

文章编号:0253-9993(2009)04-0560-12

# 环境友好型矿山机械内涵及其研究现状

彭佑多<sup>1</sup>, 罗善明<sup>1</sup>, 郭迎福<sup>1</sup>, 高光辉<sup>1</sup>, 颜良<sup>1</sup>, B. S. Dhillon<sup>2</sup>

(1. 湖南科技大学 湖南省机械设备健康维护重点实验室, 湖南 湘潭 411201; 2. Department of Mechanical Engineering, University of Ottawa, Ottawa ON K1N 6N5, Canada)

**摘要:** 能源和环境是全世界共同面临的两大问题, 环境友好型矿山机械的研究与开发是矿山可持续发展与绿色矿山建设的基本要求, 也是当今矿山机械领域理论与试验研究的重点. 以矿山液压机械为例, 阐述了环境友好型矿山机械的基本内涵和环境友好型矿山机械相关研究内容及其研究状态、进展和发展前景.

**关键词:** 环境友好; 矿山机械; 内涵; 研究现状

**中图分类号:** TH17      **文献标识码:** A

## The inner nature and relevant research status of environmentally friendly mine machine

PENG You-duo<sup>1</sup>, LUO Shan-ming<sup>1</sup>, GUO Ying-fu<sup>1</sup>, GAO Guang-hui<sup>1</sup>, YAN Liang<sup>1</sup>, B. S. Dhillon<sup>2</sup>

(1. Hunan Provincial Key Laboratory of Health Maintenance for Mechanical Equipment, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China; 2. Department of Mechanical Engineering, University of Ottawa, Ottawa ON K1N 6N5, Canada)

**Abstract:** Energy and environment are the common questions of the whole world. Researching and designing of environmentally friendly mine machine is the basic desire of mine to sustainable development and building green, it is also the emphases of theory and experiment study in mine machine field. Expounded the basic inner nature and researching status of interrelated study content of environmentally friendly mine machine. The headway and foreground of environmentally friendly mine machine were also expatiated.

**Key words:** environmentally friendly; mine machine; inner nature; research status

“绿色”浪潮袭击全球, 能源和环境是全世界共同关注的两大难题. 我国机械工程涉及的环境技术主要有: ① 在机械产品上应用环境技术, 以改善产品的环境影响性能; ② 在机械产品制造过程中应用环境污染控制技术, 以减少生产过程中对环境的污染; ③ 发展环保机械产品. 其核心技术是减少废弃物产生技术和废弃物处置技术<sup>[1]</sup>.

采、掘、运输、提升、支护、装载等各类矿山机械中广泛采用液压传动与控制系统, 环境友好型矿山液压机械是指采用如水、可生物降解液压油等环境友好型工作介质, 并且系统无泄漏或低泄漏, 工作噪声较低 ( $\leq 65$  dB), 同时容易拆卸, 报废后可实现节能、省材、环保回收再制造的矿山机械. 矿山机械多为功率大、自身质量重、占用空间大的“傻、大、笨、粗”设备. 目前, 矿山机械的振动与噪声、渗透或泄漏的非生物降解液压油、润滑剂及由于回收再制造率低等引起的生态环境和生态平衡的破坏已熟为人知,

随着采掘、运输、提升、支护、装载等矿山机械向高速、高压和大功率方向的发展,其振动噪声、泄漏、污染及回收再制造尤显重要和意义重大。因此,开展环境友好型矿山机械相关领域的理论与试验研究,开发环境友好型矿山机械意义重大、迫在眉睫,这也是矿山可持续发展与建设绿色矿山的基本要求。

## 1 低泄漏或工作介质低(无)污染创建洁净矿山

矿山机械的液压系统由于油液污染、密封表面粗糙度不当、密封沟槽不合格,管接头松动、配合件间隙增大、油温过高、密封圈变质或装配不良等,往往引起液压系统泄漏,泄漏不仅使系统无法正常工作,所泄漏液压油还会严重污染环境。研究表明,约有85%的液压介质因泄漏、管路破裂、接头及密封失效而最终从液压系统流失。由于现有液压系统中85%采用矿物型液压油作为工作介质,这些流失的液压油会直接影响工作场地的卫生,同时不可生物降解液压油既是火灾隐患,更会对环境土壤构成潜在的危害。ISO9000, ISO14000 和 ISO16000 等系列体系标准的实施,使液压技术的使用受到严格的限制<sup>[2]</sup>。既然矿山机械泄漏不可避免,如果采用自然水或可生物降解的液压液,则对环境的污染就会小得多。

因此要彻底改变矿山机械的脏乱现象,满足可持续发展的需要,必须实现液压技术绿色化。目前的基本思路:①加大液压系统密封理论与技术研究,力争实现液压系统的超低泄漏甚至不泄漏;②大力促进水压传动的发展;③在液压系统中大力推广甚至强制使用植物油、聚乙二醇等可生物降解的液压液。

### 1.1 低泄漏矿山机械相关技术

矿山机械品种多、工作环境恶劣、液压系统元件多、密封结构复杂。在组成液压系统的动力元件、控制元件、执行元件及管路等辅助元件中,泄漏故障一般为管件等辅件44.5%,油缸等执行元件38%,控制阀及阀块连接10%,泵7.5%<sup>[3]</sup>。矿山机械多为中高压液压系统,其各类密封都为中高压密封,密封效果主要取决于液压元件密封结构、密封件构造、材质等。低泄漏矿山机械要求各种密封件可靠性高、寿命长、摩擦磨损低、结构简单紧凑、制造维修方便、成本低。同时,应保证互换性,实现标准化、系列化。

随着密封理论研究的深入,新结构密封元件、新型密封材料的不断出现及推广应用,矿山机械中的泄漏状况已得到有效控制。如长江液压技术研究所对活塞杆类设计了一种零泄漏、低摩擦轴系密封系统,这种密封系统的第1道密封为主密封,主密封承受系统压力;第2道密封为副密封,不承受压力或只承受很低的压力<sup>[4]</sup>,该密封系统广泛适用于各种矿山液压机械。

近年来,国内外的密封材料研究主要是橡胶改性技术、工程塑料的应用、热塑性弹性体的开发应用,如特种工程弹性体取代低性能耐油橡胶、橡胶亮面表面处理、聚四氟乙烯(PTFE)、高性能化的聚氨酯材料、工程陶瓷密封材料、纳米技术对橡塑材料改性、液体橡胶密封材料、热塑性弹性体(TPE)中的TPO, TPV, TPU等,在液压密封元件中都已表现出强大的应用前景<sup>[5]</sup>。Parker, Evco 等公司推出的全氟橡胶FFKM;上海亿冈、EVCO, Fluorten 等公司推出的FEP(氟化丙烯)和PFA(全氟化合物)等氟塑料品种;Simrit 推出的独特的聚氨酯材料;广研密封开发的聚四氟乙烯(PTFE)改性产品等都以其独特的性能已在部分矿山机械中得到应用。

在新结构密封元件研究开发方面,Simrit 公司推出的新型油封配备有测试密封(旋转密封)泄露量的传感器,Hunger 公司推出的Evd密封系统能自动调节密封件(弹性体)的内部压力,消除油缸密封件磨损的变形并消除泄露,新型SETCO AirShieldTM密封的主轴集成了摩擦密封与迷宫式密封的优点;由广州机械科学研究院密封研究所研制的多肢密封件,上海亿冈五金密封材料有限公司研制的YG2000复合O形圈,Freudenberg开发的“八角形”结构的密封件,宝色霞板研制的带有“优化密封功能”的活塞杆密封等,各具各自独特优点<sup>[5]</sup>。

在矿山机械液压密封元件选择方面,除国产密封件外,国外密封件如英国HALLITE, Busak + Shamban;德国CFW, Gummi - Metal;意大利CARCO、麦卡尔、洪格尔;法国EVCO;美国CR, Parker Hannifin;日本NOK等密封产品,都在矿山机械产品如采煤机、掘进机、液压支架、液压提升机中被选用。这些为矿山机械在高速、高压、高低温(-60~+260℃)、长寿命、粉砂尘等矿山恶劣条件下使用提供了

可能,为低泄漏矿山机械的开发提供了密封材料和技术保障.

## 1.2 水液压传动矿山机械

水液压传动以天然水(淡水和海水)作为液压工作介质,具有环境保护、劳动保护、资源节省、能源节省等优异的绿色特性<sup>[6]</sup>.

水液压传动的理论与应用研究异常迅速,自美国 Vickers 公司于 1967 年发表有关海水泵工程材料研究报告以来,国内外许多研究机构和企业相继开发了系列水液压传动元件和系统.如美国海军司令部(NS-SC)、海军舰船研究中心(DTNSRDC 和 NSRDC)及海军工程实验室(NCEL)等在 20 世纪 70 年代初最先开始水液压技术的实际应用研究,并于 1984 年研制成功压力为 14 MPa,流量为 45 L/min 的水液压系统;美国 AQUADYEN INC 等公司的水清洗装置用于水力清洗砂铸件;1974 年美国福禄公司生产的水力切割机用于切割肉类和钢材;Fenner 公司于 1988 年开发了海水柱塞泵;20 世纪 90 年代英国 Hull 大学改进了完善了海水柱塞泵用于海底设备液压控制系统<sup>[6-8]</sup>.

德国的豪亨科(Hauhinco)公司则主要进行了高压、大流量水液压元件的产品开发,目前生产的 EHK-3K 系列 Tri-plex 柱塞泵的输出流量为 8~700 L/min、压力为 15~80 MPa,适用于黏度在 0.5~4.0 mm<sup>2</sup>/s 的所有天然流体. RKP 系列径向柱塞泵的输出流量为 3~240 L/min,压力高达 32 MPa. 还有品种齐全的水液压阀,包括球阀、锥阀和滑阀,压力分别为 16, 32, 70 MPa. 丹麦的丹福氏(Danfoss)公司从 1989 年起,通过 5 a 的努力,已设计生产了系列水液压元件,其工作压力为 14 MPa,流量为 15~140 L/min,且效率和寿命达到甚至超过矿物油型液压元件. 日本的荏原研究所、小松工业株式会社、萱场工业公司、三菱重工、神奈川大学等也在从事水液压技术的研究,所研制的水液压泵压力可达 21 MPa,转速达 1 800 r/min,流量在 10~30 L/min 之间,容积效率为 85% 以上,总效率为 81% 以上,甚至可达 92%,并有相应的马达和阀等产品,现已投入市场应用<sup>[6-8]</sup>.

芬兰的坦佩雷(Tampere)工业大学自 20 世纪 80 年代以来,在水液压流体动力学、水液压元件与系统运动控制、水液元件结构与参数设计、水质状态及监测、水压动力机械智能控制等方面进行了系统的理论与试验研究,并开发出大量水压传动元件与系统,如研制成功的比例流量控制水液压系统最高压力达 40 MPa,流量达 136 L/min;研制的比例阀具有可编程智能控制功能;所研制的水压系统在食品、造纸等行业广泛应用<sup>[9]</sup>.

我国的水液压技术研究也已经取得可喜成绩. 华中科技大学研制出工作压力 14 MPa、流量 40 L/min 的一系列海(淡)水液压元件与系统,其中“海水液压动力系统”及“新型高压容积式海(淡)水泵”通过鉴定并得到应用<sup>[10]</sup>. 浙江大学流体传动及控制国家重点实验室在有关部委的资助下,进行了关键应用基础技术的研究和新材料的使用.

长久以来,矿山尤其是煤矿的现场生产条件十分恶劣,以石油基矿物油或高水基乳化液为工作介质的矿山机械,对矿山环境的污染不言而喻. 改善矿山尤其是煤矿的生产环境,纯水液压技术的使用是有效的方法之一.

南非在 20 世纪 70 年代开始了水压液压凿岩机的研究,如南非矿业联合会研究中心(COMRO)于 1992 年开发了 2 种型号的水压液压凿岩机;Ingersoll Rand 公司开发的水压液压凿岩机利用地下金矿深采矿山以采场水位压差(17.93 MPa)为动力,运行效果良好;加拿大采矿研究与开发协会、矿产与能源中心(CAMET)等单位合作开发的水压液压凿岩机也得到应用<sup>[7]</sup>. 国内湘潭高新区凿岩机机械研究所于 1993 年研制了我国首台 YST-23 型水压液压凿岩机,之后中南大学、湘潭风动机械厂、湖南科技大学等研制了多种型号的水压液压凿岩机. 西安科技大学对 MXG500/4.5H 型电牵引采煤机上的滚筒油压调高压系统改进成乳化介质的液压系统,实现了采煤机的无油化,并在邢台矿务局得到应用,之后又成功进行了纯水介质的电牵引采煤机滚筒油压调高压系统的设计研制;中国矿业大学、安徽理工大学开展了水液压支柱的研究开发并在煤矿得到应用<sup>[8, 11-12]</sup>.

纯水液压传动技术因其特有的优势,已成为现代液压传动技术新的发展方向之一. 随着研究开发工作

的进一步深入,必将出现更多的矿山水基液压传动机械。

### 1.3 可生物降解液压油在矿山机械中的应用

除水之外的环境友好型液压系统工作介质为生物可降解液压油,生物可降解液压油是指既能满足机械设备液压系统的要求,其耗损产物又对环境不造成危害的液压油,又称绿色液压油。目前,全球生物可降解液压油的使用量占液压油总量的10%,其基础油是植物油、合成酯和聚乙二醇3种。其中植物油生物降解性最好,且资源丰富,价格较低;合成酯各方面性能平衡较好,但成本太高;聚乙二醇易水溶渗入地下,造成地下水污染且与添加剂混合后会产生水系毒性。因此,在欧洲,以植物油为基础油的生物降解润滑油在市场中占有较大比例。环境可接受液压油,除了具有可生物降解性、低毒性以外,往往还要添加抗氧化剂、清净分散剂、极压抗磨剂等各种功能的添加剂来满足液压系统苛刻的要求,添加剂也必须可生物降解,并且对其相应的基础油的生物降解性影响很小<sup>[13]</sup>。

20世纪70年代末以来,欧洲各国分别对生物降解基础油生物降解特性进行了深入研究,如巴斯大学的 Marcelle C. McManus, Geoffrey P. Hammond 等对以马路清扫液车为例,分析比较了所泄漏生物降解液压的降解过程及对环境的影响情况<sup>[14]</sup>;德国农业机械与流体动力研究所的 Nils C. F. Ister, Hans - Heinrich Harms 等研制了生物降解液压油使用过程的相关特性参数的在线监测装置<sup>[15]</sup>;Panolin AG公司的 Patrick Laemle 比较了多种生物降解液压油和生物降解 UTTO 润滑剂基础油的特性并进行了大量试验研究<sup>[16]</sup>;美国宾夕法尼亚州大学 Joseph M. Perez, Kraipat Cheenkachorn, Wallis A. Lloyd 等比较了石油基矿物油和多种植物油的特性,并分析了植物油的降解能力<sup>[17]</sup>。同时,欧洲各国市场上出现了多种生物降解液压油和润滑剂,如德国力魔 Liqui Moly 生物降解 HEES 46 液压油尤其适用于高变动温度和极低的温度条件,它具有极压 EP 添加剂、抗氧化剂和防腐剂、高压吸附性及持久的传输性能,且无毒,其生物降解性高于80%,且与所有矿物质产品相溶而不溶于水。该生物降解性液压油已广泛应用于起重机、电铲、挖泥机、水闸压力系统、snow cat 及多种农业、林业液压机械设备等。一些发达国家还制订了生物降解液压油和润滑剂的相应法规条例,如德国的“蓝色天使”(The Blue Angel)、瑞典的 The-SP-list、北欧的 Nordic Swan 等<sup>[18-21]</sup>。

我国是包括液压油在内的润滑油生产和消费大国,使用环境可接受液压油是今后的必然趋势。目前国内可生物降解液压油研究方兴未艾。苍秋菊研究了低芥酸菜籽油、花生油、葵花籽油、橄榄油、蓖麻油和玉米油等植物油用做生物降解液压油基础油的性能,结果表明:植物油以特殊的分子结构,具备不同于矿物基础油的性能,它除具有生物可降解性外,还具有黏度指数高、黏温性能好、低温流动性好及良好的极压抗磨性、水解安定性和对金属材料的配伍性等,而对其较差的氧化安定性,可通过植物油改质或加入高效氧化抑制剂来予以提高<sup>[13]</sup>。陈丹、曹月平和赵荟馨分别对生物可降解液压油进行了定义,提出了对生物可降解液压油试验标准及发展的展望<sup>[19-20]</sup>;王东阐述了有机合成型液压油脂肪酸酯(HFDU)的反应机理、基本组成、性能特点、应用维护和再生方法<sup>[21]</sup>。

21世纪是清洁能源的时代,日益严格的环保要求必将促使生物可降解液压油在矿山机械中的广泛应用。可以预见,随着中国政府“绿色GDP”的提出,各地方政府对环保的监管力度更加严格,中国也会模仿欧洲国家在特定行业限制非环保物质的使用,这将加速生物可降解液压油的全面使用。

## 2 低噪声创造清静矿山工作环境

### 2.1 噪声对矿工身心健康的影响

在影响矿山生产环境与人体身心健康的各种因素中,矿山机械的噪声是最恶劣的影响因素之一,噪声是仅次于污染的第2杀手,噪声性声创伤已被认为是世界性七大公害之首。噪声对人的中枢神经系统、心血管系统、消化系统、呼吸系统和视觉器官均产生不良影响,研究表明:在超过85 dB(A)的噪声作用下,人的大脑皮层质的兴奋和抑制失调,导致条件反射异常,出现中枢神经系统功能障碍,表现为头痛、头晕、失眠、多汗、恶心、乏力、心悸、注意力不集中等一系列症状。噪声还会引起心律不齐、心电图改

变等对心血管系统的慢性损伤作用,引起胃的收缩机能和分泌机能降低等消化系统疾病,引起呼吸加快、加深等呼吸系统问题,引起眼睛对光的敏感性降低,妨碍听觉信息的感知。同时噪声对人的心理也会产生严重影响,主要表现为引起人的烦恼,如焦急、讨厌、生气等各种不愉快的情绪,噪声引起的烦恼程度与噪声的频率、经历噪声的时间等有关,高频噪声比响度相同的低频噪声更容易引起烦恼。噪声能使人对光的敏感性降低。当噪声强度在90 dB时,2/5的人瞳孔扩大,视物模糊;当噪声达到115 dB时,几乎所有人的眼球对光的适应性都有不同程度的减退。长时间处于噪声环境中的人容易出现视疲劳、眼痛、眼花和视物流泪等现象;噪声是心血管疾病的危险因子,可增加心肌梗死的发病率<sup>[22-25]</sup>。

噪声作为一种紧张源,对作业工人有巨大的心理压力并引起强烈的紧张反应。其对心理的影响突出表现在情绪反应上,情绪直接作用于煤矿工人的行为,造成人的不安全隐患。曹渝、周舟、文迪对长期身处噪声环境中的煤矿工人调查显示,有64.7%的煤矿工人认为噪音对工作和身体有较大影响,其中27.5%的人认为噪音对工作和身体有很大影响<sup>[23]</sup>。

早在1994年,德国矿业工会(Bergbau Berufsgenossenschaft)对萨尔煤矿1975年以来矿工听力损害情况进行了调查和分析。结果表明,矿工听力损害是所有行业中最严重的,有49%的矿工听力损害程度达20%,而退休矿工听力损害程度则更为严重,达到职业病听力损害诊断等级BK2301,即每1000名矿工发病率为1人左右。从1975—1980年,矿工听力损害发病率呈上升趋势,并达到高峰<sup>[24]</sup>。

黄意府、王清海、黄鲜华等对某露天矿山噪声作业工人听力损害情况进行了调查<sup>[25]</sup>,测得815车、液压铲车驾驶室,洗矿车间,破碎车间等岗位听力损害检出率分别为21.15%,24.49%,49.45%,45.45%;噪声强度的均值为86.2 dB(A),最高的等效连续声级为97.4 dB(A),超过了85 dB(A)的国家卫生标准。排除耳疾、颅脑外伤史及某些既往病史的影响,噪声作业职工听力损伤检出率为36.13%,同时调查还检测出3例噪声耳聋患者。工龄为<5,5~10,>10 a的听力损害检出率分别为20.00%,30.77%,50.00%。可见,矿山企业噪声对职工听力损伤非常严重,前景不容乐观。

表1为白胜利、范文琴、王明州等进行的矿山设备噪音与高血压相关性的调查研究结果<sup>[26]</sup>。由表1可知,在噪音环境中工作的人高血压发病率(25.14%)比处于非噪音环境中人群高血压的发病率(15.05%)高。同时矿区高血压患病率远大于9%,高血压发病率高发区,这与矿区噪声工作环境密切相关。

表1 矿山噪音环境与矿工高血压间关系的调查结果

Table 1 The investigation results of relationship between mine noise environment and mineworker's hypertension

| 年龄    | 接触噪音者高血压患病率/% |       | 非接触噪音者高血压患病率/% |       |
|-------|---------------|-------|----------------|-------|
|       | 男             | 女     | 男              | 女     |
| 20~30 | 7.5           | 1.45  | 3.10           | 0     |
| 31~40 | 26.7          | 10.00 | 13.52          | 2.07  |
| 41~50 | 36.3          | 25.00 | 31.08          | 6.34  |
| 51~60 | 43.9          | 25.64 | 32.42          | 18.42 |

## 2.2 矿山机械噪声机理

矿山机械的噪声包括机械噪声、流体噪声等。机械噪声是指由于机械振动、摩擦、撞击等现象而引起的噪声。机械振动噪声主要来源于运动部件的不平衡、不同心或间隙调整不当;撞击噪声则主要存在于利用冲击、碰撞能量工作的矿山设备之中。流体噪声则为流体的流速、压力的突然变化以及气穴等引起的噪声,由于矿井通风及液压传动与控制技术的大量采用,因此,矿山机械中往往是机械噪声和包括液压噪声在内的流体噪声并存。矿山环境噪声特别是井下噪声具有单机噪声强度大、机组噪声高、连续噪声多、叠加性强等特点<sup>[27]</sup>。

采煤机是由多个部件组成的整体,截割煤岩时的噪声是一种包括各种不同性质噪声的综合噪声。李晓豁、姚继权分析了采煤机噪声的构成,建立了采煤机参数与工作面噪声之间关系的数学模型,对采煤机工作面的噪声进行了模拟研究,得到了工作面噪声随采煤机滚筒直径与转速、截割阻抗及牵引速度等参数的增加而增大,随截线间距、切屑厚度、煤岩脆性程度的增大而减小的重要结论<sup>[28]</sup>。

凿岩机噪声包括机构回转噪声和冲击噪声,同时回转噪声比冲击机构噪声低 20 dB (A) 以上. 王荣杰、陈虹微对气动凿岩机噪声机理进行了分析,提出了降低气动凿岩机噪声的排气口扩容降压办法改进措施并采用新型消声器,使气动凿岩机的噪声降低了 11 ~ 12 dB (A)<sup>[29]</sup>. 宋霖、高理福将气动凿岩机的冲击噪声和回转噪声作为一种主要噪声声源,对其噪声声源特性进行了全面的分析研究,为气动凿岩机噪声治理找到了依据<sup>[30]</sup>.

矿井通风系统功率大、转速高,在运行过程中产生强烈的空气动力性噪声和机械噪声. 周广林、陈心昭、陈剑等就矿井通风系统(主要针对通风机、电动机)噪声产生的机理进行了较深入的研究分析,并提出其噪声控制的主要措施与途径<sup>[31]</sup>. 张一健对罗茨鼓风机高压回流气体流速与噪声产生关系进行了综合分析,提出了罗茨鼓风机噪声治理的一种创新结构设计<sup>[32]</sup>.

矿山机械中大量采用液压传动与控制技术,液压噪声成为矿山机械噪声中的显著部分. 液压噪声包括液压泵噪声、液压冲击噪声、管路振动噪声、溢流噪声等. 国内外许多学者和工程技术人员对液压噪声进行了大量研究并取得可喜成绩.

Bath 大学 PTMC 中心的 Nigel Johnstone, Wang Lin 等进行的流体传动与控制系统的液载噪音 (FBN) 的主动控制研究并取得了阶段性成果,研究了多种不同的液载噪音 (FBN) 主动控制方法,建立了相应的仿真数学模型,进行了相应的仿真研究并建立了流体系统的液载噪音适时控制试验装置,该项研究仍在进行之中<sup>[33]</sup>.

Liselott Ericson, J. Ivander, J. O. Palmberg 等在液压噪声机理与噪声控制方面做了大量工作,研究了变量马达的流量脉动及其由此而产生噪声的机理及减小脉动与噪声措施<sup>[34-35]</sup>; B. H. Kim, D. R. Williams, S. Emo, 等基于脉动流体系统的数学模型分析了流体脉动噪声机理<sup>[36]</sup>, A. C. Sever and D. Rockwell 对不同结构尺寸的平面缝隙中流动流体的振动与噪声机理进行了研究,为相似结构的流体动力元件的噪声控制提供了理论依据<sup>[37]</sup>.

浙江大学流体传动及控制国家重点实验室王庆丰等近年来在液压控制元件流体噪声控制方面做了大量研究工作,特别是在液压控制元件流体噪声控制方面,运用流动显示技术以及计算流体力学,深入研究了液压控制元件内的流体噪声机理,为解决液压控制元件内流体噪声控制问题提供了新的手段<sup>[38]</sup>.

### 2.3 噪声控制应用技术

在减小流体气穴噪声、液压冲击噪声等方面,谷树朋、张福林、李艳等合理选择平稳性的电磁阀、电液换向阀、溢流阀、节流阀,合理设计补油阀以及背压阀等,通过在泵的进出口处安装液压软管,有效地抑制液压泵振动通过管道的传力和流量周期性的变化形成压力脉动及相应流体噪声<sup>[39]</sup>. Sam ir Ziad, Wolfe D. 研究了串列缸的涡流噪声反馈控制问题,并设计了流-固噪声控制装置<sup>[40-41]</sup>. 王荣杰、陈虹微对气动凿岩机噪声机理进行了分析,提出了降低气动凿岩机噪声的排气口扩容降压办法改进措施并采用新型消声器,使气动凿岩机的噪声降低了 11 ~ 12 dB (A)<sup>[29]</sup>.

在消除矿山机械振动噪声方面,王雷、宋维源和王正浩分别分析了振动筛的噪声机理,并根据其噪声声级高、声源多的特点,采用聚氨脂的筛板,选用激振器及弹性减震块,有效控制了机械振动体与基体的硬联接而产生的噪声<sup>[42-43]</sup>.

对井下噪声比较严重的设备如通风机、采煤机和掘进机等采取了减振减噪措施,使井下工作点噪声等级下降了 30% 以上. 轴流式、斜流式和对旋式局部通风机机壳采用腔体充填式消声结构后噪声降低到 80 dB (A),如国外煤矿掘进巷道通风采用的德国 dGAL, diE, G 系列;波兰的 WLE - A, WLE - B 系列对旋式风机,日本三井三池制作所的低噪声混流式局部通风机,可通过改变叶高和叶片安装角度获得所需要的性能,噪声控制为 79 dB (A)<sup>[44]</sup>. 国外对粉碎设备广泛采用降噪技术,如瑞典 Sandvik 集团的液压圆锥破碎机和芬兰 Metso 集团的 Symons 体系圆锥破碎机,德国 KruppPolysius 公司和 KHD 公司的辊压机,芬兰 Metso 集团的 ordbergBarmacB 系列立式冲击破碎机,瑞典 Mogensen 公司的振动筛、自磨机、球磨机和搅拌球磨机,美国 Krebs 公司的水力旋流器和美国 Derrick 公司的高频振动细筛等,噪声都得到了严格地控

制<sup>[45]</sup>.

在噪声隔离技术和消声器设计方面,山东科技大学王孚懋等进行了大型动力机械设备噪声隔离技术研究和产品开发,针对大型矿山动力机械设备如大型通风机、冷冻机、发电机、冲床、球磨机、破碎机、振动给料机、振动筛、跳汰机等具有体积大、功率大、噪声值高(100~130 dB(A))的特点,提出了一套完整的关于大型动力机械设备噪声隔离技术与策略.多项工程应用显示,对频率在250~8 000 Hz范围内的噪声,能降低20~30 dB(A)甚至更高<sup>[46]</sup>.侯存伦、唐亮、高学军等<sup>[47]</sup>设计了大型风机扩散消声器,并在山东新汶矿业集团公司协庄煤矿西风井的应用,消声量达32 dB(A).对各测点治理前后的噪声进行监测,经治理后隔声室1 m处的噪声值为65 dB(A)左右,隔声量为38 dB(A)左右,风机房到界外的距离为20 m,经过20 m的自然衰减,边界外噪声不超过50 dB(A),达到国家规定的排放标准,减少了对环境的污染.

### 3 高回收再制造率节省资源、净化矿山

#### 3.1 矿山机械回收再制造的迫切性

再制造业是20世纪90年代在发达国家发展起来一个新兴产业.它以产品全寿命周期理论为基础,以实现废旧产品性能跨越式提升为目的,具有节能、节材、环保、优质等多种特质.与传统制造业相比,制造同类产品,再制造业通常只消耗不到1/10的能源、不到1/5的材料和只产生不到1/4的污染.我国资源紧缺和环境问题日趋严重,发展再制造业将有助于在节能和环保的前提下实现产业结构的升级,较好地缓解我国就业压力和发挥比较优势<sup>[48-49]</sup>.

“十一五”期间煤炭行业新建煤矿投资总额为2 200亿元,新增煤炭机械设备投资约770亿元.到2010年,大型煤矿采掘机械化程度将达到95%,中型煤矿的机械化程度将达到80%以上,大型煤矿国内先进水平装备率达到20%,国际先进水平装备率达到6%,中型煤矿国内先进水平装备率达到10%,大型煤矿机械化、半机械化程度达30%以上.而我国当前煤炭开采装备总体水平比较低,处于机械化、部分机械化和手工作业并存的多层次结构,全国采煤机械化程度仅为42%,其中中国有大中型煤矿采掘机械化程度达75%,但设备老化程度较大,超期服役的设备占30%~40%,特别是一些乡镇煤矿和小型矿井生产设备简陋,技术水平低,装备差,有的根本没有机械设备,生产工艺落后,作业人员过多,效率低,基本上是非机械化开采.占全国煤矿97%左右的中小煤矿,受利益驱动,甚至用低廉的价格购买已经淘汰的旧式采煤设备,这些设备可靠性不高、安全性能差,且吨煤耗电量都在60 kW·h左右,是新设备吨煤电耗的3~4倍.据此分析,近几年全国煤矿将有30%~40%的现役设备需要报废.同时,一般矿山机械设备正常寿命为20~30 a,大量非超期服役的成套设备也将逐年进入报废阶段<sup>[50-54]</sup>.

按传统矿山机械设计制造理念,这些矿山设备报废后,就成为一堆废铁和垃圾,报废产品金属零件的回收利用主要采用回炉冶炼方式,对产品而言是一种“从摇篮到坟墓”的过程<sup>[55]</sup>.不仅回收利用及再制造使用率非常低,而且废旧矿山机械产品污染严重,如果废旧矿山机电产品不能及时有效地进行资源再生,必将成为社会尤其是矿山的公害.危害主要表现在3个方面:①污染环境,由于废旧矿山机械零部件组成复杂,个别零部件中甚至含有铅、砷、汞等有害物质,如果处置不当或处理不及时,不仅造成空气、土壤和水质的严重污染,而且威胁人类身体健康;②占用大量空间,矿山机械多为功率大、自重大、占用空间大的“傻、大、笨、粗”设备;报废后若处理不及时而随意堆置,不但破坏了环境的美观,还侵占了大量土地或空间;③构成安全隐患,因我国缺乏二手产品质量检测标准和有效的控制措施,使一些本应报废的矿山机械流向个别乡镇煤矿和小型矿井,这些已经淘汰报废的煤矿设备,不但造成了能源过度浪费、噪声干扰、环境污染等,而且容易引发直接危及人身安全的事故.

因此,建立矿山机械回收再制造机制,对矿山机械配件的市场流通实行严格监管和加强回收再制造技术研究,已迫在眉睫.



### 3.2 矿山机械回收再制造现状与前景

再制造最初发源于军方的武器维修,苏联红军在卫国战争期间利用再制造技术抢修了43万辆(次)坦克、装甲车,从而有力地保证了装甲部队的持续作战能力。二战之后,美军在如何更快、更好地修复武器方面投入了大量的人力、物力,并最终发展出了较为成熟的武器再制造业。美国国家科学研究委员会在制订2010年国防工业制造技术框架时,认为武器再制造技术是其武器系统性能升级、寿命延长的重要技术支撑,并因此而被列为重要研究领域<sup>[48-49]</sup>。

目前,再制造产业覆盖的范围十分广泛,汽车、电机、机床、器械、家电、办公设备等。世界著名的汽车制造厂如福特、通用、大众、雷诺等或者有自己的发动机再制造厂,或者与其他独立的专业发动机再制造公司有固定的合作关系;德国大众在50 a时间里已再制造发动机720万台,销售的再制造发动机与配套新发动机的比例为9:1。美国专业化再制造公司数量超过7.3万个,直接雇员48万人,生产46种主要再制造产品,每年的销售额超过530亿美元。其中,汽车零部件再制造达360亿美元,雇员30多万人,在动力车供货市场中70%~90%是再制造产品。此外,德国、法国、日本等国家的再制造业发展态势很好<sup>[48-49, 56-58]</sup>。

在我国,再制造技术理论研究时间还不长,从事商业性再制造的企业还很少。1999年徐滨士首次在国内提出了“再制造”的概念。2000年《绿色再制造工程及其在我国应用的前景》从工程学的角度分析了再制造工程的地位、作用、学科构成及关键技术,展望了再制造工程在我国应用的前景。与此同时,国内一些高校和科研院所也相应进行了再制造的研究,如农业部农业机械维修研究所开展了“农用拖拉机再制造研究”;上海交通大学与美国通用、福特汽车公司合作开展了轿车的回收再制造研究。目前,全球再制造企业已经高达7.3万多家,而我国专门从事再制造的企业仅有少数几家,且主要集中在汽车发动机的再制造上,如济南复强动力有限公司、上海大众、中国一汽、玉柴等,其比例与我国的制造大国身份极不匹配。2006年卡特彼勒公司(Caterpillar Inc.)与中国政府签署了一项协议,成为首家获准从事再制造业的外国公司,重点领域为废旧零件和机器的再制造<sup>[48-49, 56-58]</sup>。

我国矿山机械再制造业刚刚起步,装甲兵工程学院经过长期探索和实践,从装备再制造设计基础、装备再制造关键技术、装备再制造质量控制、装备应急维修等方面,发展了较为完善的装备再制造工程学科体系,并与新汶矿业集团合作开展了矿山设备再制造工作<sup>[59-60]</sup>。

可见,对废旧矿山机械中的可再制造零部件,通过吸纳包括先进表面工程技术在内的各种新技术、新工艺,实施再制造加工或升级改造生成性能等同或者高于原产品的再制造产品,前景光明。

## 4 结 语

(1) 环境友好型采、掘、运输、提升、支护、装载等矿山机械的研究与开发是矿山可持续发展与建设绿色矿山的基本要求。矿山机械的振动与噪声、渗透或泄漏的非生物降解液压油、润滑剂及由于回收再制造率低等引起的生态环境和生态平衡的破坏已广为人知,随着采掘、运输、提升、支护、装载等矿山机械向高速、高压和大功率方向的发展,其振动噪声、泄漏、污染及回收再制造尤显重要和意义重大。因此,开展环境友好型矿山机械相关领域的理论与试验研究、开发环境友好型矿山机械意义重大,迫在眉睫,这也是矿山可持续发展与建设绿色矿山的基本要求。

(2) 低泄漏或工作介质低(无)污染是彻底改变矿山环境脏乱差现象、创建洁净矿山和满足矿山可持续发展需要的重要条件之一。随着以实现液压系统的超低泄漏甚至不泄漏为目标的密封系统理论与技术研究的深入和推广应用、水液压传动矿山机械的开发及植物油、聚乙二醇等可生物降解的液压液在矿山液压系统中大力推广应用甚至强制使用,矿山环境将越来越洁净。

(3) 矿山机械及矿山环境中的噪声尤其是矿山井下噪声形势依然特别严峻,噪声对长期工作在矿山环境中矿工的身心健康已经产生了严重影响,国内外学者、工程技术人员对矿山机械动力噪声、机械振动噪声、流体工作过程噪声机理及噪声隔离技术和消声器开发设计等方面做了大量工作,矿山环境噪声得到了



有效控制。随着噪声机理研究的不断深入,新技术、新结构、新产品的不断出现,及加工精度的不断提高,矿山机械及环境噪声必将进一步得到有效控制。

(4) 矿山企业中超期服役设备之众,大型设备之大,淘汰报废设备之多熟为人知,尽管刚刚起步,但有如汽车发动机再制造业的技术与经验借鉴,矿山机械再制造业一定前景光明,不仅节能、节材、环保,矿山废旧机械产品的性能将得到跨越式提升。

#### 参考文献:

- [1] 陆 军. 机械工程环境技术与可持续发展 [J]. 中国机械工程, 2000, 11 (1): 227 - 230.  
Lu Jun. Machinery engineering in sustainable development [J]. China Mechanical Engineering, 2000, 11 (1): 227 - 230.
- [2] 杨曙东, 李壮云, 朱玉泉. 水压传动的主要课题与研究进展 [J]. 中国机械工程, 2000, 11 (9): 1 070 - 1 073.  
Yang Shudong, Li Zhuangyun, Zhu Yuquan. The main projects and development status of raw water hydraulics [J]. China Mechanical Engineering, 2000, 11 (9): 1 070 - 1 073.
- [3] 王艳东, 展 军. 液压控制系统故障及其诊断 [J]. 设备管理与维修, 2007 (2): 22 - 23.  
Wang Yandong, Zhan Jun. Fault diagnosing of hydraulic control system [J]. Plant Maintenance Engineering, 2007 (2): 22 - 23.
- [4] 长江液压技术研究所. 零泄漏低摩擦密封系统 [OL]. <http://www.51seal.com/Html/news/3929643.html>, 2007 - 12 - 01.  
Changjiang Hydraulic Technique Institute. No leak and low friction seal system [OL]. <http://www.51seal.com/Html/news/3929643.html>, 2007 - 12 - 01.
- [5] 密封件技术的创新发展 [OL]. <http://www.yeqiya.com/article/news/1681-4.html>, 2007 - 12 - 02.  
The innovating developing of hydraulic seal component [OL]. <http://www.yeqiya.com/article/news/1681-4.html>, 2007 - 12 - 02.
- [6] 杨曙东, 李壮云. 水压传动技术及其发展前景 [J]. 中国机械工程, 2000, 11 (S0): 36 - 41.  
Yang Shudong, Li Zhuangyun. Water hydraulic transmission technology and it's development foreground [J]. China Mechanical Engineering, 2000, 11 (S0): 36 - 41.
- [7] 杨华勇, 沙道航, 张 祺. 纯水液压传动的应用与研究新进展 [J]. 机床与液压, 1998 (4): 3 - 5.  
Yang Huayong, Sha Daohang, Zhang Qi. New advance in application and research of water hydraulics [J]. Machine Tool & Hydraulics, 1998 (4): 3 - 5.
- [8] 赵昱东. 水液压传动技术及其在矿山机械中应用展望 [J]. 矿山机械, 2004 (9): 90 - 92.  
Zhao Yudong. Water hydraulic transmission technology and it's application foreground in ming machine [J]. Mining & Processing Equipment, 2004 (9): 90 - 92.
- [9] Department of intelligent and automation, research/water hydraulics [OL]. [http://www.iha.tut.fi/research/waterhydraulics/Introduces of Department of Intelligent and Automation of Tampere University of Technology](http://www.iha.tut.fi/research/waterhydraulics/Introduces%20of%20Department%20of%20Intelligent%20and%20Automation%20of%20Tampere%20University%20of%20Technology), 2007 - 12 - 12.
- [10] 我校水液压技术的研究取得重大进展 [OL]. <http://www.hust.edu.cn/hot/news.html>, 2007 - 12 - 14.  
Come to the top achievement at water hydraulic transmission technology in our school [OL]. <http://www.hust.edu.cn/hot/news.html>, 2007 - 12 - 14.
- [11] 黄良沛, 康煜华, 伍先明. YST25 水压凿岩机配流阀的性能研究 [J]. 湖南科技大学学报 (自然科学版), 2003, 18 (3): 49 - 52.  
Huang Liangpei, Kang Yuhua, Wu Xianming. The research of control valve about YST25 hydraulic rock drill machine [J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2003, 18 (3): 49 - 52.
- [12] 伍先明, 刘德顺. 水压凿岩机的结构设计及试制 [J]. 机床与液压, 2007, 35 (5): 119 - 121.  
Wu Xianming, Liu Deshun. The structure design and manufacture of hydraulic rock drill [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2007, 35 (5): 119 - 121.
- [13] 苍秋菊. 植物油用做液压油基础油的研究 [J]. 润滑油, 2000, 15 (4): 54 - 58.  
Cang Qiuju. Research of vegetable oils for the bases tock of hydraulic fluids [J]. Luicating Oil, 2000, 15 (4): 54 - 58.

- [14] Marcelle C McManus, Geoffrey P Hammond. Life cycle assessment of alternative hydraulic fluids for municipal cleaning equipment [A]. Proceedings of the 48th National Conference on Fluid Power [C]. Chicago, USA, 2000: 21 - 28.
- [15] Nils C Flster, Hans-Heinrich Harms. Monitoring system for online observation of oil properties and evaluation of the condition of biodegradable fluids [A]. Proceedings of the 48th National Conference on Fluid Power [C]. Chicago, USA, 2000: 39 - 47.
- [16] Patrick Laemmle, Panolin A G. Biodegradable hydraulic fluids and UTTO-lubricants [A]. Proceedings of the 49th National Conference on Fluid Power [C]. Las Vegas, Nevada, USA, 2002: 497 - 502.
- [17] Joseph M Perez, Kraipat Cheenkachorn, Wallis A Lloyd. A comparison of some biodegradable hydraulic fluids and engine oils [A]. Proceedings of the 49th National Conference on Fluid Power [C]. Las Vegas, Nevada, USA, 2002: 503 - 509.
- [18] 刘伟, 张天胜. 环境友好润滑脂的研究现状和发展前景 [J]. 润滑油, 2005, 20 (2): 26 - 29.  
Liu Wei, Zhang Tiansheng. Researching status and it's development foreground of environmental friendly lubricants [J]. Lubricant Oil, 2005, 20 (2): 26 - 29.
- [19] 陈丹. 生物可降解液压油 [J]. 液压气动与密封, 2004 (5): 9 - 11.  
Chen Dan. Biological degradatable hydraulic oil [J]. Hydraulics Pneumatics & Seals, 2004 (5): 9 - 11.
- [20] 曹月平, 赵荟馨. 生物降解液压油 [J]. 润滑与密封, 2002 (5): 77 - 79.  
Cao Yueping, Zhao Huixin. Biodegradable hydraulic fluid [J]. Lubrication Engineering, 2002 (5): 77 - 79.
- [21] 王东. 浅析脂肪酸酯液压油的性能特点及应用 [J]. 液压气动与密封, 2002, 94 (4): 32 - 34.  
Wang Dong. On analysis features and application of organic synthetic ester [J]. Hydraulics Pnenmatics & Seals, 2002, 94 (4): 32 - 34.
- [22] 我国煤矿职业安全卫生现况分析 [OL]. [http://www.aqtd.cn/aqlw/HTML/116322\\_4.html](http://www.aqtd.cn/aqlw/HTML/116322_4.html), 2007 - 12 - 10.  
Occupational safety and sanitation status analysing in china coal mine [OL]. [http://www.aqtd.cn/aqlw/HTML/116322\\_4.html](http://www.aqtd.cn/aqlw/HTML/116322_4.html), 2007 - 12 - 10.
- [23] 曹渝, 周舟, 文迪, 等. 湖南煤矿工人心理安全感的影响因素及提升策略 [J]. 企业家天地, 2007 (3): 125 - 128.  
Cao Yu, Zhou Zhou, Wen Di, et al. Study on influence factors of Hunan coal miner psychology safety and it's upgrading strategy [J]. Enterpriser Garden Plot, 2007 (3): 125 - 128.
- [24] 煤矿安全状况 [OL]. <http://www.coalinfo.net.cn/safety/fa/f4.html>, 2007 - 12 - 14.  
Status on coal mine safety [OL]. <http://www.coalinfo.net.cn/safety/fa/f4.html>, 2007 - 12 - 14.
- [25] 黄意府, 王清海, 黄鲜华. 某露天矿山噪声作业工人听力损害调查 [J]. 应用预防医学, 2007, 13 (2): 87 - 88.  
Huang Yifu, Wang Qinghai, Huang Xianhua. Investigating on mineworker's audition harm from noise of a open air mine [J]. Journal of Applied Preventive Medicine, 2007, 13 (2): 87 - 88.
- [26] 白胜利, 范文琴, 王明州, 等. 矿山设备噪声与高血压相关性的调查研究 [J]. 中国医学理论与实践, 2007, 17 (1): 115 - 116.  
Bai Shengli, Fan Wenqin, Wang Mingzhou, et al. Investigating on the relativity of mine equipment noise with hypertension [J]. Theory and Practice of Chinese Medince, 2007, 17 (1): 115 - 116.
- [27] 叶义华. 矿山井下噪声污染特点及噪声治理 [J]. 噪声与振动控制, 1996 (2): 34 - 37.  
Ye Yihua. Study on noise pollution characteristic and noise control in mine laneway [J]. Noise and Vibration Control, 1996 (2): 34 - 37.
- [28] 李晓豁, 姚继权. 采煤机参数与工作面噪声关系的数学模型 [J]. 黑龙江科技学院学报, 2006, 16 (5): 282 - 284.  
Li Xiaohuo, Yao Jiquan. Mathematic model of relation of shearer parameters to noise on coalface [J]. Journal of Heilongjiang Institute of Science and Technology, 2006, 16 (5): 282 - 284.
- [29] 王荣杰, 陈虹微. 气动凿岩机噪声机理分析及改进 [J]. 矿山机械, 2006, 34 (6): 36 - 37.  
Wang Rongjie, Chen Hongwei. Analysis to the noise mechanism of the pneumatic rock drill and the improvement [J]. Mining & Processing Equipment, 2006, 34 (6): 36 - 37.
- [30] 宋霖, 高理福. 气动凿岩机噪声源的分析 [J]. 噪声与振动控制, 2006 (2): 75 - 78.  
Song Lin, Gao Lifu. The noise source analysis of pneumatic rock drill [J]. Noise and Vibration Control, 2006 (2): 75 -

78.

- [31] 周广林, 陈心昭, 陈 剑. 矿井通风系统噪声产生的机理及噪声控制途径 [J]. 噪声与振动控制, 2002 (2): 39 - 42.  
Zhou Guanglin, Chen Xinzhaoh, Chen Jian. Generating mechanisms of noise in mine ventilation system and controlling ways of the noise [J]. Noise and Vibration Control, 2002 (2): 39 - 42.
- [32] 张一健. 罗茨鼓风机创新结构设计及噪声治理 [J]. 通用机械, 2007 (3): 77 - 80.  
Zhang Yijian. Innovate structure designing and it's noise control of roots blower [J]. General Machinery, 2007 (3): 77 - 80.
- [33] PTMC of Bath University. Active control of fluid borne noise [OL]. <http://www.bath.ac.uk/ptmc>, 2007 - 12 - 05.
- [34] Ericson L, Ivander J, Palmberg J O. Flow pulsation reduction for variable displacement motors using cross-angle [A]. Proceedings of Power Transmission and Motion Control 2007, PTMC [C]. Bath University, UK, 2007: 103 - 116.
- [35] Ericson L, Palmberg J O. The source admittance method for pumps with complex outlet channels [A]. Proceedings of the 10th International Conference on Fluid Power, SICFP07 [C]. Tampere, Finland, 2007: 279 - 293.
- [36] Kim B H, Williams D R, Emo S, et al. Modeling pulsed-blowing systems for flow control [J]. American Institute of Aerospace & Aerodynamics, 2005, 43 (2): 314 - 325.
- [37] Sever A C, Rockwell D. Oscillations of shear flow along a slotted plate; small-and large-scale structures [J]. Journal of Fluid Mechanics, 2007, 530: 213 - 222.
- [38] 王庆丰. 液压控制元件流体噪声控制的研究进展 [J]. 流体传动与控制, 2003 (1): 23 - 25.  
Wang Qingfeng. Research development on fluid noise control of hydraulic control component [J]. Fluid Power Transmission & Control, 2003 (1): 23 - 25.
- [39] 谷树朋, 张福林, 芦政军. 采煤机液压系统噪声的分析与控制 [J]. 煤炭技术, 2004, 23 (4): 21 - 23.  
Gu Shupeng, Zhang Fulin, Lu Zhengjun. Analysis and control of the hydraulic system noise of coal excavator [J]. Coal Technology, 2004, 23 (4): 21 - 23.
- [40] Samir Ziada. Control of fluid-structure-sound interaction mechanisms by means of synthetic jets [J]. JSME International Journal (Series C), 2003, 46 (3): 873 - 880.
- [41] Wolfe D, Ziada S. Feedback control of vortex shedding from two tandem cylinders [J]. Journal of Fluids and Structures, 2003 (17): 579 - 592.
- [42] 王 雷, 宋维源, 李 吉. 振动筛噪声机理分析与研究 [J]. 煤矿机械, 2004 (8): 27 - 29.  
Wang Lei, Song Weiyuan, Li Ji. The analysis and study of vibration sift noise mechanism [J]. Coal Mine Machinery, 2004 (8): 27 - 29.
- [43] 王正浩. 振动筛噪声的分析与控制 [J]. 矿山机械, 1985 (1): 26 - 31.  
Wang Zhenghao. The analysis of vibration sift noise and it's noise control [J]. Mining & Processing Equipment, 1985 (1): 26 - 31.
- [44] 张广勋. 矿用通风机节能技术分析与探讨 [J]. 矿山机械, 2006, 34 (6): 57 - 59.  
Zhang Guangxun. The analysis of mine fanner energy-saving technology [J]. Mining & Processing Equipment, 2006, 34 (6): 57 - 59.
- [45] 吴建明. 国际粉碎工程领域的新进展 [J]. 有色设备, 2007 (1): 4 - 7.  
Wu Jianming. Recent development of comminution engineering in the world [J]. Non-Ferrous Metallurgical Equipment, 2007 (1): 4 - 7.
- [46] “大型动力机械设备噪声隔离技术研究” 通过专家鉴定 [OL]. [http://www.sdust.edu.cn/news\\_show.php?id=2514](http://www.sdust.edu.cn/news_show.php?id=2514), 2007 - 12 - 09.  
Study on large-scale mechanical noise segregating technology pasings experts appraisal [OL]. [http://www.sdust.edu.cn/news\\_show.php?id=2514](http://www.sdust.edu.cn/news_show.php?id=2514), 2007 - 12 - 09.
- [47] 侯存伦, 唐 亮, 高学军, 等. 矿用大型风机扩散消声器的研制 [J/OL]. 环境污染与防治, 2005 (3).  
Hou Cunlun, Tang Liang, Gao Xuejun, et al. Manufacturing of mine large-scale fanner diffuse muffler [J/OL]. Environment Pollution & Control, 2005 (3).

- [48] 徐滨士, 李仁涵, 梁秀兵, 等. 绿色再制造工程的进展 [J]. 中国表面工程, 2001, 14 (2): 1-4.  
Xu Binshi, Li Renhan, Liang Xiubing, et al. Progress of green remanufacture engineering [J]. China Surface Engineering, 2001, 14 (2): 1-4.
- [49] 高辉清. 我国需要加快发展再制造业 [OL]. <http://crmii.com.cn/news8.html>, 2007-12-25.  
Gao Huiqing. Remanufacture engineering must be developed rapidly [OL]. <http://crmii.com.cn/news8.html>, 2007-12-25.
- [50] 煤炭工业快速发展为矿山机械业提供机遇 [OL]. [http://news.machine365.com/arts/060612/96/116554\\_2.html](http://news.machine365.com/arts/060612/96/116554_2.html), 2007-12-16.  
It's a good chance for developing mining equipment as the rapid develop of coal industry [OL]. [http://news.machine365.com/arts/060612/96/116554\\_2.html](http://news.machine365.com/arts/060612/96/116554_2.html), 2007-12-16.
- [51] 戚天明. 从世界矿山机械发展趋势, 谈我国矿山机械的发展策略 [J]. 矿山机械, 2007, 35 (10): 6-18.  
Qi Tianming. Comment on the strategy to developing chinese mining and processing equipment industry in view of the development trends of the MPE [J]. Mining & Processing Equipment, 2007, 35 (10): 6-18.
- [52] 管荣根, 顾玲. 国内外矿山工程机械的现状与发展 [J]. 工程机械与维修, 2005 (4): 66-69.  
Guan Ronggen, Gu Ling. The status and development foreground of mining-construction machinery at home and abroad [J]. Construction Machinery & Maintenance, 2005 (4): 66-69.
- [53] 张艳. 矿山机械的绿色设计与分析 [J]. 机械设计与制造, 2005 (9): 167-168.  
Zhang Yan. The green mining machinery design [J]. Machinery Design & Manufacture, 2005 (9): 167-168.
- [54] 饶绮麟. 21世纪矿山机械的研究和开发 [J]. 矿冶, 2003, 13 (3): 1-4.  
Rao Qilin. Research and development of mining machinery in the 21st century [J]. Mining and Metallurgy, 2003, 13 (3): 1-4.
- [55] 沈惠霞, 朱真才, 翟亚军. 煤矿产品的绿色设计与绿色制造 [J]. 煤矿机械, 2004 (12): 3-5.  
Shen Huixia, Zhu Zhencai, Zhai Yajun. Green design and manufacture of mining machinery [J]. Coal Mine Machinery, 2004 (12): 3-5.
- [56] 徐滨士, 朱胜, 马世宁, 等. 装备再制造工程学科的建设和发展 [J]. 中国表面工程, 2003, 16 (3): 1-7.  
Xu Binshi, Zhu Sheng, Ma Shining, et al. Construct and development of equipment remanufacture engineering specialty [J]. China Surface Engineering, 2003, 16 (3): 1-7.
- [57] 徐滨士, 马世宁, 刘世参, 等. 绿色再制造工程设计基础及关键技术 [J]. 中国表面工程, 2001, 14 (2): 12-15.  
Xu Binshi, Ma Shining, Liu Shican, et al. Design foundation and key techniques of green remanufacture engineering [J]. China Surface Engineering, 2001, 14 (2): 12-15.
- [58] 朱胜, 徐滨士, 姚巨坤. 再制造设计基础及方法 [J]. 中国表面工程, 2003, 16 (3): 27-31.  
Zhu Sheng, Xu Binshi, Yao Jukun. Study on the foundation and method of remanufacturing design [J]. China Surface Engineering, 2003, 16 (3): 27-31.
- [59] 发展循环经济, 优化产业结构, 全力打造高效节约型矿区 [OL]. <http://www.sdcyc.com/showcyc.asp?id=3830&cid=116>, 2007-12-18.  
Developing circulating economy, optimizing industry framework, creating a high-efficiency and saving mine in full sail [OL]. <http://www.sdcyc.com/showcyc.asp?id=3830&cid=116>, 2007-12-18.
- [60] 田铨, 赵建民. 矿山机械绿色维修的探讨 [J]. 矿山机械, 2005, 33 (10): 81-83.  
Tian Chen, Zhao Jianmin. Study on green maintenance of mining equipment [J]. Mining & Processing Equipment, 2005, 33 (10): 81-83.