

引文格式：陈美蓉.新型防雷及抗干扰方法在电铲控制系统的应用[J].铜业工程，2022(5):96-100.

新型防雷及抗干扰方法在电铲控制系统的应用

陈美蓉

(江西铜业股份有限公司德兴铜矿, 江西 上饶 334224)

摘要：电铲是采区主要采掘设备，其弱电控制系统是电铲正常可靠运行的关键。由于雷击或电磁干扰造成弱电控制系统装置的损坏或工作异常等故障，已成为影响电铲安全正常运行的重要因素。针对现有电铲控制系统防雷抗干扰现状、存在的问题及影响，研究了一种新型防雷抗干扰方法，并分析了其在电铲弱电控制系统中的应用和实施效果。实际运行表明，新型防雷抗干扰方法能够有效提高电铲弱电控制系统防雷及抗干扰能力，对电铲及其他弱电控制系统防雷抗干扰的研究和应用具有积极的现实意义，且有着很好的推广价值。

关键词：防雷；抗干扰；地电位反击；控制系统；过电压；浪涌

中图分类号：TB4

文章编号：1009-3842(2022)05-096-05

文献标识码：A

DOI:10.3969/j.issn.1009-3842.2022.05.022

Application of New Lightning Protection and Anti-interference Methods in Electric Shovel Control System

CHEN Mei-rong

(Dexing Copper Mine, Jiangxi Copper Corporation Limited, Shangrao 334224, Jiangxi, China)

Abstract: The electric shovel is the main mining equipment in the mining area, and its weak current control system is the key to the normal and reliable operation of the electric shovel. The faults such as device damage or abnormal consideration of the weak current control system caused by lightning strike or electromagnetic interference have become an important factor affecting the safe and normal operation of the electric shovel. By analyzing and studying the current situation, existing problems and influence of lightning protection and anti-interference of the existing electric shovel control system, the innovative application and implementation effect of the new lightning protection and anti-interference measures in the electric shovel weak current control system are explored. The actual operation shows that this method can effectively improve the lightning protection and anti-interference ability of the electric shovel weak current control system, which has positive practical significance and good promotion value for the research and application of lightning protection and anti-interference of electric shovel and other weak current control systems.

Keywords: lightning protection; anti-interference; ground potential counterattack; control system; overvoltage; surge

1 引言

电铲是露天矿山的主要采掘设备之一，具有生产能力强、作业效率高、使用成本低等突出优点。电铲弱电控制系统是电铲正常可靠运行的关键，但在实际生产过程中，由于电铲特殊的供电条件、恶劣的工作环境以及自身的工作特性等方面因素影

响，电铲弱电控制系统容易受到各种雷击及电磁干扰影响，出现控制逻辑混乱、数据错误、板卡损坏、系统死机、保护失灵等现象^[1-2]，导致电铲内部设备无法正常运行，严重时甚至危及电铲整体设备安全。

雷击或电磁干扰造成电铲控制系统故障或损坏而引起电铲工作异常，已成为影响采矿场采掘作

收稿日期：2022-04-15

作者简介：陈美蓉（1985—），女，江西德兴市人，工程师，主要从事电气安全防护及防雷抗干扰治理等方面的研究。E-mail：249628320@qq.com

业安全生产的重要因素之一。因此，为了保证采矿场电铲安全可靠运行，必须对电铲弱电控制系统采取防雷及抗干扰防护方法。

2 电铲控制系统雷害及干扰问题

2.1 电铲控制系统运行现状

以WK-35电铲^[3]为例，控制系统是由HMI人机界面、PLC核心控制、FCS现场总线组合的自动化系统。图1是电铲控制系统原理框图。HMI实时监测及显示电铲各类参数及运行状态，PLC实现整铲运行的逻辑控制及阈值保护，FCS实现离散控制与状态采集。

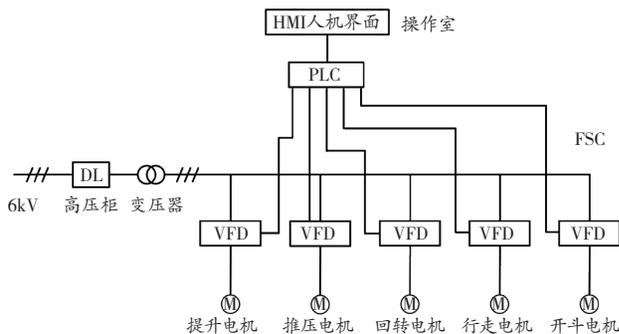


图1 电铲控制系统原理框图

二次控制电源AC220V由矿山采场移动变提供的高压(6kV)单回路电源经电缆送至电铲，经过铲载6.3kV/0.4kV主变压器降压后提供。由于受以下几种因素影响，电铲控制系统容易受到各种雷击及电磁干扰影响^[5]。

- (1) 远距离输电及地质条件易受雷击影响^[4]；
- (2) 矿山及电铲内冲击性负荷及间歇性负荷为主要负荷，导致电源存在过电压及干扰；
- (3) 设备及运机电缆易发生短路接地故障，导致存在过电压；
- (4) 供电网络存在电压波动及振荡；
- (5) 电铲作为运机设备无法可靠接地。

2.2 雷击对电铲控制系统的影响

大部分二次控制系统的雷击事故，是由直击雷或感应雷从供电电源侧侵入导致^[6]。江铜大山35kV架空线路由于网络大，易受雷击，雷电波在供电线路上传导会侵入弱电系统。如，35kV线路遭受雷击，雷电波可能沿线路通过移动变向6kV铲用变传播。如果雷击过电压达到6kV避雷器或过电压保护器的动作阈值，避雷器或过电压保护器

将会动作。6kV避雷器或过电压保护器与铲用变之间的电缆长度为 L ，则雷电波施加在铲用变高压侧绕组入侵电压约为：

$$U_h = U_p + 2a \frac{L}{v} + L \frac{d_i}{d_t} \quad (1)$$

式中， U_h 为雷击时雷电波入侵电压，kV； U_p 为6kV避雷器或过电压保护器动作后的残压，kV； a 为雷电波变化速率，kV/ μ s； l 为6kV避雷器或过电压保护器与铲用变之间的电缆长度，m； v 为雷电波的入侵速度，m/ μ s； L 为接地引下线等效电感， μ H； i 为通过泄放的雷电流，kA。

假设供电线路遭受10kA(8/20 μ s)的雷电波入侵，触发6kV避雷器或过电压保护器动作，其动作后残压一般不超过20kV，同时接地引下线等效电感 L 按照1 μ H考虑， d_t/d_i 按照1.5kA/ μ s考虑，计算得出接地引下线的电压降为1.5kV。 L 按照50m考虑，雷电波入侵速度约为300m/ μ s，则由式(1)可得侵入铲用变高压侧绕组的电压最大值为 $U_h = 20 + 2 \times 1.5 \times 50 / 300 + 1.5 = 22$ kV。

根据变压的电磁感应原理，入侵电压 U_h 经铲用变电磁耦合到低压侧绕组的最大过电压为：

$$U_d = \frac{2kZ_2}{Z_1 + k^2Z_2} U_h \quad (2)$$

式中， U_d 为耦合至铲用变低压侧的等效雷击过电压值，kV； k 为铲用变的变比； Z_1 为铲用变高压绕组的等效高频阻抗， Ω ； Z_2 为铲用变低压绕组的等效高频阻抗， Ω 。

取铲用变高低压绕组对雷电波的等效高频阻抗分别为500 Ω 、50 Ω ，则由式(2)可求得 $U_d \approx 2.4$ kV。

此外，由于变压器绕组间存在邻近电容(图2)，高压侧雷击过电压有可能通过电容效应耦合至变压器的低压侧绕组。

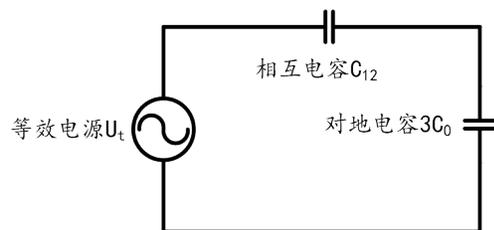


图2 绕组间电容传递过电压等效电路

当变压器高压侧受到雷击时，通过高低压绕组间相互电容 C_{12} 与低压侧对地电容 $3C_0$ 共同形成电

容耦合回路，雷击过电压 U_h 耦合至低压侧绕组，在低压侧绕组产生过电压 U_2 ，则有：

$$U_2 = U_1 \frac{C_{12}}{C_{12} + 3C_0} \approx 3.92kV \quad (3)$$

在不考虑传输导线对雷击过电压的衰减作用下，雷击传输至变压器低压侧的过电压最大值约为 6.32kV。电铲变压器低压侧避雷器未装设或不可靠时，雷击过电压会直接影响电铲的整个低压系统。由于变压器、电机等设备绝缘耐受能力高，一般不会直接造成绝缘击穿，但可能造成绝缘下降^[7]。低压系统中的弱电控制系统设备及电子元件，特别是电源模块部分，绝缘耐受能力低，雷击往往会造成此类设备或元件的击穿、损坏^[8-9]。

此外，由于接地电阻的存在，当雷电流通过铲用变高压侧 6kV 避雷器的接地线进入电铲金属结构体，再经履带不可靠接地流入大地时，会造成接地网的局部电位抬升^[10]。加之电铲内空间狭小，电缆槽内往往有弱电设备的各种控制及通讯电缆。因此，在电铲接地和连接在电铲上面的电缆屏蔽层存在地电位反击过电压的风险。反击过电压会在电缆屏蔽层产生电流，通过芯线与屏蔽层之间的耦合作用产生干扰，继而影响弱电控制系统。

2.3 变频器对电铲控制系统的影响

电铲驱动核心为变频驱动系统，采用 AFE 整流 / 回馈单元 + IGBT 逆变器组成共直流母线多传动系统。主电路一般为交 - 直 - 交形式，变频器整流和逆变时均会产生谐波。整流时产生的谐波以 $6 \pm 1k$ (k 为整流脉冲数) 为主，该谐波会进入供电系统，形成干扰。逆变输出时产生的谐波与 IGBT 开关频率有关，主要为高次谐波，谐波电流在流经电缆时会向外辐射，造成二次弱电设备的干扰。

变频器及其他原因产生的干扰进入弱电系统二次电缆的干扰方式，有共模干扰和差模干扰两种^[11]。如图 3 和图 4 所示，共模干扰是指不同信号回路和接地系统之间的干扰，差模干扰是指信号回路之间的干扰。干扰源对二次电缆的耦合方式有导线直接耦合、分布电容耦合、场强耦合等。

(1) 导线直接耦合是指干扰信号通过二次导线直接进入二次系统，从而对二次系统造成干扰，这是最直接的方式，普遍存在。

(2) 分布电容的存在，会导致高频电流在二次

电缆外波弱电回路感应出干扰电势。

(3) 雷击时会产生地电位反击过电压，该电压相当于在雷电流入地点和弱电系统接地之间接入了一个电压源，该电压源会对接地的所有回路及端子产生影响，称之为共模干扰。

(4) 由于电缆两端接地点电位不相等，在电磁耦合的作用，电缆绝缘层形成的电流会在电缆芯线上产生差模干扰电压。这也是要求控制电缆屏蔽线单端接地的主要原因。

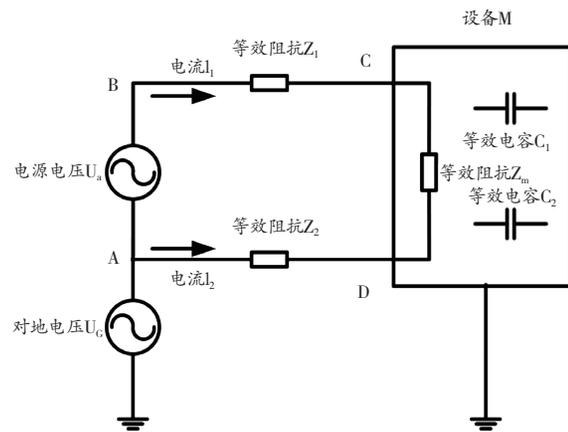


图 3 共模干扰

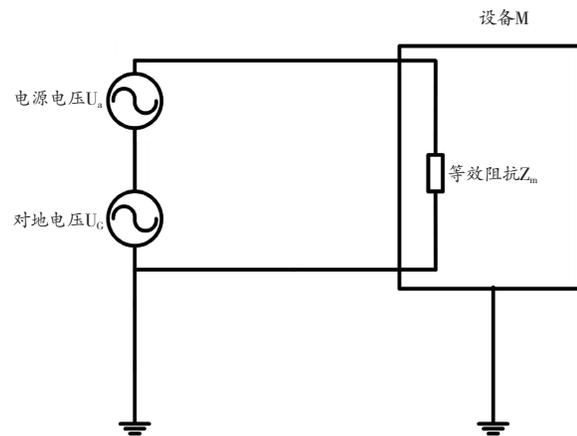


图 4 差模干扰

3 新型防雷及抗干扰治理方法

3.1 传统防雷及抗干扰方法

传统防雷及抗干扰方法的重要共同缺点是：通过接地线接入的接地网的设计制造必须满足相关标准，才可能具备防雷击浪涌过电压^[12]的能力，而对于属于运机设备的电铲来讲，无法做到可靠接地。显而易见，传统防雷及抗干扰方法^[13-14]在电铲上

表 1 新型防雷及抗干扰方法技术指标

保护模式	额定电压	通流量 /最大通流量	残压	响应时间	抗干扰	隔离绝缘
L+N+PE	AC380V/220V	20kA/40kA	$\leq 1.2U_n$	25 μ s	抗共模、差模抗 150Hz 以上谐波	≥ 1500 AAC

的应用效果不佳，这在以往的使用中已得到验证。

3.2 新型防雷及抗干扰方法简介

新型防雷及抗干扰防护方法是采用了全新的设计理念、集合了多种新技术和新工艺的专用于弱电控制系统的新一代防雷抗干扰方法。新方法具有电涌防护、抗电源谐波干扰、电源隔离防护、地电位反击过电压抑制、浪涌转移平衡、后端设备保护等功能。

用于电铲控制系统的新型防雷及抗干扰方法，不完全依赖可靠接地网，特别适用于无法设置可靠接地网的工况。

新型防雷抗干扰防护方法的技术指标如表 1 所示。

3.3 新型防雷及抗干扰方法实施方案

新型防雷及抗干扰方法的实施包括两个方面：

(1) 变压器低压侧采用 GPAS 地电位反击抑制模块实现雷电涌流泄放转移、地电位反击抑制。接线方案如图 5 所示。

(2) 弱电控制系统电源侧采用 TOVS 暂态过压防御模块实现雷击过电压隔离及吸收、电源高频干扰抑制。接线方案如图 6 所示。



图 5 GPAS 地电位反击抑制模块接线示意图



图 6 TOVS 暂态过压防御模块接线示意图



图 7 电铲内运行的 GPAS 模块和 TOVS 模块

如图 7 所示，该方法具有性能可靠、安装维护方便等特点，可以在现场无可靠防雷接地的条件下，为电铲内弱电控制系统提供雷击浪涌防护、电源干扰及暂态过电压抑制、弱电接地干扰抑制及反击过电压抑制等多种保护功能。

4 新型防雷及抗干扰方法的应用

新型防雷及抗干扰方法同时采用共模抗干扰技术、差模抗干扰技术、功率阻断技术、浪涌等电位转移技术等新型技术。在无接地或接地网不满足要求的情况下，能对雷击感应浪涌进行可靠的抑制及防御，有效克服了现有传统防雷抗干扰设备效果

差、可靠性低、需使用接地线接至专用标准防雷接地网的局限^[15],可有效防止雷击过电压、各类电源暂态过电压、耦合引起的共模和差模过电压及变频器引起的高次谐波干扰等对弱电控制系统造成损害,极大地提高了弱电控制系统的抗雷击和抗干扰能力,降低了弱电控制系统的损坏率。

新型防雷及抗干扰方法采用模块化分体式安装,安装方式为冗余带旁路结构的串联安装,具有性能可靠、安装维护方便等特点。

目前,采区有 12 台电铲安装了 GPAS 模块及 TOVS 模块,并已运行将近一年,没有发生弱电控制系统因雷击事故而损坏的情况。新型防雷及抗干扰方法的应用,极大地减少了备件维护成本、人力资源成本及设备故障造成停产的经济损失,经济效益显著提高。

5 结论

从原有的电铲弱电控制系统防雷抗干扰现状及存在的问题出发,探索研究了一种功能较全面的新型防雷抗干扰方法。

新型防雷抗干扰方法能有效提高电铲弱电控制

系统防雷抗干扰能力,保护设备免受雷击及干扰损害,极大地降低了设备维修、维护的费用,保障了电铲的正常运行,经济效益显著提高,同时也为其企业在弱电控制系统防雷抗干扰方面提供了参考。

参考文献:

- [1] 田雨,唐生亮,于海英.电磁干扰的危害与电磁兼容技术[J].电子世界,2017(1):73-74.
- [2] 孟英杰.如何预防雷击电磁干扰对计算机网络的侵害[J].湖北气象,2005(1):23-25.
- [3] 邹振宇,陈博,于玉铭,等.变电站雷击过电流及其对设备传感器的影响[J].中国电力,2016(8):7-11.
- [4] 周方君,周萌,张佳晖,等.隔离变压器在电源系统防雷中的应用[J].气象科技,2015,43(5):969-972,991.
- [5] 颜旭,张义军,杜赛,等.触发闪电产生的地网地电位抬升及暂态效应[J].应用气象学报,2020,31(2):247-256.
- [6] 王兆军,矫真,刘丽君,等.智能电表雷电感应过电压防护分析[J].电瓷避雷器,2018(5):93-98.
- [7] 汪尚红.弱电系统的防雷防浪涌保护[J].大众用电,2021,36(9):61-62,66.
- [8] 赵学军.压敏型 SPD 后备保护器的分析与研究[J].现代建筑电气,2021,12(6):5-9.
- [9] 何惠青.变电站二次系统过电压下损坏原因与对策[J].高电压技术,2008(5):1082-1084.