

大功率中压电机的启动分析与校验

刘立峰

(中国恩菲工程技术有限公司,北京 100038)

[摘要] 对电动机进行启动校验,按照不同项目电网条件选择合理的电动机启动方式,是工程电气设计的主要工作之一。文章结合建设在山区的冶炼企业小型电力系统,围绕如何解决大功率中压电动机的启动问题,进行电机启动计算分析,并应用 ETAP 电气计算分析软件对该电机启动进行仿真分析,提出了应对该小容量电力系统的电动机启动解决方案。

[关键词] 启动校验;电力系统;电机启动仿真

[中图分类号] TM921.5

[文献标志码] B

[文章编号] 1003-8884(2022)02-0064-06

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2022.02.015

0 前言

交流电机是有色冶金矿山工程中常用的动力设备,交流电机直接启动时,因瞬时启动电流一般为电机额定电流的 6~7 倍,会对所在母线和电力系统有一定冲击,造成母线电压的波动,因此中、大功率电机的配电设计时,需对电机启动进行校验分析,并采取合理的启动方式。当前,在项目设计过程中存在一刀切误区,有些地区主管部门或用户简单规定多大的电动机应降压启动,按照电动机功率统一规定启动方式,是没有依据的。在满足工艺控制要求和电网容量允许前提下,采用电机直接启动方式无疑是一种经济可靠的方式。按照一刀切方式,容易造成软启设备大量使用导致投资增加,不仅降低了系统的可靠性,而且增加了运维人员的维护工作。

根据《工业与民用供配电设计手册》第 4 版相关要求,电动机启动时,电动机所在母线电压应满足以下要求^[1]:

(1)电动机启动时,其端子电压应能保证所拖动的机械要求的启动转矩,且在配电系统中引起的

电压波动不应妨碍其他用电设备的工作。

(2)交流电动机启动时,各级配电母线上的电压应符合下列要求:

①一般情况下,电动机频繁启动时,不宜低于额定电压的 90%;电动机不频繁启动时,不宜低于额定电压的 85%。

②配电母线上未接照明或其他对电压波动较敏感的负荷,且电动机不频繁启动时,不应低于额定电压的 80%。

③配电母线上未接其他用电设备时,可按保证电动机启动转矩的条件决定;对于低压电动机,尚应保证接触器线圈的电压不低于释放电压。

某年产 10 万 t 阳极铜的矿铜冶炼项目建于西南某偏远山区,根据项目的用电需求和当地电网情况,建有 1 座 110 kV 总降压站。项目所在地区为经济欠发达地区,地区电力系统条件差,电网薄弱,系统短路容量小。受山区地形的影响,厂区布置落差大,布局分散。110 kV 总降压站与制酸区高差约 100 m。制酸区二氧化硫风机主电机为该项目中功率紧次于制氧站空压机主电机(紧挨 110 kV 总降压站)的中压电动机(10 kV、4 850 kW),110 kV 总降压站至制酸区 10 kV 配电站之间由于电缆敷设困难,因此采用架空线路方式,线路距离超过 1 300 m,二氧化硫风机的启动是该项目的一个难点问题。

1 配电系统介绍

厂前区设有 110/10 kV 总降压站,设两台 25

[收稿日期] 2021-12-28

[作者简介] 刘立峰(1980—),男,湖南衡山人,高级工程师,硕士,主要从事有色工程电气与控制系统设计与研究、设计管理工作。

[引用格式] 刘立峰. 大功率中压电机的启动分析与校验[J]. 有色设备,2022,36(2):64-69.

MVA 主变压器,采用单母线分断接线,110 kV 电源引自上级 110 kV 站,架空线路长度约 50 公里。制酸区 10 kV 配电站建于二氧化硫风机房辅跨,采用单母线分段接线方式,双回 10 kV 电源分别取自厂区 110 kV 总降压站 10 kV I、II 段母线,采用钢芯铝绞线架空进线,规格 LGJ-3×300,线路长约 1.3 km,二氧化硫风机接在二氧化硫风机房 10 kV 配电站母线 I 段。全厂配电系统框图如图 1 所示。

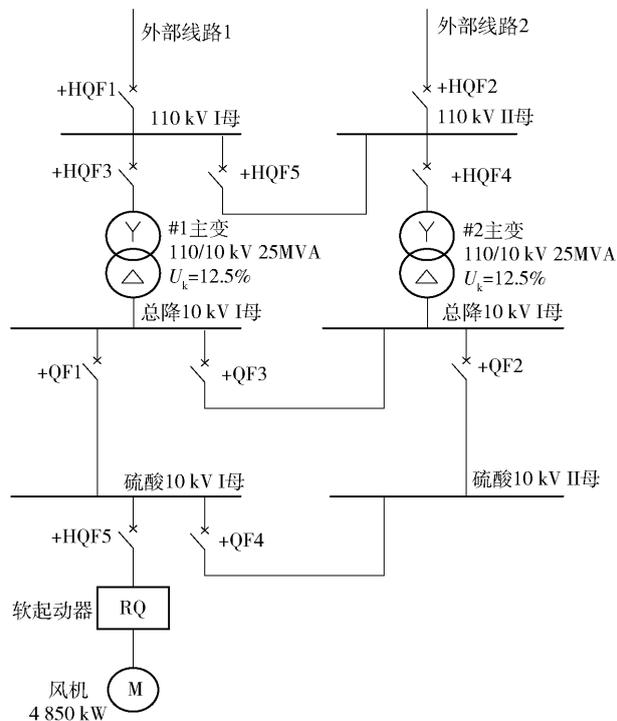


图 1 全厂配电系统框图

1.1 设备及电力系统主要参数

(1) 电机型号参数: TW4850-4/1500 无刷同步电机,额定功率 $P_e = 4850$ kW,额定电压 $U_e = 10$ kV,额定电流 $I_n = 323$ A,功率因数 0.9 超前,额定转速 $n_e = 1500$ r/min,电机效率 $\eta = 96.4\%$,全压启动电流倍数 $K_i = 6$,启动转矩倍数 $K_m = 1.1$,负载转动惯量 ($J = mr_m^2$) 为 2558.5 kg·m²,励磁电压: 110 V,励磁电流: 6 A。

(2) 风机机械参数: KK&K 风机,负载静阻力矩: 4793 N·m;负载最大转矩: 11238 N·m;负载转动惯量 ($J = mr_m^2$) 2558.5 kg·m²。

(3) 电网参数: 根据当地供电局提供阻抗序网络参数,计算得: 厂区 110 kV 入口侧短路电流: $I_{K1\infty} = 2.31$ kA, $S_{K1} = 460$ MVA; 总降 10 kV 母线:

$I_{K2\infty} = 8.63$ kA, $S_{K2} = 157$ MVA; 二氧化硫风机房 10 kV 母线 I 段: $I_{K3\infty} = 3.26$ kA, $S_{K3} = 59.29$ MVA。

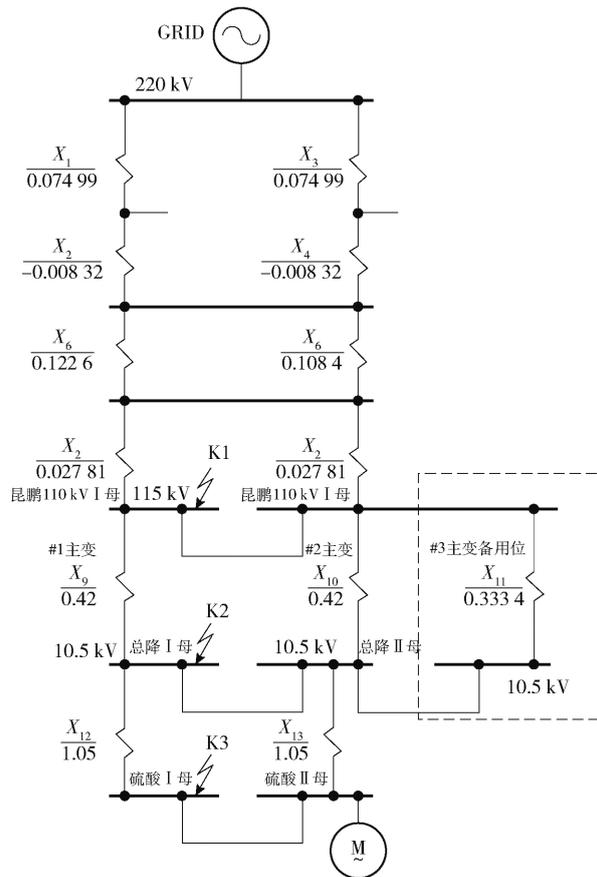


图 2 电力系统阻抗序网络图

1.2 分析计算

电动机启动可行性分析主要需从两方面考虑,一是电动机启动转矩需大于风机的静阻转矩。二是风机启动过程中其所在的二氧化硫风机房 10 kV 母线 I 段的最大压降须小于 20%。

(1) 启动转矩验算^[2]

电动机的额定转矩: $M_e = 9550P_e/n_e = 30878$ N·m。其中, M_e 为电机额定转矩; P_e 为电机额定功率; n_e 为电机额定转速。

计算得,风机负载静阻力矩比 $0.16M_e$ 。

全压启动时启动转矩满足要求。

降压启动时,按软启动装置通常限流水平 2.5~3.5In 考虑,启动电流取额定电流的 3 倍。计算得: $M_{st} = (K'_i/K_i)^2 K_m M_e = 0.3M_e$ 。其中, M_{st} 为电机启动转矩; K'_i 为电机启动电流倍数; K_i 为电机全压启动电流倍数; K_m 为启动转矩倍数; M_e 为电机额定转矩。

电动机降压启动时,启动转矩不小于 $0.3M_e$ 大于风机负载的静阻力矩 $0.16M_e$,满足启动转矩要求。

(2)电机启动时二氧化硫风机房 10 kV 母线 I 段网压降验算。

电动机启动计算公式^[1]:

$$S_{st} = \frac{1}{\frac{1}{S_{stM}} + \frac{X_1}{U_m^2}} \quad (1)$$

$$u_{stm} = \frac{S_{km} + Q_{fh}}{S_{km} + Q_{fh} + S_{st}} \quad (2)$$

$$S_{stM} = k_{st} S_{rm} \quad (3)$$

式中 S_{st} —电机启动时启动回路的额定输入容量, MVA;

u_{stm} —母线标称电压相对值;

S_{stM} —电机额定启动容量, MVA;

S_{rm} —电机额定容量, MVA;

k_{st} —电机启动电流倍数;

X_1 —线路电抗, Ω ;

U_m —母线标称电压, kV;

S_{km} —母线短路容量, MVA;

Q_{fh} —预接负荷的无功功率, Mvar。

①假设采用全压启动

电机启动电流 $6I_n$, $S_{stM} = 33.6 \text{ MVA}$, $S_{st} = 59.29 \text{ MVA}$ 。

此时,电动机启动时二氧化硫风机房 10 kV 母线 I 段相对电压值:

$$U = S_{min} / (S_{min} + S') = 64\% < 80\%$$

电动机启动时总降压站 10 kV 母线 I 段相对电压值:

$$U = S_{min} / (S_{min} + S') = 82\%$$

不满足电机启动时电机所在母线电压降要求。

②假设采用软启降压启动

启动电流取 $3I_n$, Q_{fh} 为 0,由公式(1)~(3),求得: $S_{stM} = 16.78 \text{ MVA}$, $S_{st} = 59.29 \text{ MVA}$,此时,电动机启动时二氧化硫风机房 10 kV 母线 I 段相对电压值:

$$U = S_{min} / (S_{min} + S') = 77.9\% < 80\%$$

电动机启动时总降压站 10 kV 母线 I 段相对电压值:

$$U = S_{min} / (S_{min} + S') = 90\%$$

不满足电机启动时电机所在母线电压降要求。

得出单纯采用软启动装置无法解决该小容量电网条件下,二氧化硫风机的启动问题。

1.3 解决措施及验算

经过对全厂配电系统进行分析,尝试过在电动机启动前投入电容补偿装置提高母线电压和提供容性电流等方法,效果均不理想。最后得出采取短时改变系统运行方式,提高二氧化硫风机房 10 kV 母线短路容量的电动机加软启启动方案。即在电机启动前,将总降压变电站两台 110 kV 主变压器并列运行,合二氧化硫风机房 10 kV 站母联开关,使 10 kV 系统短时合环运行,以提高系统短路容量,电机启动完成后断开二氧化硫风机房 10 kV 站母联开关,恢复到正常分列运行模式。

此时,二氧化硫风机房 10 kV 母线 I 段短路容量: $I_{K3\infty} = 5.78 \text{ kA}$, $S_{K3} = 105.1 \text{ MVA}$ 。

计算得: $U = S_{min} / (S_{min} + S') = 86.2\% > 80\%$ 。满足电机启动时电机所在母线电压降要求。

1.4 软启动装置的选择

综合考虑配电室空压布局 and 常见各类软启动装置的技术性能特点,本项目选用晶闸管型固态软启动装置。相对液态软启动装置晶闸管固态软启动装置启动性能好,控制灵活,且体积小,占地面积少,可与 10 kV 配电柜同室布置。晶闸管固态软启动装置应用晶闸管相控调压原理,利用晶闸管的可控导通特性,通过改变相控角来改变加在电动机定子端的电压均方根值,属于移相调压软启动技术^[4-5]。图 3 为晶闸管固态软启动装置的典型电路示意图。

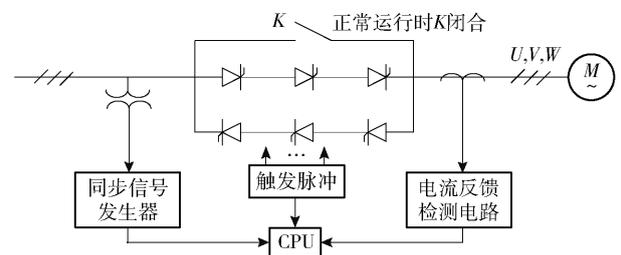


图 3 晶闸管固态软启动装置主电路示意图

软启动器的主要控制方式:斜坡电压控制、限流控制、恒压控制、软停控制等。软启动器自带自动旁路功能,启动完成后自动切换到旁路运行。本项目为同步电机,在启动时采用异步启动,当转速达到准同步转速时,励磁系统投入强励磁将同步电机拉入同步运行,在此过程中软启动装置择机自动投旁路开关,切除软启动装置。图 5 为二氧化硫风机主电

机 10 kV 主接线系统图。

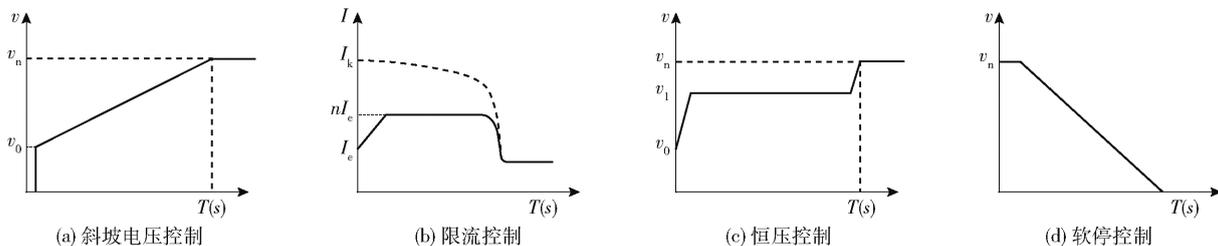


图 4 固态软启装置典型控制方式

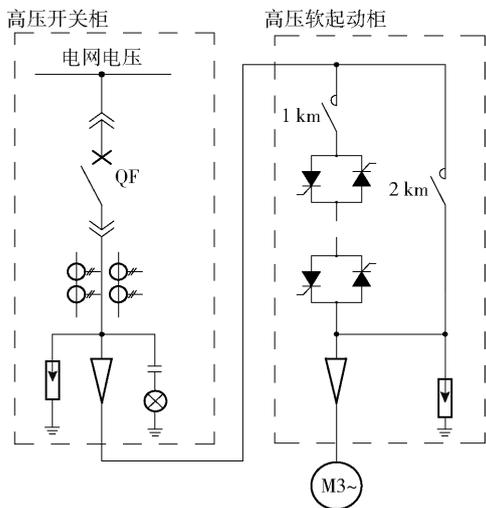


图 5 电机主接线系统图

2 仿真分析验算

本项目采用 ETAP 软件进行了仿真分析。ETAP 软件是由美国 OTI (Operation Technology Inc) 公司开发和发行的一款功能全面的电力系统分析计算软件,该软件在美国确立了电力系统设计和分析

软件的标准,具有最高安全级别的核电行业认证。经过多年的开发完善,该软件已具有电动机启动分析、电动机加速分析、短路分析、潮流分析、继电保护配合和动作序列分析、电缆分析、接地网设计等模块和功能。此外,该软件可以提供全图形的用户界面和工程数据库,方便用户的系统建模。ETAP 软件还具有虚拟现实操作特点,利用 ETAP 软件得到的仿真分析结果,能以直接显示、文本报告及动态仿真曲线等形式直观地输出^[3]。该软件已成为国际公认的电气分析计算软件之一。

通过 ETAP 软件对不同模式下的电动机启动仿真结果如下:

从 ETAP 仿真分析报告得出:二氧化硫风机房 10 kV 母线 I 段初始电压 10.5 kV 时,系统分列运行模式下,采用软启动装置,启动过程 10 kV 母线最低电压 7.854 47 kV。系统在合环运行模式下,采用软启动装置,启动过程 10 kV 母线最低电压 8.979 9 kV。仿真计算结果与手动计算结果基本一致。

通过手动计算和仿真分析指导了电机的启动系统的设计,并在二氧化硫风机试车实践中验证了计

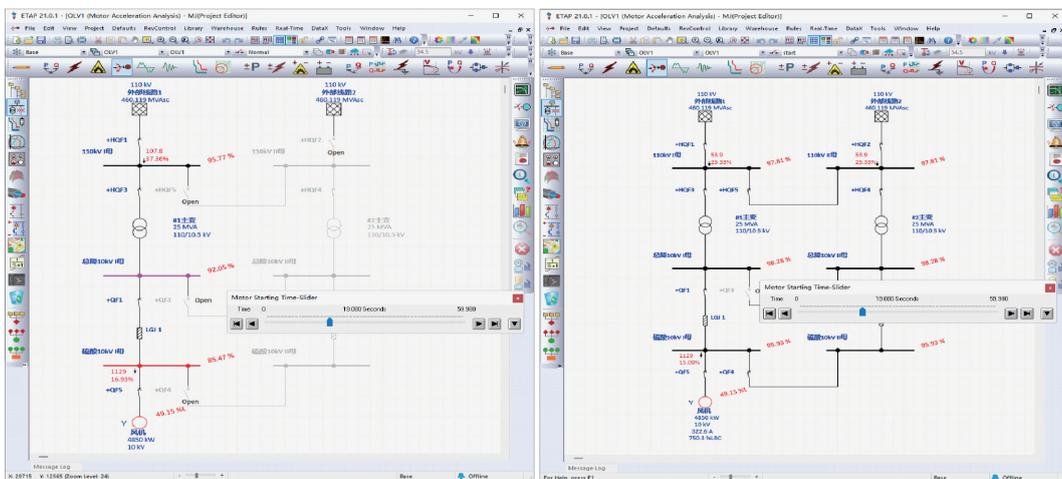


图 6 电动机启动系统仿真模型

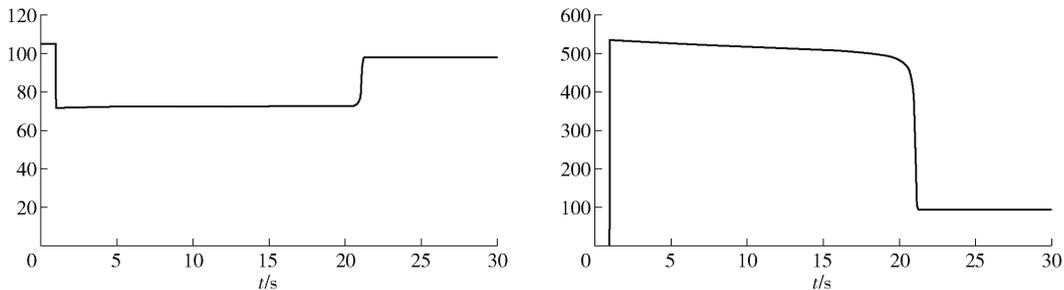


图7 电动机直接启动仿真结果

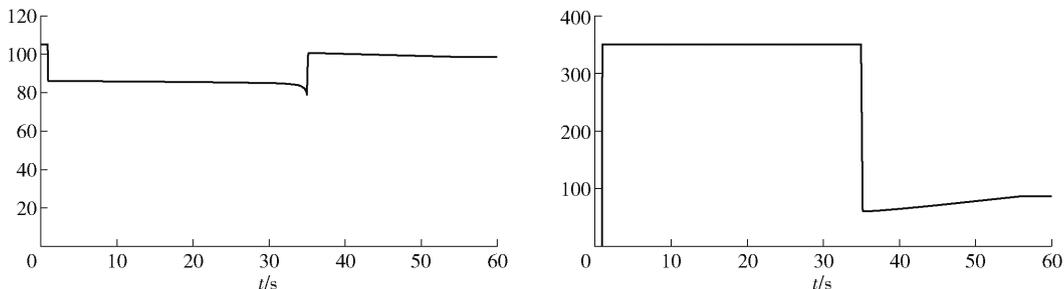


图8 系统分列运行时电动机加软启动仿真结果

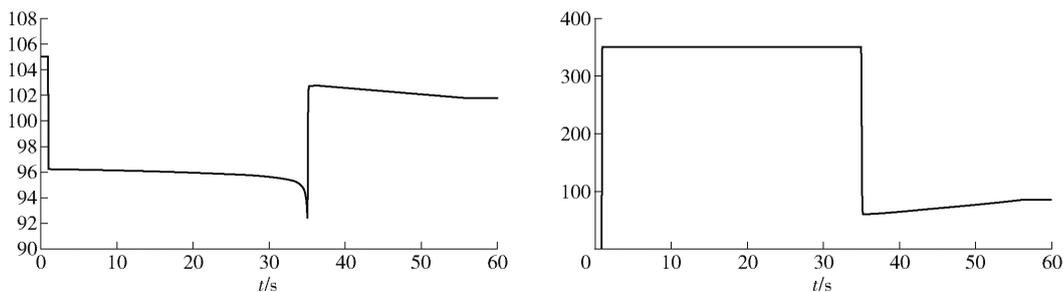


图9 系统合环运行时电动机加软启动仿真结果

算及仿真结果的正确性。

相对于手动计算,ETAP 软件仿真计算不仅可以灵活方便建立系统仿真模型,参数设置灵活,仿真速度快,计算结果准确,而且具有良好的图形界面,结果更直观。通过 ETAP 软件仿真可以得到电机在不同启动模式下对系统各母线的影响,从而有助于选择更合理的电机启动方式,是值得推荐的辅助设计方式。

3 总结

随着有色冶金矿山项目建设规模越来越大,项目中用到的中、低压电动机功率也越来越大,从电气设计角度需借助类似 ETAP 仿真计算软件等工具,对电机启动进行科学计算,一方面减少大电机启动对电力系统的冲击,保证电机设备能可靠安全启动,

满足工艺生产连续性要求;另一方面在不需要采用软启动等场合避免使用软启动装置,节约工程投资。

[参考文献]

- [1] 中国航空规划设计研究总院有限公司等.工业与民用供配电设计手册(第4版)[M].北京:中国电力出版社,2016.
- [2] 李发海,王岩.电机与拖动基础(第4版)[M].北京:清华大学出版社,2013.
- [3] 朱慧.ETAP 仿真软件在化工企业电力系统设计中的应用[J].化工自动化及仪表,2014,41(9):1073-1076.
- [4] 黄加明.固态软启动器的设计与特性分析及应用[J].武汉理工大学学报(机电与信息工程),2015,37(1):131-134.
- [5] 邓建国,罗隆福,罗德荣.感应电动机电容补偿起动系统的建模和仿真研究[J].湖南大学学报(自然科学版),2003,30(6):66-70.

Start-up Analysis and Calibration of Medium Voltage Motor with High Power

LIU Li-feng

Abstract: It is one of the main tasks of electrical engineering design to check the starting of motor and select a reasonable starting mode of motor according to the power grid conditions of different projects. Combined with the small power system of smelting enterprises built in mountainous areas, this paper focuses on how to solve the starting problem of high-power medium-voltage motor, carries out calculation and analysis of motor starting, and uses ETAP electrical calculation and analysis software to simulate the motor starting, and puts forward a solution to the motor starting of this small-capacity power system.

Key words: start calibration; electric power system; motor starting simulation



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/>)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 联系。

《有色设备》编辑部

恩菲期刊微信公众号上线通知

2021年1月1日,中国恩菲工程技术有限公司期刊杂志部正式开通“恩菲期刊”微信公众号,着力打造全天候的媒体服务平台,定期更新期刊动态;分享写作、投稿技巧;及时为读者、作者、审稿专家、编委带来新鲜、生动、有价值的信息资讯。微信用户可通过扫描下方二维码或微信搜索公众号“恩菲期刊”关注我们。

“恩菲期刊”公众号诚邀您的关注!



《有色设备》编辑部