

引用格式:冯浩,朱美丽,郝国凯,等. 地下铲运机自动集中润滑系统的设计与应用[J]. 有色设备,2025,39(5):61-67.
FENG Hao, ZHU Meili, HAO Guokai, et al. Design and application of automatic centralized lubrication system for underground LHD[J]. Nonferrous Metallurgical Equipment,2025,39(5):61-67.

地下铲运机自动集中润滑系统的设计与应用

冯浩,朱美丽,郝国凯,刘宝荣,田志聪
(北京安期生技术有限公司,北京101399)

[摘要] 针对地下矿山工作环境恶劣,地下铲运机由于手动润滑方式存在诸多缺点和不足,出现设备高故障率与低可用性问题。本文以ACY514地下铲运机润滑系统为研究对象,依据润滑脂消耗与供给平衡方程,设计了一套自动集中润滑系统。实践应用表明,设计的自动集中润滑系统合理有效,设备润滑良好,显著降低了润滑保养时操作人员的劳动强度,有效减少因润滑不良产生的设备故障率。同时,针对本套自动集中润滑系统提出优化方案,使系统润滑更有效、维护保养更便捷。实践结果表明,优化后的系统不仅延长了关键部件寿命,提升了设备综合运行效率与可靠性,为同类设备的润滑技术升级提供了有效借鉴。

[关键词] 地下铲运机;手动润滑;自动集中润滑;润滑脂;优化

[中图分类号] TD422 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1003-8884(2025)05-0061-07

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2025.05.008

0 引言

随着长期大规模的开采,露天矿产资源储量逐渐趋于枯竭,其产量已不能满足社会对矿产资源日益增长的需求。为满足需求,矿产资源的开采逐渐由地上转为地下^[1]。国家对地下矿山的开采提出安全、绿色、智能化的发展要求,地下铲运机在地下矿山开采中具备机动、灵活、经济等优点,已经成为地下无轨采矿工程的主力设备,为此,该设备也朝着自动化、智能化方向发展^[2-4]。地下矿山开采工作环境恶劣、复杂,地下铲运机运动副润滑不及时,污水、粉尘和其他污染物会渗入运动副,这些污染物将加速运动副磨损,最终迫使地下铲运机停机维修。目前,随着地下铲运机技术的发展,设备部件和整机可靠性极大提高,运动副由于润滑不良造成的故障逐年递增,润滑系统逐渐被重视。润滑脂作为运动副润滑的主要介质,不仅可以润滑各运动副,还具备防水、防尘能力,起到良好的密封、散热、防锈及保护作用。润滑脂的加注要适量,当加注过少时,运动副表面之间将无法形成正常的润滑油膜,摩擦力增大,形成干摩擦或发生粘结,运动副过早磨损;当加注过

多时,运动副会由于散热不充分产生高温,加速润滑脂变质,降低润滑效果。

传统的地下铲运机润滑方式为操作人员用润滑脂枪向分散的润滑点单独加注,后来发展成手动集中润滑方式。这2种润滑方式由于地下巷道空间的局限性,造成操作人员劳动强度大、遗漏润滑点、润滑不及时等问题,使得地下铲运机各铰点润滑难以有效保证。为了改善润滑效果,提升设备的自动化,将自动集中润滑系统应用到地下铲运机上,不仅可以降低设备由于润滑不良的故障率,还可节省手动润滑的时间,提高生产效率。

1 自动集中润滑系统的特点

集中润滑系统分手动集中润滑系统和自动集中润滑系统两种,原理上均是将各润滑点通过润滑管路、接头引至铲运机便于集中加注润滑脂的分配器上。手动集中润滑系统指润滑脂注入需要操作人员从分配器上的黄油嘴点对点加注,直至从润滑点处观察到有润滑脂挤出,以此判断润滑点润滑良好并停止加注。自动集中润滑系统是指润滑脂注入通过控制器控制的油脂泵定时、定点、定量、定序地加

[收稿日期] 2025-06-16

[第一作者] 冯浩(1985—),男,河北定州人,工程师,硕士,主要从事地下矿山车辆研究与开发工作。

注^[5],控制器的参数设置是依据设备实际数据精确计算反向推导得到。

与传统的手动集中润滑方式相比,自动集中润滑系统主要有以下优势:①完全由控制器代替操作人员加注润滑脂,降低了操作人员的劳动负荷,提升了设备的有效作业率与整体自动化水平;②控制器控制润滑泵的运行时间和间隔时间,润滑周期准确,润滑及时;③润滑系统加注过程完全封闭,避免通过外露黄油嘴加注润滑脂时将污染物注入运动副造成的设备过早磨损;④采用递进式分配器,精确控制注入润滑脂量,达到适量加注,避免浪费,也减少过多加注润滑脂对环境的污染,同时每循环周期内,各润滑点依次进行润滑,避免了操作人员遗漏的风险;⑤递进式分配器系统具备监控能力,一旦系统中某一点发生堵塞,整个系统将立即停止加注润滑脂,从安全阀流回储油罐,及时发现并处理,避免遗漏某个铰点的润滑,从而提高地下铲运机的可靠性。

2 自动集中润滑系统的组成

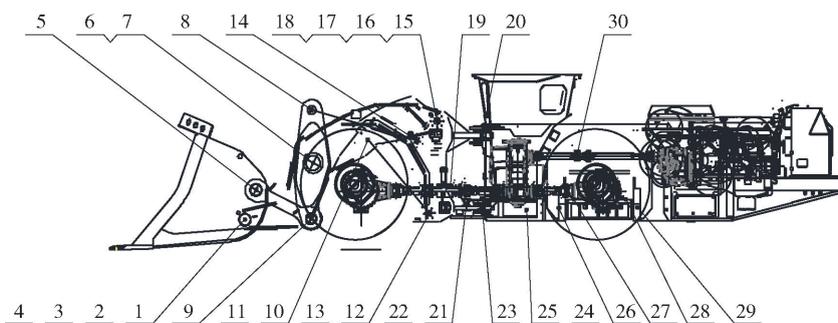
一般自动集中润滑系统主要由润滑泵、控制器、安全阀、递进式分配器、附件等组成。

1) 润滑泵由柱塞、马达、储脂罐及单向阀等部件组成。储脂罐负责存储润滑脂,马达负责提供动力源,柱塞吸入储脂罐的润滑脂并向系统压入,单向阀可阻止润滑脂从主油路中被抽回储脂罐。2) 控

制器也叫定时器,主要控制集中润滑系统的润滑周期,可以根据具体的设备和工作环境设定润滑泵的运行时长与间隔周期,以保证设备润滑脂消耗与供给平衡,有效避免过量润滑或润滑不足的现象。3) 安全阀起到保护系统工作压力和监控系统是否正常的作用,当管路因堵塞等原因导致系统内部压力超过限定最大压力时,润滑脂通过此安全阀溢流回储油罐。4) 递进式分配器属于串联式润滑,即每个循环周期内,分配器各润滑点依次进行润滑,如果某一出口堵塞,整个润滑系统将停止加注润滑脂,润滑系统的压力会升高,最终安全阀打开,能早期发现系统故障,避免设备润滑不良。分配器每个出口定量供给油脂,通过堵住一个出口,可以使润滑脂供给下一个出口,以此达到不同的供给量。供给量的调整还可以通过设置一级分配器、二级分配器来调整。递进式分配器设计的原理,其最末端1和2号出口不能堵塞,否则分配器将无法使用。5) 附件包括管路(柔性或刚性)、接头及管夹等,主要用于连接各润滑点、固定管路等。分配器出口接头均为单向阀,一方面保证系统的压力,另一方面为了防止润滑脂回流造成润滑泵堵塞等问题。

3 地下铲运机自动集中润滑设计

以安期生 ACY514 地下铲运机为研究对象,整机需要润滑保养的润滑点共有 30 个,详细位置可见图 1。



- 1、2、3、4 - 前机架与铲斗润滑点; 5 - 铲斗与连杆润滑点; 6、7 - 摇臂与大臂铰接润滑点; 8 - 倾翻油缸小腔润滑点; 9 - 摇臂与连杆润滑点; 10、11 - 左右举升油缸小腔润滑点; 12、13 - 左右举升油缸大腔润滑点; 14 - 倾翻油缸大腔润滑点; 15、16、17、18 - 前机架与大臂润滑点; 19 - 前桥固定传动轴润滑点; 20 - 前后机架上铰接润滑点; 21、22 - 左右转向油缸小腔润滑点; 23 - 前后机架下铰接润滑点; 24、25 - 左右转向油缸大腔润滑点; 26、27、28、29 - 摆动架润滑点; 30 - 双变固定传动轴润滑点

图 1 ACY514 润滑点示意图

Fig. 1 Schematic diagram of ACY514 lubrication points

在地下矿山严苛的作业环境下,狭窄的巷道空间与有限的润滑工具对地下铲运机的维护作业构成了严峻挑战。特别是,其多达30个润滑点的手动润滑作业,不仅单次耗时超过30 min,显著增加了操作人员的劳动负荷,直接导致了设备有效作业率的降低。针对这一问题,应用自动集中润滑系统可实现润滑作业的自动化,从而在根本上解决人工维护效率低下的问题,显著提升工作效率。

3.1 系统润滑脂消耗的计算

地下铲运机润滑点绝大部分属于销轴铰接,即可转化为滑动轴承润滑,滑动轴承润滑脂的消耗与其对应的销轴直径、轴套宽度、速度、润滑修正系数等参数相关,各铰点润滑脂消耗流量的经验公式为式(1)。

$$Q_i = C \times D_i \times B_i \times V \quad (1)$$

式中: Q_i 为各润滑点润滑脂消耗量, mL/h; i 为润滑点序号; C 为润滑系数,滑动轴承取值0.004,其他轴承取值0.006; D_i 为销轴直径, cm; B_i 为轴套或轴承与销轴接触的宽度, cm; V 为速度系数,低速取值1;传动轴高速取值2。

将铲运机铰点实际数据代入式(1)计算可得各润滑点润滑脂消耗量,其中由于转向油缸、倾翻油缸、举升油缸的轴承为关节轴承,传动轴轴承为圆锥滚子轴承,润滑系数取值为0.006,传动轴轴承的速度系数取值为2,其余为常规系数。为了便于后续自动集中润滑系统根据润滑点油量进行分组,将单个润滑点的消耗量由小到大排序,具体数据见表1。

表1 ACY514 润滑点油耗

Table 1 Fuel consumption of ACY514 lubrication points

润滑部位	润滑点序号	数量	单点油耗/(mL·h ⁻¹)	总油耗/(mL·h ⁻¹)	备注
转向油缸铰接	21、22、24、25	4	0.168	0.672	油耗最小
前后机架上铰接	20	1	0.231	0.231	
前后机架下铰接	23	1	0.242	0.242	
摆动架铰接2	27、29	2	0.242	0.484	
固定传动轴	19、30	2	0.3	0.6	
摆动架铰接1	26、28	2	0.321 2	0.642 4	
举升油缸铰接	10、11、12、13	4	0.33	1.32	
倾翻油缸铰接	8、14	2	0.504	1.008	
铲斗与大臂铰接	1、2、3、4	4	0.582 4	2.329 6	
大臂与前机架铰接	15、16、17、18	4	0.582 4	2.329 6	
铲斗与连杆铰接	5	1	0.644	0.644	
摇臂与连杆铰接	9	1	0.644	0.644	
摇臂与大臂铰接	6、7	2	1.250 6	2.501 2	油耗最大
合计		30	6.041 6	13.647 8	

3.2 自动集中润滑系统计算

润滑点注油量过多或过少均会对运动副产生不良影响。因此,自动集中润滑系统要保证各润滑点出油口的出油量与消耗量保持平衡,忽略各中间环节的损失,可得两者平衡方程:

$$\begin{cases} Q_j \geq \min Q_i \\ Q_{\text{泵}} = \sum_{j=1,2,\dots,30} Q_j \geq \sum_{i=1,2,\dots,30} Q_i \end{cases} \quad (2)$$

式中: Q_i 为各润滑点润滑脂消耗量, mL/h; $Q_{\text{泵}}$ 为润滑泵排量, mL/h; Q_j 为分配器与各润滑点对应的出

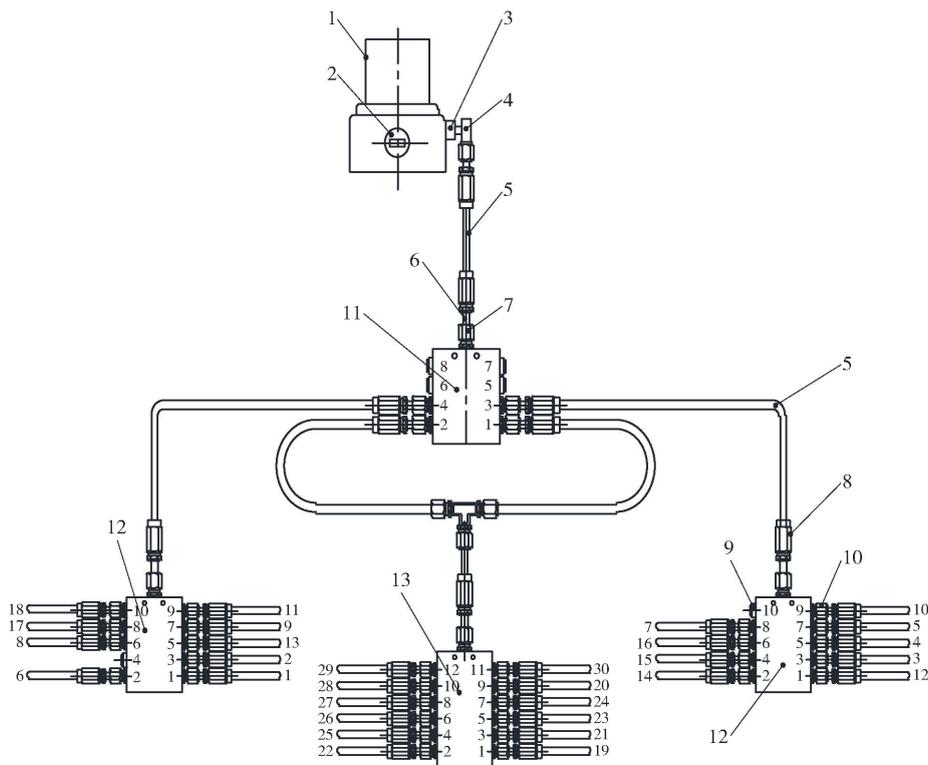
油口排量, mL/h。

根据表 1 可知, ACY514 地下铲运机 30 处润滑脂总油耗约为 13.65 mL/h, 选取标准型柱塞润滑泵, 其排量为 2.8 mL/min, 经计算取整得润滑泵每小时运行时间 6 min, 间歇时间 54 min, 则实际泵每小时的总排量为 16.8 mL/h。

地下铲运机按照每天 3 班、每班有效工作时间 6 h^[6], 将每天总的有效工作时间乘以泵的总排量 16.8 mL/h, 计算可得每天润滑泵消耗的润滑脂为 302.4 mL/d。市场上润滑泵油箱容量一般为 2 L、4 L、8 L 等, 考虑润滑脂变质时效及设备消耗, 选取 2 L 容积的油箱作为此地下铲运机的润滑泵, 按照加注 85% 容积的润滑脂, 同时保留 10% 容积作为安全库存, 计算得到加注润滑的周期为 4.96 d, 约为 5 d。

利用递进式分配器工作特点进行选型^[7], 自动

集中润滑系统设计成带有一级分配器、二级分配器的方案以提供不同的油量供给。根据表 1 润滑点油耗表, 首先确定二级分配器出油口单点最大输出排量, 考虑经济性、可靠性、一致性等因素, 将表 1 中最大单点油耗 1.25 mL/h 由二级分配器 2 倍排量出油口供给, 并将 2 个最大单点油耗分配到 2 个相同的分配器上, 则这 2 个分配器其余油口的出油量为 0.625 mL/h, 地下铲运机总润滑点 30 处, 故确定二级分配器为 2 件 SSV10、1 件 SSV12。经计算单个 SSV10 进油口排量为 6.25 mL/h, 占比泵总排量 16.8 mL/h 的 37.2%, 因此选取一级分配器为 1 件 SSV8。根据确定的分配器型号, 综合考虑油耗、结构设计、管路布局等因素, 将各润滑点分组, 并确定各二级分配器出油口对应的润滑点序号, 最终得到设计方案, 见图 2。



1 - 润滑泵; 2 - 电控板; 3 - 泵单元; 4 - 安全阀; 5 - 润滑管; 6 - 涨芯; 7 - 接头; 8 - 润滑管外套; 9 - 堵头; 10 - 单向阀组件; 11 - SSV8 一级分配器; 12 - SSV10 二级分配器; 13 - SSV12 二级分配器

图 2 ACY514 润滑设计方案示意图

Fig. 2 Schematic diagram of ACY514 lubrication design scheme

根据图 2 设计方案正向计算可得对应二级分配器润滑点的出油量, 将各润滑点耗油量与分配器供

给量合并进行对比, 验证方案的可行性, 具体数据见图 3。

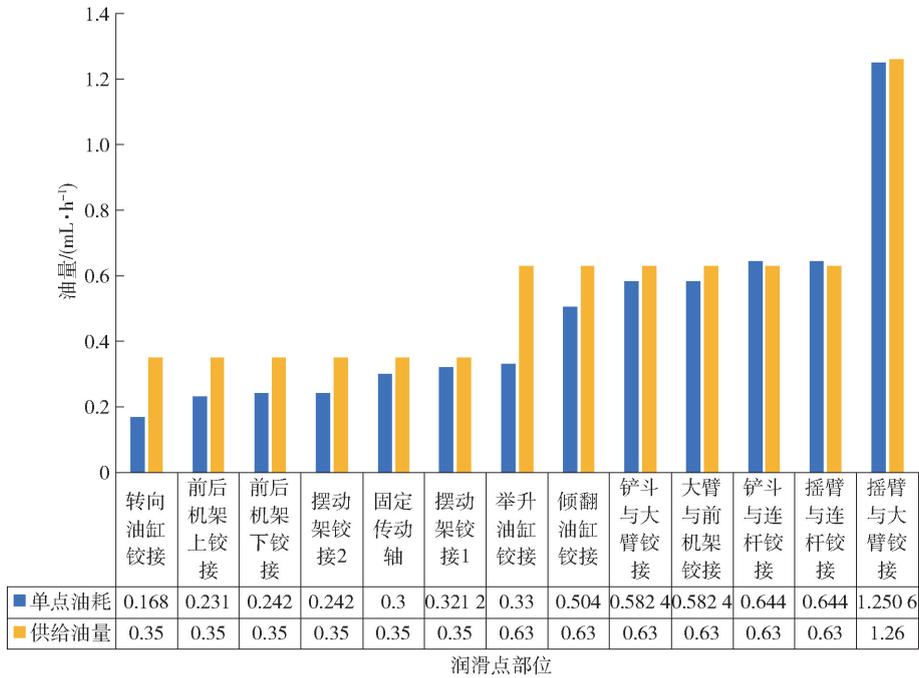


图3 润滑点耗油量与供给量对比

Fig. 3 Comparison of fuel consumption and supply at lubrication points

由图3可知,润滑脂的供需关系基本全部满足式(2),供需差别较大的主要是转向油缸和举升油缸,供需偏差均约1倍,主要原因可能是未考虑铰点的载荷冲击、旋转角度、轴承类型等。因此,铰点润滑脂消耗油量的经验公式(1)基本符合一般应用需求,对于工况条件差别较大的部位,实际计算时要综合考虑上述诸多因素。

将设计的自动集中润滑系统配置到ACY514地下铲运机上,在实际作业过程中各铰点获得了良好的润滑效果,提升了工作效率,降低了设备故障率,提高了设备的使用寿命,实践证明了设计方案的可行性。

4 地下铲运机自动集中润滑优化

尽管自动集中润滑系统优势显著,但在实际应用中亦存在一些局限性。1)地下铲运机在初次使用前,须对各润滑点进行预填润滑脂,预填润滑脂可在自动集中润滑安装前或安装完毕前进行,需要操作人员逐点或在分配器注油口进行预填;依靠润滑泵预填时,则需要地下铲运机怠速运行一段时间,同时调整润滑系统的运行时间,待各润滑点预填满润滑脂后恢复润滑系统的润滑周期设

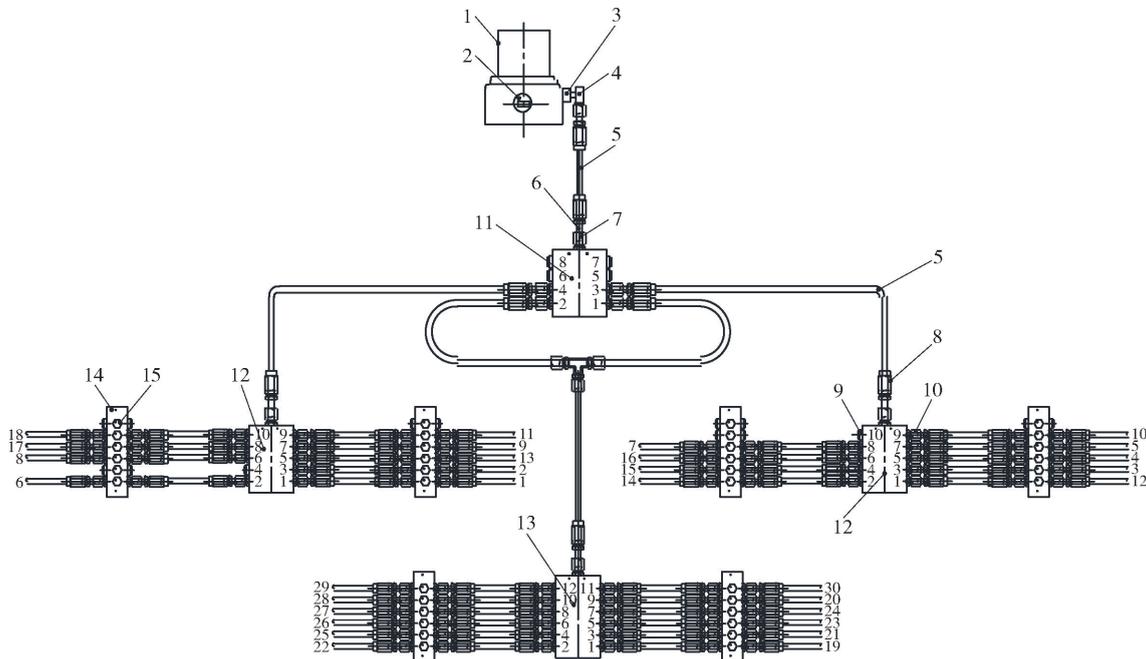
定,地下铲运机才能正常运行。2)地下铲运机在运行过程中,一旦自动集中润滑出现故障,需要润滑保养时只能停机,直至润滑系统排除故障后才能使用,影响了设备的可用性。3)自动集中润滑排除堵塞管路时,耗费的工作量较为繁琐等问题,增加了整体的维护成本。

为了规避上述不足,考虑将传统人工润滑和自动集中润滑结合,如图4所示。

由图4可见,优化方案通过在二级分配器出油口串联1个三通块,三通块上装配有黄油嘴,该设计使得系统初次预填润滑脂时,无需拆卸任何部件,操作人员可直接通过手动加注口完成,显著提升了调试效率。当自动集中润滑系统在井下发生故障时,可以临时使用人工润滑点进行设备的保养,确保地下铲运机各运动副的润滑良好,防止因缺油造成的二次损伤。该优化方案也能帮助操作人员快速锁定自动集中润滑系统堵塞位置,缩短了故障排查时间,从而显著提升了系统的整体可维护性与运行可靠性。

5 结语

针对地下铲运机由于手动润滑存在诸多缺点和



1 - 润滑泵; 2 - 电控板; 3 - 泵单元; 4 - 安全阀; 5 - 润滑管; 6 - 涨芯; 7 - 接头; 8 - 润滑管外套; 9 - 堵头; 10 - 单向阀组件; 11 - SSV8 一级分配器; 12 - SSV10 二级分配器; 13 - SSV12 二级分配器; 14 - 润滑三通块; 15 - 黄油嘴

图 4 ACY514 润滑优化方案示意图

Fig. 4 Schematic diagram of ACY514 lubrication optimization scheme

不足导致的设备故障率升高的问题,通过对比分析自动集中润滑系统的优点,以 ACY514 地下铲运机为例,研究设计了一套自动润滑系统,并提出了一套优化方案,研究结论如下。

1) 通过手动润滑和自动润滑的对比,证明自动集中润滑可以定时、定点、定量、定序的加注,能有效减小操作人员的劳动强度,提升工作效率,降低设备故障率,提高设备寿命,各方面远远优于手动润滑,是设备润滑发展的一种趋势。

2) 依据润滑脂消耗与供给平衡方程,通过实际参数代入得到各润滑点润滑脂的消耗,反向推导出自动集中润滑系统的各参数;将系统各参数进行正向计算各润滑点的供给量,通过供给量与耗油量进行对比,验证了方案的可行性。

3) 自动集中润滑系统实践应用到地下铲运机以来,各润滑点润滑效果良好,延长了各铰点销轴的寿命、有效降低了设备的故障率,证明设计的自动集中润滑系统合理有效,满足设备润滑需求。

4) 传统人工润滑和自动集中润滑结合优化方案,能更有效进行地下铲运机的润滑、维护保养、故障排查,为地下铲运机的高效、低维护成本运行提供了可靠的技术保障。

[参考文献]

[1] 古德生,李夕兵. 有色金属深井采矿研究现状与科学前沿[J]. 矿业研究与开发,2003(S1):1-5.
 [2] 刘欢,朱晓亮,孙中国. 地下铲运机应用现状及发展趋势探讨[J]. 矿业装备,2023(1):142-144.
 [3] 叶助青,赵金元. 略谈世界地下采矿设备的发展趋势[J]. 有色设备,2022,36(3):16-18,22.
 [4] 张方泽,赵金元. 略谈国内外地下铲运机自动化现状与发展趋势[J]. 有色设备,2020,34(4):96-99.
 [5] 潘艳君,张勇在,陈美英,等. 集中润滑系统在工程机械中的应用[J]. 工程机械,2012,43(9):39-42,115.
 [6] 成学东,张永彬,冯茂林,等. 规模化高效采矿地下无轨设备配套应用研究[J]. 有色设备,2015(3):41-44,51.
 [7] 黄意业,姬鹏举. 集中润滑在装载机上的应用设计[J]. 建设机械技术与管理,2015,28(3):83-86.

Design and application of automatic centralized lubrication system for underground LHD

FENG Hao, ZHU Meili, HAO Guokai, LIU Baorong, TIAN Zhicong
(Beijing Anchises Technologys Co., Ltd., Beijing 101399, China)

Abstract: To address the issues of elevated failure rates and reduced equipment availability for underground Load-Haul-Dump (LHD) machines, stemming from the inherent limitations of manual lubrication in harsh mining environments, this study focuses on the ACY514 LHD lubrication system. An automatic centralized lubrication system was designed based on the grease consumption-supply balance equation. Practical application has demonstrated that the designed system is viable and effective, ensuring adequate lubrication, significantly reducing operator labor intensity during maintenance, and effectively mitigating equipment failures caused by poor lubrication. Furthermore, an optimization plan for this system was proposed to enhance lubrication effectiveness and simplify maintenance procedures. The results from the optimized system's implementation show that it not only extends the service life of key components and improves overall operational efficiency and reliability but also provides a valuable reference for the lubrication technology upgrade of similar equipment.

Keywords: underground LHD; manual lubrication; automatic centralized lubrication; lubricating grease; optimize ▲

敬告读者

为了加快稿件处理速度,缩短稿件出版周期,方便广大作者投稿及查询稿件处理情况。本刊开通由中国知网提供的“腾云”网络采编系统,作者投稿请注册并登录本刊主页上的“作者投稿系统”进行相关操作,网址 <https://yssb.cbpt.cnki.net/>。注册登录后可以向本刊投稿并查询稿件处理状态。请勿重复注册,否则可能导致您的信息查询不完整。

本刊文章数字版可在中国知网(<http://www.cnki.net>)、万方数据知识服务平台(<https://www.wanfang-data.com.cn/>)、维普网(<http://www.cqvip.com/>)等数据平台下载使用。

本刊从未委托任何单位或个人组稿或代收、代转稿件,作者咨询投稿事宜请拨打编辑部办公电话 010 - 63936591、010 - 63933053 联系。

《有色设备》编辑部