疆煤炭(茂陵站接陇海线),向东运输;长武站与安华铁路专用线相连,上孟站、大佛寺站配备装车系统,承担彬长和旬邑矿区煤炭装车与集运任务;宁县南站与宁正矿区专用线接

轨,负责宁正矿区煤炭的装车和运输工作;西安枢纽负责将煤炭分流转运至华东、中南地区。

2 西平线隧道煤尘污染与堆积及其成因剖析

2.1 煤尘污染危害



图 2-1

运煤列车在穿越隧道时,受列车颠簸及活塞效应所引发的气流扰动影响,易在隧道进出口区域形成煤尘外扬现象^[4]。这种现象会导致隧道内部煤尘漂浮物浓度骤增,降低行车能见度,而后在隧道内壁、轨道两侧等结构表面形成持续性沉积。西平线隧道煤尘堆积情况可参见图2-1。

资源利用角度,煤尘的大量流失不仅造成煤炭资源的低效损耗,其清理工作更需投入高昂成本,需耗费大量人力物力进行处理,形成额外经济负担;

安全运营层面,沉积煤尘的危害有多个来源。列车高速行驶产生的气流引发二次扬尘干扰司机视线,直接威胁行车操控安全。煤尘覆盖轨道电路后,遇水会导致道床电阻异常,可能触发“红光带”故障造成停车事故。长期堆积的煤尘会掩埋道床与扣件,对道床形成持续性挤压造成结构变形,使得线路使用寿命缩短。

职业健康角度,高浓度煤尘环境对沿线作业人员构成严重威胁。煤尘中含有的二氧化硅颗粒经长期吸入后,在肺泡内持续沉积诱发肺组织纤维化,可导致肺功能下降以及尘肺病,对铁路职工的健康构成威胁。

2.2 隧道煤尘堆积现状统计

煤尘堆积会给线路安全运营带来不利影响,为此西平线建立了隧道煤尘堆积量定期统计与清理的机制。2024年西平线隧道煤尘统计数据(如表2-1)显示管内多处隧道都有不同程度的煤尘堆积。

2.3 煤尘堆积成因

基于上述统计数据,结合西平铁路隧道运营状况,煤尘堆积的成因可以从以下四个方面做深度的剖析:

(1) 运量密集加剧煤尘掉落:西平线日均运煤车次超过50列,这样高频次的运输产生了持续的煤尘污染,增加了煤炭的抛洒量,煤尘积累远超过了自然排出的速度,造成煤尘累积的现状。

(2) 隧道长度与煤尘堆积的关系:据统计数据,9座存在煤尘堆积的隧道中,包含5座中隧道(共11座)、3座长隧道(共3座)以及1座特长隧道(共2座)。可见煤尘堆积的长、宽及厚度与隧道长度呈现出正相关的特征。可能是因为较长隧道内气流循环效率较低,使得煤尘沉降路径延长,封闭空间内的湍流效应减弱了煤尘向洞外扩散的能力。

(3) 运输载体封闭性缺陷:我国煤炭运输主要的载体是敞车,虽然会采用篷布进行封顶防护,但是在列车颠簸及隧道进出时受到气流冲击时,篷布缝隙造成煤尘外泄^[5]。同时一部分运煤车厢侧面封堵不严,也造成煤炭颗粒散落。

(4) 列车运行速度:列车高速行驶时,隧道活塞风会加剧煤尘扩散和迁移,相关研究表明,隧道口附近的风速与列车运行速度呈现出线性正相关的关系^[6]。

3 煤尘防治技术

3.1 源头控制与防尘技术

3.1.1 车厢加装顶盖

运煤敞车车厢封闭性不够是煤尘向外飘散的主要原因。可通过为车厢加装固定式顶盖对煤尘逸出进行物理阻挡。这种技术能够最大程度减少煤炭在运输时出现的粉尘外散问题。不过经济方面,加装顶盖需要比较高的初期设备投入,而顶盖的开启和关闭操作会额外增加人工成本,在繁忙的运输作业中降低装卸效率,操作便捷性还有待提高。

3.1.2 喷洒抑尘剂

同物理阻挡措施比较,喷洒抑尘剂技术更具经济性。参考神朔铁路公司的实践经验,完成装车后,作业人员向煤炭表面喷洒抑尘剂,借助其自身黏性,能够将表层煤尘与细小煤渣凝聚成块,形成一层有一定强度的“固态篷布”,把下部煤炭紧密包裹起来。与传统洒水降尘法相比,抑尘剂能够高效锁住水分,减少因为水分蒸发而导致的粉尘二次扬起情况,抑尘剂形成的固化壳体有一定强度,能够有效抵抗列车进出隧道时产生的气流扰动,抑制煤尘逸出^[7]。抑尘剂的使用成本不仅低于车厢加装顶盖方案,

也远低于因煤尘抛洒造成的煤炭损失。通过对喷洒设备进行升级,更加均匀的喷淋可以进一步减少抑尘剂浪费情况。该方案在防尘效果与经济效益的平衡上更具优势,更具推广价值。

3.2 隧道内煤尘动态控制

3.2.1 降低隧道口气流扰动

通过控制列车行驶速度与优化隧道内气流分布,可减弱列车进出隧道时产生的活塞效应。

如将列车进出隧道时的行驶速度限制在40km/h以内,降低空气压缩与膨胀的强度,弱化活塞效应引发的气流扰动,减少煤尘被卷吸扬起的量。双线隧道列车会车时易形成局部高压气流,可在隧道内壁增设导流板,引导气流沿预设路径分流分散会车时的瞬时风压。

3.2.2 抑尘剂补充系统

对于长度较大的特长和长隧道,其清理成本通常更高,应利用隧道长度优势,在顶部预设专用输送管道,利用伺服电机驱动螺旋叶片输送装置对车厢进行抑尘剂补充喷洒。该系统可缓解长距离运输中因表层抑尘壳体破裂导致的防尘效果衰减问题。

3.2.3 通风设施

长度相对较短的中、短隧道则应优化通风系统加快气流置换。加速隧道内的空气循环,将含尘空气排出有效减少煤尘在隧道内的煤尘漂浮和堆积量。大秦铁路花果山隧道通过打通辅助导洞构建通风通道,安装射流风机增强空气输送能力,形成高效的通风降尘系统,实践显示该方案能使隧道入口450米处粉尘浓度降低40.8%^[8]。

3.3 堆积煤尘处理

3.3.1 吸煤车作业

西安铁路局投入使用的轨道吸煤车,搭载的智能控制系统可灵活切换“全断面覆盖”与“典型侧清扫”两种作业模式,适配于不同厚度的煤尘堆积。同时该设备集成分离器与滤袋系统,对收集的煤尘进行分离过滤,实现资源回收再利用。实践数据显示,2014年首次在绿木寨隧道作业时,在125分钟的天窗点内清理了40立方煤尘,作业效率达到人工清理的20倍以上。2024年10月,为期12天的西平线隧道煤尘清理作业中,通过采用该吸煤车,完成了2.1公里隧道的煤尘清理工作,清理实况见图3-1。

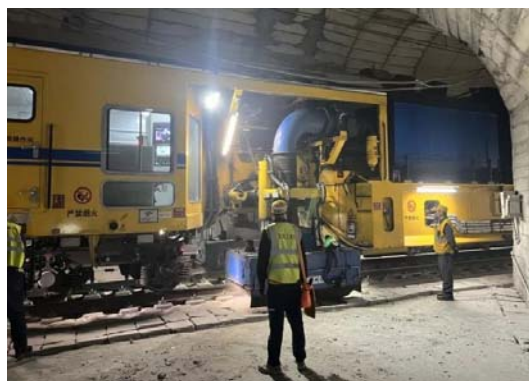


图 3-1

3.3.2 人工清理

人工清理在特定场景中存在独特优势。煤尘堆积数量小或者隧道长度短的情况下投入使用大型设备成本过高,此时建议利用天窗点进行人工周期清理。且能够对隧道内扣件、道床缝隙、避车洞等特殊部位的积煤进行彻底清除。

4 结语

本文围绕西平线隧道煤炭运输及煤尘堆积问题展开研究。通过对西平线概况、及煤炭运输运营现状的梳理,明确研究区间,深入剖析了隧道煤尘造成的危害及堆积的四大原因。基于此提出涵盖源头控制、隧道内动态控制和堆积煤尘处理的三重防治技术方案。

研究结果显示,源头控制方面,喷洒抑尘剂比起车厢加盖更具经济效益;隧道内动态控制方面,降低列车进出隧道时的运行速度及增设导流板、设置抑尘剂补充系统、优化通风设施等措施能有效减少煤尘在隧道内的扩散与堆积;堆积煤尘处理方面,采用轨道吸煤车与人工清理相配合的方式。形成了“源头固化、过程阻散、高效清理”的三环联动治理模式,为解决西平线隧道煤尘问题提供了可行的路径。

然而,本研究仍存在一定局限性。各防治技术方案在西平线特定区间的长期应用效果及成本效益的动态变化,研究尚未做持续跟踪与深入分析。未来可跟随现场试验,监测不同技术方案的实际运行数据和效果。同时结合西平线复线建设规划,研究复

线环境下煤尘防治技术的调整策略。

[参考文献]

- [1]郭鹏,赵现春,南岳.加快西安—平凉铁路复线建设的分析与建议[J].西铁科技,2010,(3):8-10.
- [2]中国铁路总公司.普速铁路桥隧建筑物修理规则[M].北京:中国铁道出版社,2018.
- [3]陈希荣.铁路线路技术标准与运量水平之间的耦合关系研究[J].铁道标准设计,2017,61(8):1-5.
- [4]顾大钊.重载铁路运输煤尘防治关键技术[J].煤炭工程,2010,(12):104-106.
- [5]李旭,蔡觉先,董波,等.铁路运输矿物粉料的抑尘试验研究[J].中国铁道科学,2016,37(1):138-144.
- [6]刘秀,撒占友,关达,等.重载列车车速对隧道入口段扬尘特征的影响模拟[J].安全与环境工程,2024,31(1):215-223.
- [7]王铁力.煤炭铁路运输过程中的环境污染及防治[J].洁净煤技术,2014,20(3):112-114.
- [8]王晓奎,令狐勇生,张俊俭,等.大秦铁路花果山隧道通风降尘设计试验研究[J].铁道建筑,2014,54(11):85-87.

作者简介:

杨家奕(2002--),男,汉族,宁夏回族自治区固原市原州区人,本科毕业(西南交通大学土木工程学院,地下工程专业),现从事工作领域:铁路工务桥梁隧道。