

115-460

深凹露天矿大气污染的危害与防治

深凹露天矿大气污染的危害与防治

冶金部安全技术研究所 陆国荣、唐子沛

“深凹露天矿”通常是指不同于山坡露天矿的采场深较大的凹陷露天矿。地表封闭圈的存在与否是区别凹陷露天矿与山坡露天矿的重要标志。一般认为：在地表封闭圈以下开采深度大于100米的露天矿即为深凹露天矿。但从矿内大气污染危害的严重性，即自然通风的难易性进行分析，通风难、危害大的是地表封闭圈宽度（沿地表主风向）与封闭圈水平以下开采深度之比值（以下简称宽深比）较小的凹陷露天矿。据研究，其临界值一般为6左右。

一、深凹露天矿大气污染的危害性

从国外的文献报导，深凹露天矿大气严重污染不仅会伤害职工健康，而且还会直接妨碍矿山生产，在经济上造成巨大的损害。

早在五十年代，苏联出现第一批深凹露天矿后，由于当时使用的柴油自卸汽车的尾气污染特别严重，曾在工作面风流停滞区发生司机急性中毒死亡的事故，从此引起了人们的关注。

据统计，苏联的深凹露天矿每年由于大气严重污染而被迫停产的时间平均达10~12%。据计算，对于一个拥有数十台采装运设备的中型露天矿而言，停产一小时在经济上将造成几千美元损失，全年可达几十至几百万美元之多。

位于乌拉尔地区的柯尔金斯基露天煤矿采深约400米，全年的大气污染累计时间竟达2228小时。该矿因大气污染一次连续被迫停产时间达14天之久。全矿大气污染严重时能见度急

剧降低。严重时只有2~4米，这时现场工作根本无法进行。二十多年来，柯尔金斯基矿一直是苏联自然通风最困难、污染最严重、开采最深的露天矿。

由于露天矿深部大气中含有大量飘尘及有害气体，还会严重磨损和腐蚀矿山采装运机械及电气设备，不仅会大大减低其使用寿命、影响设备效率，而且有可能导致事故的发生。

从国内的实际情况看，七十年代初，西北地区的白银露天铜矿是我国当时第一个采深超过100米、宽深比小于6的深凹露天金属矿，也是最早对大气严重污染作出强烈反映的矿山。当时的直观危害性是采场上空尘烟笼罩，能见度有时低于100米。经调查核实，该矿工人疑似矽肺（0—1级）累计出现率由1965年的1.3%上升为1975年的18.5%，十年内增长13倍。该矿生产用自卸汽车司机的平均岗位工龄仅为5年。

经近两年来由冶金部安技所与白银公司劳研所、白银露天矿（最早有本钢劳研所、白银矿冶所参加）组成的联合专题组在现场进行的系统观测与调查后确认：目前白银一采虽已处于收尾减产阶段，但至今仍属通风困难、污染严重的深凹露天矿。其严重性主要表现在：采场深部全年平均粉尘浓度为 11.8 毫克/米³，超过卫生标准4.9倍，全年粉尘平均合格率仅12.8%；地表风源的全年平均粉尘浓度为 2.1 毫克/米³，按照 0.5 毫克/米³要求计算的平均合格率为15.4%；特别要指出的是，致癌物质3.4苯并比可达

10·88微克/100米³，高于国外环境标准107倍；电铲、钻机、汽车司机长期在超卫生标准5倍以上的大气条件下工作。

值得注意的是：白银一米采部已为坑采开挖了大量基建米准巷道井下网络全靠压气与自然通风，烟羽与粉尘的稀释排放较困难。但将其与同样岩石及矿床条件下的露天深部工作面相比，则井下的粉尘样品在相同作业时，无论在平均浓度、合格率或波动范围上都比露天为好。因此可以推断：在一定开采深度及气候条件下，深凹露天矿的大气卫生条件完全有可能比同条件下的坑采更为恶劣。就职业病危害而论，有良好机械通风的井下矿，必优于未采取相应措施的深凹露天矿。

二、深凹露天矿大气易受污染的原因

根据国外，主要是苏联长期研究的结果，以及我们对国内白银露天矿的现场观测调查，可将深凹露天矿大气污染之所以比山坡露天矿，特别是井下矿通常更为严重的原因概括如下：

1. 深凹露天矿必然存在自然通风困难的复环流区，而且它的范围很大，笼罩整个采场深部。据研究，复环流区的有害杂质浓度通常比其上部直流区（与地表风流相连，风向一致的地区）浓度高一倍。按平行平面风流的边界层理论及深凹露天矿地表风流为动力的自然通风模拟试验，地表风流的展开角一般为 15° 左右，这就是说，从地表入风口起，沿露天矿地面第一个台阶的眉线，作与地表水平或 15° 夹角的射线，与露天矿迎风带某点相交，该射线以下的采空区属复环流区，即风流在内部反复循环的空域。据苏联在柯尔金斯基露天煤矿

实测结果，在多数情况下，实际展开角为 $2 - 8^\circ$ ，比理论值小得多。我们在白银现场实测后的推算值为 3° 左右，这都说明深凹露天矿内复环流区容积很大，地面风流似乎是沿采空区顶部一掠而过，地面风流对于复环流区不起直接的通风作用，而是靠直流区与复环流区内部分界面的前半部湍流扩散作用，逐渐将复环流区积聚的有害杂质排除出矿。

2. 深部工作面风流速度随采深衰减，易形成风流停滞区，静风频率高，因此，采场底部气层内的湍流性较弱，换气困难。例如，柯尔金斯基矿地表年平均风速为 3.9 米/秒，但在其深部常出现静风（占全年时间的 25% ）及 $0.2 \sim 1$ 米/秒低风速（约占全年 35% ），甚至当地表风速为 $6 \sim 8$ 米/秒时，在坑内也会出现静风（这主要发生在深部出现逆温时）。白银观测表明：该矿地表在观测期间的年平均风速为 2 米/秒，坑底的年平均风速为 1 米/秒。从坑底平均相对风速（即坑底风速与地表风速之比）看，白银露天矿冬季的坑底相对风速为 0.21 ，夏季为 0.64 ，春、秋居中，白银矿冬季地表风流的静风频率为 0 ，但坑底的静风率高达 22% 。由此可见，深部通风，特别是在冬季是很困难的。

3. 在夜间和凌晨，矿区周围地表近地面层内易产生逆温层结，地表冷空气沿露天矿边坡面向深部集结，从而形成采场底部的“冷湖”或在采空区内一定高度处的逆温隔离。“冷湖”区大气处于稳定状态常出现静风，致使工作面产生的有害杂质不断积累，造成严重污染。

采场内逆温隔层的存在 如“锅盖”一样，阻止了采场底部“锅底”内污染物的向外扩散。据柯尔金斯基矿小气候观测资料，该矿在冬季西伯利亚反气旋（即高压区）稳定时期，易于产生全矿范围的逆温层结。逆温梯度最高可达 $-3 \sim -4^{\circ}\text{C}/100$ 米，即坑底气温可低于矿区地表水平气温 10°C 以上。这时采场大气处于高度稳定状态，采场内风速形成烟幕，一氧化碳浓度可达 70 P P m ，为安全标准的 $4 \cdot 3$ 倍，露天矿被迫停产。根据白银露天矿现场测定资料，一年四季大部分时间，地表气温低于坑底气温。但在秋、冬、春三季，曾出现过一定频率的温差为负值的情况。通常在上午10点左右温差为 0 一小时后，地表气温很快上升，可高于坑底 $5 \cdot 4^{\circ}$ ，而且在前后三四小时内发生 10° 的变化。温差为负的频率以秋冬两季较高，分别为 47% 与 28% ，但延续时间不长，未形成长时期烟幕。

对于山坡露天矿而言，逆温反而有利。因为冷空气沿坡面下流，能将污染物排出矿区，而不会形成“冷湖”。

4. 露采比坑采强度大、产量高、工作面集中，污染源（如穿孔、铲装、运输、爆破等）排放强度，常比井下同类作业及设备高一个数量级以上，并随设备生产能力及采深按指数规律增长。深凹露天矿采空区容积虽远比井下巷道总容积大，但其自然通风净化能力是一定的，主要取决于地表风迫的大小。当地表风速较小或静风时，以及存在逆温时，净化能力将大大减少。但对大中型坑采矿山而言，一般都是有完备的全矿机械通风系统，净化能力稳定，易于排除井下污染物。

5 露天开采一般都无去在气温为零度以下时，采用最有效的湿式除尘措施。但在井下矿山工作面气温通常都在零度以上，可长期使用湿法除尘。

三、开展采凹露天矿大气污染课题研究的必要性

1. 优先发展露天开采工业的需要

在工业原料的生产上要优先发展露天开采，这是三十多年来世界各国的共同经验，也是国内外一致公认并遵循的方针。因为露天矿的建设比井下矿的工期短，见效快，效率高，成本低，产量增长幅度大。

我国建国以来，在铁矿石、建筑材料方面，露采比重已占多数。与苏、美相比，我国的有色金属，特别是煤炭资源的露天开采差距很大，对比数据见下表：

中、苏、美三国露采比重对比（%）

国 别	铁矿石	有色金属	煤	铀矿	化工原料	建 材
中国	85	29	5	19	50	70
苏联	85	70	34		80	100
美国	90	90	60	40		

据冶金部规划资料，当我国年产钢一亿吨时，全国将扩建与新建的大型露天铁矿中，有23个矿山属于设计采深大于100米的凹陷露天矿，其平均采深为320米，平均最终边坡垂高将达483米，年产矿石量将为大型露天铁矿规划总规模的91%。仅以上述中鞍山地区9个大型露天矿为例，按采深比概念估算，若以露采境界上口长

轴距离作为宽度，其中有4个矿山的宽深比小于6；如按上口短轴计算则其宽深比全部小于6。这表明当地面风向与长轴斜交或垂直时，鞍山地区的大型露天矿都将属于自然通风困难的深凹露天矿。可见，深凹露天矿及其大气污染问题与我国钢铁工业的发展是密切相关的。

据煤炭部门介绍，我国可供露采的煤炭资源已接近探明储量的20%，但目前的露天矿比重仅占5%左右。从气象条件，矿床赋存等情况看，我国煤的露天资源与苏联相像，而与美国不同，美国的自然条件较好。苏联露天煤矿的比重已从1950年的10·3%，上升到1977年的33·8%，增加两倍多。在此期间形成了一批大气污染较严重的深凹露天煤矿。因此可以预计，我国今后也将出现类似情况。抚顺西露天与阜新海州露天均为我国大型露天煤矿，若按上口短轴与设计最大采深计算，其宽深比均小于6。据说在抚顺西露天矿深部曾因通风不良出过人身事故。目前反映采场烟雾大，早上能见度低，信号看不清。

2 充分发挥社会主义优越性的需要

深凹露天矿的大气污染问题将直接关系到广大矿工队伍的生命与健康成长。我们社会主义国家必须坚定不移地逐步改善矿工的劳动卫生条件，而保其生产安全的原则居于首位，实现安全第一的原则。我们虽然已经从国内外经验中知道了深凹露天矿大气污染可能造成的严重危害，而且又看到了优先发展露天矿的必然趋势，就应该赶在深凹露天矿大批出现前，抓紧对比课题的研究，使科研工作走在生产的前面，充

分发挥我国社会主义制度的优越性。

四、国外深凹露天矿大气污染防治经验

据文献介绍，二十多年来，国外（主要是苏联）有关深凹露天矿大气污染防治方面的主要经验，可概括如下：

1. 充分发挥露天矿自然通风的作用，采取各种措施，提高自然通风净化能力。在新矿山设计时就考虑如何尽可能地将露天矿长轴置于或接近该矿区主风向，以减少复环流区；尽量减少出、入风口的地面阻力，避免在风口布置建筑物、废石场和矿石场等，以增大露天矿地表面风流和减少风源的污染。人们还在研究如何通过一定的装置，如利用大型系留气艇悬吊挡风器或大直径塑料风筒，将地面自然风流更好地引入露天矿深部，或将深部污染物及时引出矿外。

2. 通过对深凹露天矿污染源的调查观测与统计分析得知，在各种开拓运输方案中，自卸汽车运输是污染最严重的一种形式。柴油汽车的尾气排放及在采场公路路面上行驶时产生的扬尘，通常占全矿污染源总排放量的60%。因此最好不使用这种方式。否则，在防治大气污染的主攻方向上，应首先集中在路面除尘技术及自卸汽车尾气的净化技术上。

3. 在采矿设备司机室装设空调密闭装置，可以防止尘毒的危害，而且有助于提高生产效率。据报导，一家美国公司曾作过计算，只要采矿设备的生产率提高3%，就足以抵偿整套空调设备的全部费用。在良好的工作环境下，这样的效率增长是不难实现的。

4. 据测定, 一次药量为 1 0 0 0 吨的大爆破所造成的瓦斯尘云, 能使 4 0 亿立方米领域内的有害杂质浓度达到危险程度。为了减少露天矿爆破作业产生的烟尘危害, 除采用安全炸药及钻孔水封等措施外, 还采用在爆区上方进行人工降雨的方法。曾试用水量达 1 0 0 0 升/秒, 射程为 5 0 0 米的大型喷嘴, 效果显著。此外, 将爆破时间安排在采场自然风速最大时进行。

5. 关于深凹露天矿人工通风方法, 苏联曾作过大量试验。经验表明, 在全矿范围内采用机械或热力装置的强制通风方法, 往往需要消耗很大能量, 因而对此曾有所争议。但据最近的文献报导, 全苏现有 5 台功率为 1 1 0 0 0 瓩的大型射流喷油风机, 正在深凹露天矿进行全矿性通风试验。其中有两台据说已成功用于采深为 2 3 0 米的某化工露天矿的全矿通风。两年来的运转表明, 该系统可在任何气象条件下确保可靠的通风, 并完全消灭了由于大气污染超过标准而造成的停产。据报导, 为了进行全矿人工通风, 如采用机械射流, 则所需功率远比用热力风流为小 (彼此相差 2 0 ~ 5 0 倍)。目前, 苏联正在研制由三台射流风机组成的全矿通风装置, 该装置产生的射流初始动能为 6 0 0 0 瓩左右, 静风时射流的定向射程可达 2 公里。该装置产生的 2 5 0 0 0 ~ 2 6 0 0 0 瓩热能传给了通风射流, 能在逆温条件下积极参与露天矿通风除尘。预计该组合装置可用于采空区容积达 1 5 ~ 2 0 亿立方米的各类深凹露天矿的全矿性通风, 除有助于对露天矿大气的防护外, 并能获得显著的经济效果。

至于露天矿用的局部通风机的研制及其使用经验，则是比较成功的。例如使用能喷雾洒水及通风的移动式局部射流风机，可以加速爆破后的工作面通风，从而减少设备停产的损失。一种型号为 YMF-1 型局扇，功率为 380 瓩。现已有 40 台被广泛用于现场。

6. 通过矿区小气候观测站的建立与较长时期的系统观测，有可能找出一种可以描述该矿区大气污染与气象参数内在关系的数学模型，可用它来短期预报矿区大气的严重污染，便于及时采取必要的对策。

7. 通过对深凹露天矿污染源的排放及其控制机理的研究，科研部门可以协助现场对其深部将出现的大气污染情况作出予评价报告，并向设计单位提供深凹露天矿大气污染防治的专题设计依据。这样，才有可能采取较合理的措施，从根本上预防深凹露天矿大气污染的严重危害。

8. 对于深凹露天矿大气污染防治，必须采取综合性措施。它包括工艺措施，如选用大气污染程度最轻的开采方法和装备等；技术措施，如选用各种能就近抑止和捕集污染物的方法与装置，单机密闭空调与个体防护等；组织措施，如配备专业的大气监测人员，采取合理的工作制度和制定明确的防治污染的职责范围等。国外的分析计算表明：只有通过综合措施的实施，才有可能在全矿范围内获得较高的净化效率。这里有必要提出世界最深的号称 800 米的美国宾汉露天铜矿。由于历史和地理的特定条件，不自觉地运用了有利于深部自然通风的综合措施。例如：在地表封闭圈水平以下采用污染较轻的电机车

运输，而重型自卸汽车则在矿区上部易于剥离；他们在采场底部不同水平位置上开凿了三条出矿铁路隧道。深部隧道的设置有利于全矿自然通风，而且在逆温时便于将污染冷空气从深部排除，而不易产生“冷湖”。再则，该矿北部有一开阔山口，地面对团圈以下的实际采深为277米，而800米是该矿边坡最大垂直的尺度。

9. 在一定情况下，外部污染源（远指附近工厂，近指矿区工业广场等）可能会严重危害矿内大气。露天矿内部污染源（如大爆破）也可能污染矿区附近的城镇和居民区。因此，在解决深凹露天矿大气污染问题时，还必须考虑周围的环境污染，采取相应的措施。

10. 当全矿性大气污染主要发生在地表静风期间，而当地的静风率又是在夜间最高时，采取白天两班作业，停开夜班的作法是可取的。这对某些夜间气候条件特别恶劣的地区，可能是最合理和易于实现的。

五、国内冶金矿山防治深凹露天矿大气污染的状况

1. 局部和单机防护措施方面

我国于1970年前后，在大冶、白银、南芬等露天矿陆续开展了潜孔钻机除尘、电铲与爆堆喷雾洒水等试验研究，积累了不少经验。随后由东北工学院与武汉冶金安全技术研究所分别协助南芬、大冶等矿进行了单机防尘净化、空调密闭、柴油汽车尾气净化等项目的研究与推广应用。效果较好的有：潜孔钻机的四级干式扑尘装置，电铲司机室风冷式半导体及窗式空调密闭，爆堆的喷灌降尘等。最近在大冶

铁矿完成了用于柴油自卸汽车的蜂窝状钨催化剂净化器的工业试验。对一氧化碳与碳氢化合物净化效果较好；在大冶铁矿及马鞍山南山露天矿现正试用一种新型空调组合装置，该装置用于采矿设备司机室，除机械空调器与防尘滤料外，主要是装配有待制的负离子发生器，能造成司机室内良好的小气候，并有明显的医疗效果。类似装置用于矿山尚属国内外首次。

2. 全矿性气象及尘毒污染的现场观测与分析

1977年武汉冶金安全技术研究所等单位曾在大冶铁矿东露天采场南帮进行了为期一年的气象观测，为我国提供了第一份有关露天矿气象资料。与此同时，本钢劳研所在南芬露天矿完成了我国对露天矿粉尘危害的第一次系统调查。为了将气象因素与污染危害结合起来并从全矿自然通风的整体考虑，冶金专题组从1980年起对白银深凹露天矿进行了长期的现场系统观测与分析，目的是要在3~5年内逐步为深凹露天矿通风防尘防毒及工业卫生，提供设计依据。两年来已初步掌握了白银深凹露天矿各测点气象与尘毒参数随季节与昼夜的变化规律；证实了复环流及采场内以偏南为主的局部风流的存在。通过污染源的调查与测定，初步探讨了造成白银深凹露天矿大气污染严重的主因。实测表明：自卸汽车引起的路面二次扬尘以及黑烟的排放是采场内部的主要污染源，3、4苯并比是需要进一步观测的有害物质。污染源排尘强度的实测，使我们初步掌握了自卸汽车二次扬尘及电铲铲装时的产生强度。

六、关于深凹露天矿大气污染防治的基本途径及若干建议

1. 指导思想 应以预防为主、整本考虑、因地制宜、综合治理。具体说，就是要坚持科研先行原则，从地质勘探与设计开始，充分注意当地的气象、地理及开采条件，着重于对污染源的控制，从工艺、技术、组织各方面采取综合措施。绝不应等出了问题再治理，也不能零敲碎打和只抓容易实现的单项措施。

2. 主要任务 对新建和扩建的露天矿，必须进行矿内大气污染防治及劳动保护的专题设计；对已经和将要形成深凹露天矿的各矿山，着重采取各种局部和单机防护措施，开展深凹露天矿大气污染的予评价，逐步掌握深凹露天矿内天气的数值预报，以调度生产。

为此，有关研究单位要尽快为设计部门提供各项科学依据，并要协助国家环境、劳动保护监察部门，尽早制定各项安全法规，以及各种卫生标准与污染源标准测试方法，并研究测试技术。这就需要广泛地组织协作，既要坚持现场系统性调查观测，还要尽早开展实验室工作。

3. 几点建议

1) 深凹露天矿大气污染防治涉及的专业面广、周期长、难度大任何个人或个别单位去办，都可能贻误时机或中途夭折。当务之急是要尽快加强组织领导，投入较多力量，统一制定方案，并在经费上给予支持。

2) 为了更好地借鉴外国的经验，除了系统地查阅国外文献资料

外，很有必要进行国外的专题考察。

3) 组织一支精悍的专职联合调研队伍，配备必要的测试手段。除坚持继续在白银露天矿进行长期系统观测外，还要有计划地在我国探出观采凹露天矿的主要矿点进行现场调研。最好能与设计院配合，在我国南方和北方各选一个矿山进行予评价及专题设计的试点。

4) 建议在现有的将成为深凹的露天矿，设置一定力量的专职通风防尘队伍，协助科研人员负责大气污染的监测与防治。国家有关部门应尽快颁发严格的矿区大气保护法，用法律形式促使矿山企业和工段领导重视矿区大气污染的防治工作。应将工作面大气卫生条件列为衡量企业、车间的安全生产任务是否全面完成的硬指标之一。

5) 加强宣传培训与技术交流工作。据估算，在铁矿开采中，露天作业的工人人数已接近50%，但对露天矿大气污染，至今尚未得到应有的普遍的重视。例如：井下开采有通风防尘的专题设计，有专门的井下通风防尘教材，有井下通风防尘的安全规范，有专职的井下通风、防尘科，并拥有大量的科研人员。而在露天开采领域恰恰相反，一切都基本处于空白和刚起步状态。建议有关刊物加强对此课题的宣传报导，矿业院校应尽快看编与有关教材，举办本专题技术短训班，定期召开专题技术交流会。

最后我们建议国家科委矿业安全组将采凹露天矿大气污染的危害与防治列入科研规划，与国家劳动总局一起，组织冶金、煤炭、化工、二机、建材等有关院所与企业，广泛协作，加紧开展本课题的研究。

参 考 文 献

1. 白银渠凹露天矿气流和大气尘污染初步调查 (介吸性研究报告) 《白银工业卫生》 1981年 第1期

2. Никитин В.С. 关于露天矿空气成分正常化方面的研究现状及任务 Горный Ж 1973, 1

3. Филистов С.С. 采凹露天矿大气学 Без. Трх. В. П.

4. Куликов В.П. 露天煤矿通风特点 Без. Трх. 1981, 5