

刮板输送机中部槽的研究现状及展望

朱真才^{a,b},李剑锋^{a,b},彭玉兴^{a,b},沈刚^{a,b}

(中国矿业大学 a. 机电工程学院; b. 江苏省矿山机电装备重点实验室,江苏 徐州 221000)

摘要:中部槽是刮板输送机的关键部件,其磨损失效是造成刮板输送机故障多发、寿命缩短及其他配套设备无法正常运行的主要因素之一。叙述了中部槽在刮板输送机中的地位,分析了其磨损失效机理,介绍了新型耐磨材料以及表面强化技术在中部槽上应用的研究现状,展望了中部槽磨损改性方面的研究趋势。

关键词:中部槽;刮板输送机;耐磨材料;表面强化技术

中图分类号:TH117.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2020)01-0001-03

Research Status and Prospect of Middle Chute of Scraper Conveyor

ZHU Zhencai^{a,b}, LI Jianfeng^{a,b}, PENG Yuxing^{a,b}, SHEN Gang^{a,b}

(a. School of Mechanical and Electrical Engineering and b. Jiangsu Key Laboratory

of Mine Mechanical and Electrical Equipment, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221000, China)

Abstract: The middle chute is a key component in the scraper conveyor, and its wear is one of main factors which not only causes the frequent failure and has influence on its life. But also makes other auxiliary equipment cannot operate normally. This paper describes the status of the middle chute in the scraper conveyor, analyzes the mechanism for its wear failure, and introduces the research status of the application of new wear-resistant materials and surface strength in the middle chute. Finally, it also looks forward to the research trends of its modification.

Keywords: middle chute; scraper conveyor; wear-resistant materials; surface strengthening technology

0 引言

煤炭工业是与国家经济命脉密切相关的重要基础产业,它支撑着国民经济长期快速平稳发展。当前,中国的煤炭开采正朝着大规模、高产高效率的方向发展。因此,合理高效的煤炭开采和提升运输将对整个煤炭行业的影响积极而深远^[1]。综合采煤技术是高效开采煤炭的重要技术,是集支护、采煤、装载、运输等机械化作业为一体的生产技术。刮板输送机是高产高效机械化采煤的核心装备,主要由电动机、液力耦合器、减速器、联轴器、链轮、刮板、圆形链及多节中部槽构成,适用于长采距、宽断面、大采高综采工作面,承担着煤炭运输、采煤机运行导向以及液压支架推移支撑的重要任务。

中部槽是刮板输送机的关键构件之一,其表面受到煤矸石、刮板及刮板链的直接刮擦,会产生非常严重的磨损。长此以往,轻者会造成刮板输送机事故频发,使用寿命降低以及其他机构件无法运转,重者会引发十分严重

的灾难性后果。综上,中部槽的寿命决定着输送机的寿命和运输量^[2]。中部槽在全国年均废弃量达3240万节,消耗的钢材量在3.7~4.9万t之间,造成1.29~1.7亿元经济损失^[3]。为了提高中部槽的使用寿命,对中部槽耐磨技术的研究就显得尤为重要。本文叙述了中部槽在刮板输送机中的地位,分析其磨损失效机理,介绍了新型耐磨材料以及表面强化技术在中部槽上应用的研究现状,展望了中部槽磨损改性方面的研究趋势。

1 中部槽在刮板输送机中的地位

1) 造价

中部槽组成了刮板输送机机身,其质量和体积均占整机的80%左右^[4]。刮板输送机造价的一半以上集中在中部槽部件^[5]。

2) 维护维修

刮板输送机是否达到报废的标准,主要取决于中部槽的磨损严重程度。因为矿井下的空间比较狭小,更换报废

第一作者简介:朱真才(1965—),男,教授,博导,长期从事矿山机电装备领域的研究及矿山提升装备安全高效运行关键技术的科技攻关。“新世纪百千万人才工程”国家级人选,全国优秀科技工作者,江苏省有突出贡献的中青年专家,中国工程院院士候选人。现任中国工程机械学会常务理事、副秘书长,中国工程机械学会矿山机械分会常务理事、秘书长,煤矿专用设备标准化委员会提升设施分会副主任委员,中国煤炭学会煤矿机电一体化专业委员会副主任委员,江苏省煤矿机械工业协会副理事长。曾获国家技术发明二等奖、国家科技进步二等奖、孙越崎能源大奖、教育部科技进步一等奖、江苏省科技进步一等奖、中国煤炭工业科学技术一等奖、中国机械工业科学技术二等奖、国家安全生产科技成果二等奖、中国青年科技奖等奖项。

机件具有很多弊端,所以中部槽一旦磨损失效,就只能更换新的,而不允许在矿井下维修。因此整机的维护维修费用绝大部分用于中部槽^[6]。

2 中部槽磨损失效机理

中部槽的中板、底板以及两侧槽帮是磨损失效通常发生的部位。针对煤矸石、刮板、刮板链以及恶劣的井下工作环境对其产生的常见的磨料磨损、疲劳磨损、黏着磨损和腐蚀磨损等综合磨损^[7-8],相关学者在磨损机理方面进行了如下的研究:

荆源昌等人^[9]认为中部槽表面的磨损损失量与其承受的载荷不是呈线性变化的,当载荷达到某个临界值时,主要表现为磨料磨损,但当载荷超过这一临界值时,则表现为黏着磨损。赵运才等人^[10]对中部槽磨损特性的研究采用摩擦学系统分析的方法,探讨了中部槽磨损失效的类型及其影响因素。结果表明:中部槽摩擦系统由系统元素、元素的性质及元素的相互作用组成,确定了磨料磨损、腐蚀磨损是中部槽磨损失效的主要类型,重载时可能发生黏着磨损现象。史志远等人^[11]根据中板磨损形貌在不同工况下的变化特性,得出中板与物料的摩擦程度可存在3种区域:轻度区、中度区和重度区,其中轻度区主要为磨粒磨损,中度区主要为黏着和腐蚀磨损,重度区主要为疲劳磨损;刘白等人^[12]对热轧16Mn钢板制造的中部槽微观组织、硬度以及磨损表面形貌进行了研究,实验证明中部槽存在黏着磨损、疲劳磨损、磨料磨损和腐蚀磨损等混合复合磨损形式。

因此,为了有效控制中部槽的磨损,增加刮板输送机的使用寿命,需改善中部槽板材的耐磨性。

3 中部槽耐磨技术的研究现状

目前,制造中部槽的板材主要采用高锰钢16Mn和ZG30SiMn2。16Mn热轧钢板具有优良的焊接性能,但耐磨性较差,使得刮板运输机的平均过煤量仅50~70万t。相比于16Mn,ZG30SiMn2的使用寿命相对较高,过煤量能达到500~700万t,但是只能达到国外同类产品的一半,难以满足高产高效的发展需求。

许多厂家生产刮板输送机时通过加厚中部槽中板的厚度增加其使用寿命,然而仍然不能达到刮板输送机实际使用要求。因为除了效果不太明显之外,制造成本还大幅度增加。国内多半采用两种方法来增加中部槽抵抗磨损的能力:一是选择或者研制更加耐磨材料来替代传统钢板,另一个是对传统钢板进行表面强化处理。

3.1 耐磨材料

Hardox450和JFEH500等材料由于具有高硬度、良好的耐磨性,被引进使用,在一定程度上增加了刮板输送机的使用寿命。然而国外进口钢板成本较高,因此国内许多科研人员、厂家及研究机构开发出了多种新型的耐磨材料,比如:将NM360、NM400高强度耐磨耐蚀钢板作为制作中板的材料,硬度最高能达到HB400,且力学性能远高

于普通低合金钢。汾西矿业集团在中兴煤业、贺西煤矿、水峪煤矿等公司分别投入采用BTW1钢和NM360的中板用钢,研究发现:BTW1钢中板的使用寿命提高了4倍以上,且成本显著降低;石家庄冀凯科技开发的新型高强度耐磨合金用于制作槽帮,比传统槽帮的耐磨性提升了3~5倍;通方煤机改进了槽帮钢的化学元素配比还调整铸造的热处理工艺,除了将其强度提升了25%外,还提高了耐磨性能;张家口煤机研制了槽帮用铸钢ZG30MnSiMoRe,具有强度好、成本低、性能高等优势;除此之外,刘鉴卫^[13]选用球墨铸铁TNZ作为中板材料,其抵抗磨损的能力相比于16Mn提升了1.2倍。葛世荣等人^[14]研究对比中锰耐磨钢和马氏体耐磨钢的冲击磨损性能,分析了磨损形貌和磨损机理。结果发现中锰耐磨钢的耐冲击磨损能力明显优于马氏体耐磨钢,因此,采用中锰钢代替马氏体钢制造的中部槽中板,能有效提高刮板输送机的使用寿命;修玲芳等人^[15]采用国外先进的仪器对中碳合金钢中板材料进行综合热处理,增加了中部槽的使用寿命以及煤矿企业的经济效益;李广胜^[16]将厚度12mm的Mn13钢与厚度16mm的Q345钢上下堆叠焊接而形成的复合结构来作为中部槽中板材料,很好地解决了井下中部槽易磨损的问题,提高了安全性;刘白等人^[12]将冷轧钢板40Mn2制作的中部槽投入使用,使用后发现磨损情况较轻,耐磨性能显著;樊建军等人^[17]开发出低碳高合金铸钢,替代ZG30MnSi,使用发现使用寿命大幅度增加;梁立勋^[18]采用改性MC尼龙制成的SGW-40T新型材料制造的中板,质量约为现用金属中板的1/4,具有较好的综合力学性能、耐腐蚀、耐磨损且低成本。

3.2 表面强化技术

中部槽常用的表面强化工艺有搪瓷处理、普通热处理(表面淬火等)、化学热处理(渗硼、渗碳、渗氮及碳氮共渗等)、堆焊及熔覆技术等方法。然而,搪瓷处理工艺复杂且容易导致中板变形,普通热处理工艺相对复杂但耐磨效果较小,化学热处理对设备的要求比较高。因此,比较普遍使用的方法是堆焊技术和熔覆技术。表面强化技术具有较好的经济优势,易于实现对中部槽的现场修复,在一定程度上提高了中部槽的使用寿命。

1) 堆焊技术

堆焊技术是耐磨合金粉末在高能热源加热的条件下,迅速熔化并形成耐磨涂层于普通碳钢板材上,有效提高了中部槽的使用寿命。堆焊可以节省设备维护成本和减少维修时间,降低故障率和事故处理时间,并减轻工人的劳动强度,在增强矿山机械设备耐磨性领域得以推广应用。哈尔滨焊接研究所和张家口煤矿机械厂合作成功研制出了碳弧堆焊技术,采用Fe-05耐磨粉块碳弧堆焊中部槽,在饰郛矿以及唐山矿井下使用后,数据显示使用寿命提高了1倍以上,经济效益较好;1985年南京煤矿机械厂针对改善中部槽中板端部中央链道磨损问题,成功设计出了半自动氧-乙炔喷焊生产线来强化中部槽中板,该生产线具有高效率、低劳动强度、质量高的堆焊层;云冈矿从1992年起与中国矿业大学合作研制出了KD-1型、KD-2型(EDCrWB型)耐磨堆焊焊条并设计出合适的堆焊工艺,

进行大面积堆焊新的或旧的 SGB-764/264 型输送机中部槽中板表面,使得中部槽使用寿命大幅度提高,经济效益显著;1993 年 3 月份在徐庄矿井下使用的堆焊后的中部槽比未堆焊的中部槽耐磨性提升了 12.5 倍;神华宁煤集团的羊场湾煤矿采用 M3 系列钢板表面堆焊 6 mm 的高铬铸铁碳化复合耐磨板作为中部槽中板材料,使用仅 7 个月,过煤量达到 170~180 万 t,表面仅磨损了 0.3~0.4 mm;石嘴市凝力机械设备有限公司采用经堆焊技术处理的碳化铬耐磨复合钢板制作的刮板输送机中部槽,减少了刮板输送机的维修和更换周期;安徽矿机在煤炭工业厂家废弃的中部槽上将成本低廉的耐磨块堆焊在磨损严重部位,使修复好的中部槽能够重复利用,结果证实,效果十分显著;山西焦煤霍州煤电集团采用自动堆焊耐磨层于 40Mn2 冷轧钢表面形成复合耐磨材料,并在庞庞塔煤矿中使用该材料作为 14-31010 综采工作面 SGZ-1000/1050 型刮板输送机中部槽。通过近 1 年的记录观察,发现该材料的平均磨损约 1.5 mm,有效保障了井下煤炭的运输能力;另外,在刮板机运行过程中,为了确保刮板与中板能够均匀磨损,且尽量减少堆焊时产生的热变形及成本,厂商和学者通过长期的研究,设计了人字式、长条式、方格式以及菱形式 4 种耐磨花样堆焊。迟利锋等人^[19]提出可采用耐磨焊丝堆焊磨损量较小的中板,同时采用网格状堆焊加强的方法修复中板其他部位,可有效提高中板使用寿命,减少维修费用及开采成本;张小凤^[20]在灵新煤矿上使用了神华宁煤集团的断续菱形花纹焊道技术工艺改性后的中部槽中板,1 年后发现堆焊后的中板使用寿命延长了 1 倍以上。

2) 熔覆技术

等离子熔覆与激光熔覆技术都是在中部槽易磨损部位,通过等离子束或激光束将合金粉末加热,冷却后形成与基材冶金结合的耐磨耐腐蚀的特殊涂层,以此来保护中部槽基体永不磨损。裴中爱等人^[21]在普通中部槽表面等离子熔覆了一层耐磨涂层,结果使中部槽的使用寿命大大延长;刘鸣放^[22]使用自主研发的 IGS-600 型手持式等离子表面熔覆设备,在中板表面熔覆了高硼 Fe-Cr 合金层,比基材的耐磨性提升了 5.4 倍,投入工作后的使用寿命延长了 2~3 倍;静丰羽^[23]在中部槽表面采用等离子熔覆注射 B₄C 的方式制备出条状 Fe 基耐磨涂层,分析了其显微组织,并经实验验证得出,在相同工况下,处理后的中部槽相比于传统的使用寿命增加了 5~7 倍;王全安等人^[24]在煤矿用刮板输送机中部槽易磨损部位等离子熔覆 Fe-Cr-B-Si 合金涂层,并分析了其磨损机制,结果表明熔覆层的磨损机制为微切削磨损,是基材耐磨性的 5.4 倍;吴玉萍等人^[25]采用等离子熔覆工艺在 16Mn 钢基材上制备出碳化钨增强镍基复合涂层,硬度达 1100 HV,寿命提高了 3~5 倍;尹发顺等人^[26]采用等离子熔覆技术在 NM450 中部槽中板上熔覆了 Fe-C-Nb-Mo 涂层,中板磨损机理从磨粒和黏着磨损转变为轻微划伤,摩擦学特性显著提升;彭朝霞^[27]提出应用等离子熔覆技术增强中部槽中板,能较好地提升中部槽的抗磨损能力,延长使用寿命且降低成本;山东能源重型装备制造集团在 730 刮板输送机中部槽中板上激光熔覆自行研制的 WC 增强镍基复合涂层,在

过煤量 10 万 t 后,涂层整体外观良好,仅存在少量磨损损耗;潘兴东等人^[28]研究了激光熔覆涂层强化中板。结果显示:基体的耐磨性通过熔覆层显著提升,还研究了在磨损过程中载荷、速度等因素对熔覆层的摩擦磨损产生的影响;李剑锋等人^[29]采用激光熔覆系统以合适的工艺在中部槽中板表面成功制备出碳纤维增强 Fe-Cr-C-B 复合涂层,涂层内还原位生成了 (Cr, Fe)₇C₃、B₄C 等增硬相,硬度和耐磨性相比于中部槽基体分别增加了 5 倍和 3 倍左右,而且涂层还表现出良好的润滑性。

4 研究展望

在刮板输送机煤炭开采过程中,中部槽受到刮板、刮板链以及煤散料的剧烈摩擦,很容易磨损失效,严重降低煤炭开采的产量和效率,造成难以估算的经济损失。根据有关数据表明,用新的耐磨材料来替代普通合金钢板制造中部槽,其效果明显好于表面强化处理后的普通钢板,然而需要人为投入的精力和资金也是不可忽视的问题。若要兼顾经济成本和耐磨效果,采用表面强化技术来增强中部槽耐磨具有更好的发展前景。然而,表面强化技术处理后的中部槽使用效果不如耐磨材料,因此研制出更加耐磨、更长使用寿命的熔覆涂层是需要解决的关键问题,这样才能保证表面强化后的中部槽在煤炭开采过程中高效运行。

5 结语

在煤炭开采过程中,由于刮板输送机中部槽受到煤矸石、刮板、刮板链以及腐蚀介质的磨损作用,使得使用寿命极大缩短。采用新型耐磨材料替换普通钢板和表面强化处理技术能大大提高中部槽的耐磨性及使用寿命,然而出于成本的考虑,表面强化技术是首选。

参考文献:

- [1] 王显政. 煤炭行业发展形式报告[R]. 北京:中国煤炭工业协会,2016.
- [2] 孟国营,程晓涵. 我国矿用刮板输送机技术现状及发展分析[J]. 煤炭工程,2014, 46(10):58-60.
- [3] 史志远. 重载刮板输送机中部槽磨损形态及成因研究[J]. 煤矿机电,2016(3):46-48.
- [4] A.R. BROADFOOT, R.E. BETZ. Power requirement prediction for armoured face conveyors[J]. Trans. Inst. Min. Metall. Sect. A-Min.Technol, 2000, 109:93-101.
- [5] 张慧鹏. 煤矿刮板输送机的磨损及其抗磨技术的探讨[J]. 山东煤炭科技, 2017,12:134-135,138.
- [6] 孙玉宗,于洪爱,李惠琪,等. 刮板输送机中部槽等离子熔覆合金涂层技术[J]. 煤矿机械,2007,28(9):112-113.
- [7] 侯壮壮. 新型复合耐磨材料在刮板输送机中部槽上的实践[J]. 山东煤炭科技, 2019(3):127-131.
- [8] 贾建军. 综采工作面刮板输送机磨损失效分析及对策[J]. 江西煤炭科技, 2015(4):82-84.
- [9] 荆源昌,孟宪堂,陈华辉,等. 刮板输送机中部槽摩擦学的研究[J]. 润滑与密封,1983,37:26-33.

(下转第 15 页)

表2 小孔测量数据

序号	直径/ μm	圆度误差/ μm	锥度/ $(^\circ)$
1	2 637.5	6.245	5.166 0
2	2 629.4	10.108	5.586 0
3	2 605.1	12.401	6.039 4
4	2 621.8	3.927	4.756 1
5	2 618.5	4.199	3.958 6
6	2 641.0	1.057	6.639 4
7	2 618.3	9.335	5.063 2
8	2 599.7	10.754	3.148 1
9	2 632.0	2.944	5.131 4
10	2 612.2	13.94	3.901 5

4 结语

本文提出了超声辅助模板电解加工这一新方法,设计并制造了超声辅助模板电解加工专用夹具,并在以 TC4 材料的加工试验中证明了这一方法的可行性,探索出部分关键参数的影响规律。试验表明:超声辅助对电解加工有着良好的优化作用,超声频率越小、功率越大,则超声空化作用越强;超声辅助模板电解加工的最佳电解液温度为 45°C ,最佳电解液压力为 0.35 MPa 。通过参数优化后群小孔的锥度可以稳定控制在 5° 左右,圆度误差控制在

$15\text{ }\mu\text{m}$ 内,加工质量较好。

参考文献:

- [1] 王钦,李寒松,宫林超,等. 阵列群小孔活动模板电解加工技术研究[J]. 机械制造与自动化,2012,41(5):47-50.
- [2] LI H, WANG G, QU N, et al. Through-mask electrochemical machining of a large-area hole array in a serpentine flow channel [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology,2016,89:1-8.
- [3] LI H, GAO C, WANG G, et al. A study of electrochemical machining of Ti-6Al-4V in NaNO_3 solution [J]. Scientific Reports,2016(6):35-37.
- [4] A. Ruszaj, S. Skoczypiec, J. Czekaj, et al. Surface micro and nanofinishing using pulse electrochemical machining process assisted by electrode ultrasonic vibrations [C]. Proceedings of the 15th International Symposium on Electro-machining,2007:309-314.
- [5] S. Skoczypiec. Research on ultrasonically assisted electrochemical machining process[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology,2011,52:565-574.
- [6] MS Hewidy, SJ Ebeid, TA El-Taweel, et al. Modelling the performance of ECM assisted by low frequency vibrations[J]. Journal of Materials Processing Tech, 2007, 189:466-472.
- [7] A Osterman, M Dular, B Sirok. Numerical simulation of a near-wall bubble collapse in an ultrasonic field[J]. Journal of Fluid Science & Technology,2009(4):210-221.

收稿日期:2018-11-13

(上接第3页)

- [10] 赵运才, 庞佑霞. 刮板输送机中部槽磨损与磨蚀问题探讨[J]. 矿山机械,2000(5):55-56.
- [11] SHI Zhiyuan, ZHU Zhencai. Case study: wear analysis of the middle plate of a heavy-load scraper conveyor chute under a range of operating conditions[J]. Wear, 2017,(380/381):36-41.
- [12] 刘白, 曲敬信, 等. 煤矿刮板输送机 16Mn 钢中部槽的磨损失效分析[J]. 特殊钢, 2003(6):43-44.
- [13] 刘鉴卫, 王铁宝, 焦健, 等. 刮板机中部槽用贝氏体球铁组织与性能的研究[J]. 煤矿机械, 2009(3):45-47.
- [14] 葛世荣, 王军祥, 王庆良, 等. 刮板输送机中锰钢中部槽的自强化抗磨机理及应用[J]. 煤炭学报,2016,41(9):2373-2379.
- [15] 修玲芳, 李传磊, 张霞, 等. 弧形刮板输送机中部槽研究与应用[J]. 山东煤炭科技, 2013(1):57-58.
- [16] 李广胜. Mn13 钢在刮板机中部槽上的应用[J]. 矿山机械, 2014, 42(7):152-153.
- [17] 樊建军, 刘俊, 李建华, 等. 高可靠性中部槽制造工艺研究[J]. 太原科技大学学报, 2012,33(2):128-131.
- [18] 梁立勋, 周邦远, 陈显坤, 等. 改性 MC 尼龙 SGW-40T 刮板输送机中部槽的研制[J]. 煤矿安全,2002,33(12):41-42.
- [19] 迟利峰. 刮板输送机中部槽制造及修理工艺研究[J]. 山西焦煤科技,2017(1):9-11,15.

- [20] 张小凤, 霍伟亚. 断续菱形花纹焊道工艺在刮板输送机中部槽耐磨修复中的应用[J]. 中国煤炭, 2013(12):98-100.
- [21] 裴中爱, 王荣杰. 煤矿刮板输送机溜槽失效分析及改进[J]. 煤矿机械,2007,28(3):132-134.
- [22] 刘鸣放, 张兵权, 马宗彬. 手持式等离子熔覆刮板输送机中部槽的研究. 煤炭科学技术,2011(6):58-60.
- [23] 静丰羽. 等离子熔覆—注射 B_4C 熔覆层组织及性能的研究[D]. 郑州:郑州大学, 2013.
- [24] 王全安, 马宗彬, 和昆原. 中部槽等离子熔覆 Fe-Cr-B-Si 合金层耐磨性的研究[J]. 煤矿机械, 2011,32(10):206-207.
- [25] 吴玉萍, 刘立民. 常压等离子熔覆 $\text{FeCrSiB}+\text{TiC}$ 涂层研究[J]. 煤炭学报, 2001,26(4):414-417.
- [26] 伊发顺. 刮板机中部槽耐磨性的分析及改进[J]. 机械管理开发, 2019, 34:98-100.
- [27] 彭朝霞. 提高刮板输送机中部槽耐磨性的研究[J]. 山西焦煤科技,2015(4):52-53,57.
- [28] 潘兴东, 杜学芸, 李圣文, 等. 中部槽激光熔覆层磨损性能的研究[J]. 煤矿机械,2015, 36(6):88-90.
- [29] LI Jianfeng, ZHU Zhencai, PENG Yuxing, et al. In situ synthesized $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$ -reinforced composite coatings via laser cladding deposition of Fe-based alloys and carbon fibers[J]. Mater Eng and Perform, 2010(4):481-488.

收稿日期:2020-01-15