工程与管理科学
Engineering and Management Science
第 8 卷◆第 1 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文 |刊号（ISSN）：2705-0637(P) / 2705-0645(O)

准东露天煤矿粉尘抑制研究与应用

宋春辉
国能新疆准东能源有限责任公司

DOI：10.12238/ems.v8i1.17694

［摘　要］以革新洒水降尘设备、采用抑尘剂洒水降尘为突破口，针对准东露天煤矿间断及半连续工艺所引发的扬尘危害及抑制标准为导向，从目前露天矿采掘工作面及运输道路扬尘控制和洒水原理出发，归纳总结近年来露天矿道路抑尘剂配套的洒水设备在实战现场研究与应用的不够成熟。通过不断的试验，现市场上的抑尘剂能做到在不影响原物料性能的前提下无害、无味、无腐蚀、环保、价格低廉，性能优异，使用方便等特点[1]。通过革新搅拌设施、洒水降尘设备，研究抑尘剂浓度配比确定最佳抑尘方案。研究表明改装洒水车出水口加装过滤网，抑尘剂浓度配比（1：100）可使抑尘效果达到最大化。

［关键词］露天矿；道路抑尘；抑尘方法；搅拌、降尘设备；抑尘剂

准东露天煤矿位于准东煤田西部矿区的东部，矿区面积21.742km^2，采区开采境界内剩余可采毛煤量为1746.28Mt，开采条件优越、市场条件良好，适宜大规模进行露天矿开采[2]。准东露天煤矿的开发利用对当地经济的发展起到关键促进作用。

矿区属大陆干旱荒漠气候,年温差和昼夜温差变化很大，年平均降水量106mm，年蒸发量1202～2382mm。区内常年多风，风力一般4～5级，经常有7～8级大风，最高可达10级及以上，多以西北风为主[3]。面对煤层特性及艰难的环境因素以单斗—卡车间断工艺和单斗—卡车—采场破碎站胶带输送机半连续工艺所引发的扬尘一直以来是该矿迫切想解决的问题之一。国能新疆准东能源有限责任公司《环评报告》指出露天煤矿的日均粉尘浓度为0.45mg/m^3。汽车运输过程是粉尘产生的主要环节，其粉尘产量占全矿总产尘量的70%～90%，且瞬时粉尘浓度高达2.6mg/m^3，严重影响生产作业、运输安全和工人身体健康。因此，采用科学手段抑制运输道路扬尘，最大限度控制扬尘污染迫在眉睫。

“十五五”期间，煤炭行业安全生产形势持续向好，煤矿生产安全事故起数大幅下降，但行业内尘肺患病率仍然居高不下，究其原因是生产现场粉尘治理未能达到职业健康相关标准，目前现象仍停留在“治标不治本”，未能从源头有效管控。为更好的落实国家能源集团总体发展战略及国能新疆公司总目标，矿不断通过粉尘抑制技术试验逐步降低生产作业现场的粉尘污染，争取早日实现煤矿绿色、清洁发展迈出重要的一步。

目前国内现有的粉尘治理方法单一、原始，降尘效果一般，如：生产设备安设除尘、喷洒设施，生产加工、铁路站台等区域安装防尘网，道路运输主要还是依赖洒水车降尘作业，本次通过抑尘剂经济有效调配的良方+革新洒水降尘设备，为煤矿安全环保生产奠定了扎实基础。

一、路面扬尘机制及抑尘原理

（一）路面扬尘机制

准东露天矿剥离物硬度属于二类二型的中硬岩体，煤层属于抗拉、抗剪断能力较低的不稳定－较软－中等坚硬岩石，2024年矿产能核增至35Mt/a，在平均剥采比2.47m^3/t的前提下，生产剥离节奏快，临时移设坡道频次高，由于道路路面多为沙料路，随着车流量密度增大，道路易积尘、产尘。根据露天矿生产运输特点，扬尘机制如下。

1.运输道路扬尘临界条件与影响因素。由文献[4]可知，运输道路是否起尘取决于F扬≥G+F黏+F引即粉尘所受外力（起扬荷载）克服粉尘颗粒自重与颗粒间的相互作用力（黏结力和引力）引发道路扬尘。矿运输道路为沙料路面，粉尘主要成分为黄沙F引极小（忽略不计），粉尘起扬荷载大小只受自重G和黏结力F黏影响。影响因素主要为粉尘颗粒大小、成分、含水量、粒间介质等。

2.车辆在行驶过程中轮胎与运输道路产生的应力是产生粉尘的直接原因之一。①轮胎与地面挤压、摩擦，产生应力，通过应力作用使得路面变形、沙料破碎自重减少、体积增大、粘结力降低产生扬尘；②离心作用。车辆在行驶过程中，上部空气阻力高于下部阻力，下部空气流速快，在轮胎边缘切线处形成强大气流。该气流与轮胎离心力夹带路面沙土、粉尘一齐运动，产生扬尘；③空吸作用。自卸车重载上坡压力

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

大，易破坏路面基底使得路面坑洼、凹凸不平，行车过程中车辆碾轧坑洼路面，产生抽吸作用，扬起路面粉尘。

3.车体机械荷载诱导气流导致二次扬尘。运输过程中，自卸车意外冲击（启、停）同样会引发二次扬尘。自卸车在行驶过程中冲破挤压、静态空气克服阻力形成负压[5]，负压诱导自卸车周围的气流沿反向流动，引起扬尘。负压大小与汽车自重、截面积、速度有关。

此外，路面扬尘的生成不仅受到物理力学因素的影响，还与气候、风速、车辆类型、路面材料等多种因素密切相关。气候条件、尤其是干旱和风力强的情况下，扬尘现象尤为严重。在风速较大的天气中，扬尘会被迅速吹散，影响范围广泛。与此同时，路面材料如沙料、碎石等的性质也会对扬尘产生重要影响,特别是在路面不平整或者频繁修整的情况下，扬尘浓度容易增加。此外，随着运输车辆数量的增加，尤其是重型自卸车，路面扬尘的形成更加明显。车辆轮胎与道路表面之间的摩擦和压缩效应，加剧了粉尘的释放，进而影响矿区及周围环境的空气质量。因此，综合考虑这些因素，并采取针对性的抑尘措施，显得尤为重要。

（二）抑尘原理

通过分析准东露天煤矿路面扬尘机制，提出以下三方面抑尘原理：

1.准东矿区的土壤主要由风化岩石组成，成分以沙土、砾石和碎屑物质为主。为提高道路的柔韧性和可塑性，增强抗碾压性能，矿区通过换填三层物料（垫层、基层、面层）来改善道路质量，从而降低因应力导致粉块破碎而产生扬尘的几率。然而，矿区当前使用的换填物料较为单一，东帮取沙点的供应不足，因此建议在固定坑线使用更多种类的换填物料。

2.增加道路基层的含水量以及面层粉尘颗粒的重量，是减少扬尘的有效手段。通过洒水或使用化学抑尘剂，可以增强粉尘颗粒之间的凝聚力，使道路表层的细小粉尘凝聚成较大颗粒，从而降低扬尘的发生。

3.根据不同道路的情况，革新洒水降尘设备，采取点对点或面对面的洒水方式，以达到减少用水量的同时，增加降尘和抑尘的范围，进而降低扬尘的浓度。

以上三点抑尘原理的核心在于确保道路施工质量的同时，通过增加路面沙土的湿度，增强粉尘颗粒之间的黏结力（F黏）和自重力（G），有效提高粉尘起扬荷载，从而实现抑尘效果。因此，准东矿提出的抑尘剂配比和革新洒水设备的方案，最大限度地降低了扬尘的产生。

二、实验方案及设备改进措施

（一）抑尘剂道路试验方案

1.实验材料

铁路煤炭运输抑尘剂主要由表面活性剂、合成树脂、木质素聚合物、APG 和水组成。本次实验所用水为准东矿采区工业用水，均取自坑内污水站，无需进一步净化。

2.实验方案

计划预备 3 台洒水车针对采场东帮主干运输道路 10km 进行抑尘实验，首先加大水车洒水密度，使道路粉尘浓度达到或接近国家规定粉尘标准≤ 4mg/m^3，其次在东侧道路（10km 空、重载路段）喷洒抑尘剂。对 4 种不同抑尘剂浓度（1∶150、1∶120、1∶100、1：80）方案进行比较，现场写实观察抑尘抑尘效果及时间进而确定抑尘剂浓度最佳配比。抑制剂溶液喷洒量对抑尘效果持续时间的影响如图 1。

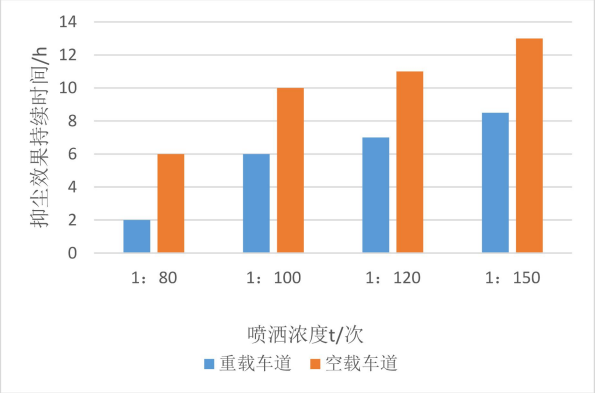

图 1　抑制剂溶液喷洒量对抑尘效果持续时间的影响

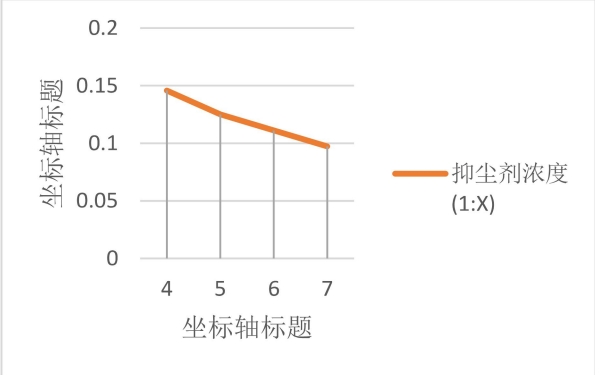

图 2　抑尘剂浓度和喷洒量与抑尘效果持续时间

抑尘效果与喷洒量关系：

假设抑尘效果（T，单位为小时）与喷洒量（Q，单位为 L/km）成正比，可以用线性回归模型表示：

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

$T = aQ + b$

其中，a和b是通过实验数据拟合得到的系数。根据实验数据，您可以计算出这些系数，进一步求得抑尘效果与喷洒量之间的关系。

抑尘效果与抑尘剂浓度的关系：

假设抑尘剂浓度（C，单位为 1：X）与抑尘效果持续时间（T）之间呈指数关系：

$T = T_0 \cdot e^{kC}$

其中，T_0是常数，k是通过实验数据拟合得到的指数系数。

（二）设备改进措施

1.根据环境确定出水量，实现节约用水

矿区道路共分为主干道路≥30、半主干道路≥25m、联络道路≥9m、工作面道路≥25m 四类，常规洒水车工作时喷水口出水量不变，无论矿区环境灰尘大小，道路宽窄，喷水量总是一定的，所以提出方案：把原有的单一出水口改成多个出水口，按照环境需要出水量选择出水口。例如，环境灰尘较为稀薄,可以调整到出水量最小的喷水口;当环境灰尘较多时，则打开出水量大的出水口，这样既可以达到消除灰尘的作用，又可以节约水资源。同时，在洒水车上设置灰尘浓度传感器，用来检测环境灰尘浓度，智能控制选择打通出水口。

2.出水喷头加装过滤网防止堵塞喷头

由于洒水车需要喷洒雾化水滴，才能达到除尘效果，因此喷头的孔洞都是非常细小的，极易造成堵塞，所以要在出水喷头上加装可拆卸过滤网，能有效地减少进入喷头孔洞的细小灰尘，防止堵塞喷头。

三、技术经济可行性分析

准东露天煤矿的粉尘抑制技术在技术和经济上均具备可行性。矿区所在的干旱气候条件下，水资源紧缺，现有洒水降尘方式存在水资源浪费和降尘效果不持久的问题。通过改进洒水车设备和优化抑尘剂配比，本研究提出的方案能够显著节约水资源，同时提高抑尘效果。预计通过优化水量控制，年节水量可达58.5万方，每年可节省水资源成本379万元。此外，改进后的设备采用智能控制，根据环境灰尘浓度调节出水量，避免了不必要的水浪费，提高了工作效率，并减少了设备维护成本。通过增加喷头过滤网，减少喷头堵塞，延长了设备使用寿命，降低了频繁维修的开销。进一步来看，改进后的洒水设备提升了抑尘效果的持续时间和覆盖范围，使矿区粉尘浓度始终保持在国家标准以下，从而有效降低了环境污染，改善了矿区及周边地区的空气质量。

从经济效益上看，除了节水和降低维护成本外，本研究的技术方案还通过减少扬尘，降低了矿工健康风险，提升了工作环境和安全性。社会效益也十分显著，改善了矿区周围的空气质量，减少了因粉尘污染带来的社会负担。综合来看，这一技术方案不仅能大幅度降低生产成本,还能为煤矿行业的绿色环保发展做出贡献，具有显著的技术、经济和社会价值。

四、结语

综上所述通过革新洒水降尘设备与抑尘剂抑尘有机结合对准东露天矿道路扬尘问题起到了极好的抑制效果。研究结果表明：抑尘剂浓度为（1∶100）更有利于抑制剂渗入地面进行抑尘。根据抑尘剂化学抑尘技术，结合革新后的搅拌设备，多台洒水车安装的不同喷洒装置，可实现改变生产作业区域面黏结作用，进一步延长了抑尘效果的持续时间，达到了抑制粉尘、节约用水、绿色环保的双赢结果。

[参考文献]

[1]刘欣，王海宁，张迎宾，晏江波.露天矿汽车运输路面扬尘与控制方法的研究现状分析[J].江西理工大学资源与环境工程学院，2016.

[2]曹兰柱，倪世豪，王东，王琰舜，刘忠红，高金龙.准东露天煤矿首采区提前转向边坡稳定性[J].辽宁工程技术大学矿业学院，2017.

[3]郝华.准东露天煤矿设计中环境友好、资源节约理念的体现与应用[J].内蒙古煤炭经济，2010.

[4]胡树军，李利，王远． 露天矿采场路面抑尘剂研制及性能表征[J]． 金 属矿山，2013.

[5]刘欣，王海宁，张迎宾，晏江波.露天矿汽车运输路面扬尘与控制方法的研究现状分析[J].江西理工大学资源与环境工程学院，2016.

[6]王逸腾.露天矿运输路面粉尘运移规律及控制研究[D].辽宁工程技术大学，2024.

[7]刘敬玉，刘志华，石践，等.北露天煤矿卡车路面运输粉尘运移规律模拟研究[J].矿业研究与开发，2023，43（08）：139-146.

作者简介：宋春辉，男，出生日期：1997 年 12 月 30 日，职务：技术员，电子邮件：2516632479@qq.com。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.