

三相异步电动机的故障诊排“密码”透析

刘潇, 肖九梅

湖北武汉市江城机电维修工程公司 430055

摘要: 三相异步电动机是机械工业生产中最常见的电气设备, 它的作用就是把电能转换为机械能。针对三相异步电动机的机械故障, 介绍了三相异步电动机的故障诊断, 阐述了三相异步电动机的常见故障检排方法, 研究了三相异步电动机的典型故障检修, 提出了三相异步电动机异常杂音的故障检修。

关键词: 三相异步电动机, 故障检修, 诊排方法

在我国电动机所消耗的能源达到能源消耗总和的 70%, 可见电动机的使用非常的普遍, 因此电动机的维修市场巨大。三相异步电动机是机械工业生产中最常见的电气设备, 它的作用就是把电能转换为机械能。具有机械效率高, 结构简单, 起步方便, 起动转矩大, 噪声低, 振动小, 体积小, 工作可靠, 坚固耐用, 便于维护和检修的特点。为了保证异步电动机的安全运行, 电气工作人员必须掌握有关三相异步电动机的安全运行的基本知识, 了解对异步电动机的安全评估, 做到尽可能地及时发现和消除电动机的事故隐患, 保证电动机安全运行。常见三相异步电动机在运行中由于种种原因, 会出现故障。故障分机械与电气两方面。本文系统分析三相异步电动机的定、转子铁芯故障, 转子轴承过热、损坏故障, 电动机运行电压不正常, 绕组接地, 绕组短路, 绕组断路, 缺相运行, 接地装置等故障的产生原因, 并提出相应的具体解决办法, 值得业内人士的关注。

1 三相异步电动机的机械故障

电动机是工业生产过程中的常见电气设备, 其基本作用是把电能转换为机械能。电机出现故障后, 带来的影响较为严重, 不仅会影响生产加工的进度, 甚至是会危害人身安全。

现代设备, 尤其是大型设备, 一旦出现故障, 将会对人类的造成巨大的影响以及损失。虽然电动机在使用中其机械故障出现较少, 但是若不及时处理出现的机械故障, 将会引起电气故障。三相异步电动机的机械方面常见故障有定、转子铁芯故障, 轴承过热、损坏等故障。

引起电动机机械故障一般有振动、扫膛、轴承过热、损坏。

振动应先区分是电动机本身引起的, 还是传动装置不良所造成的, 或者是机械负载端传递过来的, 而后针对具体

情况进行排除。属于电动机本身引起的振动, 多数是由于转子动平衡不好, 以及轴承不良, 转轴弯曲, 或端盖、机座、转子不同轴心, 或者电动机安装地基不平, 安装不到位, 紧固件松动造成的。振动会产生噪声, 还会产生额外负荷。

电动机定、转子之间气隙很小, 容易导致定、转子之间相碰与摩擦。一般由于轴承严重超差及端盖内孔磨损或端盖止口与机座止口磨损变形, 使机座、端盖、转子三者不同轴心引起扫膛。如发现对轴承应及时更换, 对端盖进行更换或刷镀处理。

如果轴承工作不正常, 通过振动会产生噪声, 明显的噪声异常, 可以通过听觉判断, 复杂的噪声, 就需要通过声学系统进行判断了。同时轴承工作不正常, 也会造成电动机的发热, 在电动机合适的位置安装温度传感器, 可以起到检测电动机温度变化的作用。

定、转子都是由相互绝缘的硅钢片叠成, 是电动机的磁路部分。异步电动机定、转子之间气隙很小, 容易导致定、转子之间相碰。一般由于轴承严重超差及端盖内孔磨损或端盖止口与机座止口磨损变形, 使机座、端盖、转子三者不同轴心引起扫膛。如发现对轴承应及时更换, 对端盖进行更换或刷镀处理。如果轴承过度磨损或装配不良, 则会造成定、转子相擦, 使铁芯表面损伤, 进而造成硅钢片间短路, 电动机铁损增加, 使电动机温升过高。这时应用细锉等工具去除毛刺, 消除硅钢片短接, 清理干净后涂上绝缘漆, 并加热烘干。若拆除旧绕组时用力过大, 使盗槽歪斜和向外张开。此时应用尖嘴钳、木榔头等工具予以修整, 使齿槽复位, 并在不好复位的有缝隙的硅钢片间加入青壳纸、胶木板等硬质绝缘材料。另外, 因受潮等原因造成铁芯表面锈蚀。此时需用砂纸打磨干净, 清理后涂上绝缘漆。

围绕组接地产生高热烧毁铁芯槽或齿部。可用凿子或刮刀等工具将熔积物剔除干净,涂上绝缘漆烘干。

电动机转子转轴通过轴承支撑转动,是负荷最重的部分,又是容易磨损的部件。如果轴承工作不正常,可凭经验用听觉及温度来判断。用听棒(铜棒)接触轴承盒,若听到冲击声,就表示可能有一只或几只滚珠扎碎,如果听到有啞啞声,那就是表示轴承的润滑油不足,因为电动机要每运行 3000 ~ 5000 小时左右需换一次润滑脂。添润滑脂时不易太多,如果太多会使轴承旋转部分和润滑脂之间产生很大的摩擦而发热,一般轴承盒内所放润滑脂约为全容积二分之一到三分之二即可。在轴承安装时如果不正确,配合公差太紧或太松,也都会引起轴承发热。在卧式电动机中装配良好的轴承只受径向应力,如果配合过盈过大,装配后会使得轴承间隙过小,有时接近于零,用手转动不灵活,这样运行中就会发热。另外轴承外表面上的锈斑可用砂纸擦除,然后放入汽油中清洗;若轴承有裂纹、内外圈碎裂或轴承过度磨损时,应更换新轴承。更换新轴承时,要选用与原来型号相同的轴承。^[1]

2 三相异步电动机的故障诊断

三相异步电动机电气方面常见的故障有电压不正常、绕组接地、绕组短路、绕组断路、缺相运行等。电动机在工作中需恒定电压,也就是说我们要在生产的过程中确保电压的稳定。

电源失压主要是因为电动机及其控制电路出现了短路和接地故障,致使电源跳闸;电源欠压主要是因为启动装置出现故障。负载过大一方面由于该电动机要求空载启动,而在实际启动时带上了负载;另一方面由于电动机或负载启动时出现了咬卡故障。电动机缺相运行往往是由于负载过大,电动机本体绝缘老化、控制线路短路等原因,电动机运行电流过大,将其中一相电源的熔断器熔体熔断所导致。另外电动机和控制线路各种接头接触不良,能直接引起电动机缺相运行。电源电压偏高,激磁电流增大,电动机会过分发热,过分的高电压会危机电动机的绝缘,使其有被击穿的危险。电源电压过低时,电磁转矩就会大大降低,如果负载转矩没有减小,转子转数过低,这时转差率增大造成电动机过载而发热,长时间会影响电机寿命。当三相电压不对称时,即一相电压偏高或偏低时,会导致某相电流过大,电动机发热,同时转距减小会发出“嗡嗡”

声,时间长会损坏绕组。总之无论电压过高过低或三相电压不对称都会使电流增加,电动机发热而损坏。所以按照国家标准电动机电源电压在额定值 $\pm 5\%$ 内变化,电动机输出功率保持额定值。电动机电源电压不允许超过额定值的 $\pm 10\%$,三相电源电压之间的差值不应大于额定值的 $\pm 5\%$ 。这不仅是在电机的使用寿命上有所帮助,更重要的是电机的生产过程中不会产生安全事故。

电压不正常会使电动机绕组绝缘受到损坏,及绕组的导体和铁心、机壳之间相碰即为绕组接地。这时会造成该相绕组电流过大,局部受热,严重时烧坏绕组。出现绕组接地多数是电动机受潮引起,有的是在环境恶劣时金属物或有害粉末进入电动机绕组内部造成。电动机出现绕组接地后,除了绝缘已老化、枯焦、发脆,都可以局部处理,绕组接地一般发生在绕组伸出槽外的交接处(绕组端部),这时可在故障处用天然云母片或绝缘纸插入铁心和绕组之间,在用绝缘带包扎好涂上绝缘漆烘干即可,如果接地点在铁心槽内时,如果上成边绝缘损坏,可以打出槽楔修补槽衬或抬出上成线匝处理,若故障在槽底或者多处绝缘受损,最好办法就是更换绕组。绕组中相邻两条导线之间的绝缘损坏后,使两导体相碰,就称为绕组短路。发生在同一绕组中的绕组短路称为匝间短路。发生在两相绕组之间的绕组短路称为相间短路。不论是那一种,都会引起某一相或两相电流增加,引起局部发热,使绝缘老化损坏电动机。出现绕组短路时,短路点在槽外修理并不难。当发生在槽内,如果线圈损坏不严重,可将该槽线圈边加热软化后翻出受损部分,换上新的槽绝缘,将线圈受损的部位用薄的绝缘带包好并涂上绝缘漆进行烘干,用万用表检查,证明已修好后,再重新嵌入槽内,进行绝缘处理后就可继续使用,如果线圈受损的部位过多,或者包上新绝缘后的线圈边无法嵌入时,只好更换新的绕组。

绕组断路是指电动机的定子或转子绕组碰断或烧断造成的故障。定子绕组断部,各绕组元件的接头处及引出线附近。这些部位都露在电动机座壳外面导线容易碰断,接头处也会因焊接不实长期使用后松脱,发现后重新接好,包好并涂上绝缘漆后就可使用。如果因故障造成的绕组被烧断则需要更换绕组。如转子绕组发生断路时,可根据电动机转动情况判断。

三相异步电动机缺相运行是指三相供电电源缺相缺少一相或电动机三相绕组中有一相断路而造成电动机异常的运行状态也叫断相运行。三相异步电动机在运行过程中,

断一根火线或者一相绕组就会形成缺相运行(俗称单相),如果轴上负载没有改变,则电动机处于严重过载状态,定子电流将达到额定值的二倍甚至更高,时间稍长电动机就会烧毁。在各行业中,因缺相运行而烧毁的电动机所占比重最大。一般电动机缺相是由于某相熔断器的熔体接触不良,或熔丝拧的过紧而几乎压断,或熔体电流选择过小,这样通过的电流稍大就会熔断,尤其是在电动机起动电流的冲击下,更容易发生熔体非故障性熔断。^[2]

三相异步电动机绕组烧毁大多数是由于电动机缺相运行造成的,当电动机处于过载状态时,负载功率相同的情况下,缺相运行电流比正常运行电流要高一倍左右。此时,如果不及时处理,电动机绕组就会烧毁。如果电动机在起动前就有一相断路,有可能接通电源后只发出噪声并不能起动,此时必须立即切断电源,否则,也会烧毁绕组。

3 三相异步电动机的常见故障检排方法

当电动机接入电源,后熔丝被烧断时,应检查电源线,电动机引出线,熔断器,开关触点,找出断线或假接故障后进行修复;定、转子绕组接地或短路纠正错误;电机负载过大或被卡住,将负载调至额定值,并排除被拖动机构故障;熔体截面积过小,熔体对电动机过载不起保护作用,一般应按熔体额定电流=堵转电流/2~3即可;绕线转子电动机所接的起动电阻太小或被短路,消除短路故障或增大起动电阻;电源到电机之间的连接线短路:检查短路点进行修复。

电动机外壳带电多为电源线与接地线搞错,纠正错误;电动机绕组受潮,绝缘严重老化,电动机烘干处理;老化的绝缘要更新;引出线与接线盒接地,包扎或更新引出线绝缘;修理接线盒;线圈端部碰端盖接地,拆下端盖检查接地点,线圈接地点要包扎,绝缘和涂漆,端盖内壁要垫绝缘纸。

电动机空载或负载时电流表指针不稳、摆动:绕线转子电动机有一相电刷接触不良,调整刷压和改善电刷与集电环的接触面;绕线转子电动机集电环短路装置接触不良,检修或更新短路装置;笼型转子开焊或断条,采用变压器或其他方法检查;绕线转子一相断路,用校验灯、万用表等检查断路处排出故障。

电动机启动困难,加额定负载后,电动机转速比额定转速低:电源电压过低,用电压表或万用表检查电动机输入端电源电压大小,然后进行处理; Δ 连接绕组误接成Y连接:

将Y连接改回 Δ 连接;笼型转子开焊或断裂:检查开焊或断裂后进行修理;绕线转子电刷或启动变阻器接触不良,检修电刷与启动变阻器接触部位;定、转子绕组有局部线圈接错或接反;重绕时匝数过多,按正确绕组匝数重绕;绕线转子一相断路:用校验灯万用表等检查断路处,然后排除故障;电刷与集电环接触不良,改善电刷与集电环的接触面积,如磨电刷接触面,调压刷,车旋集电环表面等。

绝缘电阻低:绕组受潮或被水淋湿,进行加热烘干处理;绕组绝缘粘满粉尘、油垢,清洗绕组油垢,并经干燥、浸渍处理;电动机接线板损坏引出线绝缘老化、破裂:重包引线绝缘,更换或修理出线盒及接线盒;绕组绝缘老化,经鉴定可以继续使用,可经清洗干燥,重新涂漆处理,如果绝缘老化,不能安全运行时,需要更换绝缘。

三相空载电流对称平衡,但普遍增大:重绕时线圈匝数不够,重绕线圈,增加合理的匝数;Y连接电机,误接成 Δ 连接,将绕组接线改为Y连接;电源电压过高,测量电源电压,如果电源本身电压过高,则与供电部门协商解决;电机装配不当,检查装配质量,消除故障;气隙不均或增大,调整气隙,对于曾经车过转子的电机需要换新转子或改绕纠正空载电流大问题;拆线时,使铁心过热灼损:检修铁心或重新计算绕组进行补偿。

电动机空载运行时空载电流不平衡,且相差很大:重绕时三相绕组匝数不均,绕组重绕改正;绕组首尾端接错,查明首尾端,改正后再起动机试验;电源电压不平衡:测量电源电压,找出原因予以消除;绕组有故障,如匝间短路,某组线圈接反等等,拆开电机检查绕组极性和故障,然后改正或消除故障。

层间绝缘击穿:层间垫条材质差,或厚度不够,改用材质好的,如环氧玻璃布板垫条,或适当加厚垫条;层间垫条垫偏,或尺寸不合适:要求下料尺寸正确,操作细心,严格按工艺规定进行;线圈松动使层间垫条磨损,可加槽衬或加厚垫条,或采用VPI“整浸”工艺。

匝间绝缘击穿:间绝缘材质不良,用浸树脂漆补强或采用“三合一”粉云母带;绕线、嵌线时匝间绝缘受损,严格按工艺规定操作;匝间绝缘厚度不够或结构不合理,按匝间电压大小正确选择匝间绝缘厚度或绝缘结构。

定子线圈绝缘磨损或电腐蚀:线圈与槽比间间隙过大,可浸树脂漆,将槽部空隙填满;槽楔松动,更换槽楔或在槽隙下加垫条;线圈外形尺寸超差:按图纸要求重绕线圈;

防晕漆失效, 起出线圈, 重新涂防晕半导体漆; 绝缘粘有油污尘污, 清洗或吹拂绕组上的污垢。

泄漏电流大: 电机受潮, 清理后将绕组烘干; 绝缘表面有油污粉尘, 清扫或洗涤绕组绝缘; 绝缘老化, 更换绝缘。^[3]

4 三相异步电动机的典型故障检修

电动机发生故障会出现一些异常现象, 如温度升高, 电流过大、发生震动和有异常声音等。检查、排除电动机的故障, 应首先对电动机进行仔细观察, 了解故障发生后出现的异常现象。然后通过异常分析原因, 找出故障所在, 最后排除故障。

电动机不起动。电源未接通: 检查开关、熔丝, 各对触点及电动机引出线头。绕组断路将断路部位加热到绝缘等级所允许的温度, 使漆软化, 然后将断线挑起, 用同规格线将断掉部分补焊后, 包好绝缘, 再经涂漆, 烘干处理。绕组接地或相间、匝间短路, 处理办法同上, 只是将接地或短路部位垫好绝缘, 然后涂漆烘干。绕组接线错误核对接线图, 将端部加热后重新按正确接法接好。熔体烧断查出原因, 排除故障、按电动机规格装配新熔体。绕线转子电动机启动误操作: 检查集电环短路装置及启动变阻器位置, 启动时应先串接变阻器, 启动完成后再接短路装置。过电流继电器整定值太小: 适当调高; 老式启动开关油杯缺油: 加新油, 达到油面线; 控制设备接线错误: 校正接线。

电动机通电后, 电机不起动, 嗡嗡响。改极重绕后槽配合选择不当: 选择合理绕组形式和绕组节距; 适当减小转子直径; 重新计算绕组参数; 定、转子绕组短路: 查明断路点进行修复; 检查绕线转子电刷与集电环接触状态, 检查启动电阻是否断路或电阻过大; 绕组引出线始末短接错或绕组内部接反, 在定子绕组中通入直流, 检查绕组极性判定绕组首末端是否正确; 电动机负载过大或被卡住, 检查设备, 排除故障; 电源未能全部接通, 更换熔断的熔体; 紧固接线柱松动的螺钉; 用万用表检查电源线断线以及假接故障, 然后修复。电压过低, 如果 Δ 联接电动机误接成Y连接, 应改回 Δ 连接; 电源电压太低时应与供电部门联系解决; 电源线压降太大造成电压过低时, 应改粗电缆线。

电源电压过高, 使铁心磁通密度过饱和造成电动机温升过高, 如果电源电压超过标准很多, 应与供电部门联系解决; 电源电压过低, 在额定负载下电机温升过高: 若因电源线电压降过大而起, 可更换较粗的电源线, 如果是电

源电压太低, 可向供电部门联系, 提高电源电压; 灼线时, 铁心被灼过, 使铁耗增大, 做铁心检查试验, 检修铁心, 排除故障; 定转子铁心相擦, 检查故障原因如果轴承间隙超限, 则应更换新轴承, 如果转轴弯曲, 则需调查处理, 铁心松动或变形时应处理铁心消除故障; 绕组表面粘满尘垢或异物, 影响电机散热, 清扫或清洗电机, 并使电机通风沟畅通; 电动机过载或拖动的生产机械阻力过大, 使电机发热, 排除拖动机械故障, 减少阻力, 根据电流指示, 如超过额定电流, 需减低负载, 更换较大容量电机或采取增容措施; 电动机频繁起动或正反转次数过多, 减少电动机起动及正、反转次数或更换合适的电动机; 笼型转子断条或绕线转子绕组接线松脱, 电动机在额定负载下转子发热, 使电机温升过高, 查明断条和松脱处, 重新补焊或扭紧固定螺丝; 绕组匝间短路相间短路以及绕组接地; 进风温度过高, 检查冷却系统装置是否有故障, 检查周围环境温度是否正常; 风扇故障通风不良, 检查电机风扇是否损坏, 扇叶是否变形或未固定好。必要时更换风扇; 电机两相运转, 检查熔丝, 开关接触点, 排除故障; 重绕后绕组浸渍不良: 要采取二次浸渍工艺, 最好采用真空浸渍措施; 环境温度增高或电机通风道堵塞, 改善环境温度, 采取降温措施, 隔离电动机附近高温热源, 避免电动机在日光下暴晒; 绕组接线错误, Y联结电动机误接成 Δ 联结, 或 Δ 联结电动机误接成Y联结要改正接线。

线圈端部受到机械力、电磁力的作用, 导致导线焊接点开焊, 检查焊接点, 重新补焊并加强绕组端部的固定措施; 焊接工艺不当, 焊接点过热引起开焊: 严格按焊接工艺操作; 导线材质不好, 有夹层脱皮等缺陷, 更换合格导线并进行绝缘处理。

线路过电压, 调整过电压保护值; 绕组绝缘老化, 更换绕组或有关部位的绝缘; 绕组绝缘缝隙内堆积粉尘过多, 清扫或洗涤绝缘, 然后再烘干—浸漆—烘干; 遭受机械力、电磁力作用后绝缘受损, 局部补强或更换绕组绝缘, 然后再进行浸烘。

电机长期过载, 绝缘老化变质引起绝缘对地击穿, 调整负载或更换容量合适的电机, 避免局部过热; 输电线雷击过电压或操作过电压击穿绝缘, 增添或检查防雷保护装置; 由于导电粉尘积累使爬电距离缩小产生对地击穿或闪络: 定期清扫绝缘, 增设防尘密封绝缘装置; 通风道垫后, 齿压片开焊, 铁心叠压不紧齿部颤动以及弯曲的齿压片刮

磨线圈绝缘, 导致绕组接地故障, 详细检查各部分焊接质量, 变形情况, 经校正或补焊保证垫片, 齿压片等固定良好。铁心叠压不紧时应添硅钢片或加高齿压条并重新压装铁心; 由于线圈短路烧焦绝缘, 造成对地故障, 检查短路原因, 拆除部分线圈, 补加绝缘并经浸烘处理。^[4]

5 三相异步电动机异常杂音的故障检修

电动机通常在正常运行时, 发出的声音是平稳、轻快、均匀的; 如果出现尖叫、沉闷、摩擦、振动等刺耳的异常杂音, 说明电动机有了故障。首先应判断是机械还是电气的原因引起的, 方法是: 接上电源, 有不正常的声音存在, 切断电源, 不正常声音仍存在, 则为机械故障; 否则为电气方面故障。电动机正常运行时机械噪声应该是细小的“沙沙”声, 没有忽高忽低的变化, 没有金属摩擦声, 即是轴承正常运转的声音。

常见的由机械故障引起的不正常声音有以下几种:

“滋滋”声是金属摩擦声, 一般由轴承缺油于磨所致, 应拆开轴承添润滑油剂等。

“嘎吱嘎吱”声是轴承内滚柱的不规则运动产生的声音, 它与轴承的间隙、润滑油的状态有关。如果电动机只有这种声音而无其他不正常现象, 而且在加润滑油后这种声音立即消失, 便不是故障, 电动机仍可继续使用。

“哪里哪里”声是滚柱或滚珠运转时产生的声音, 如无其它杂音, 而且在加注润滑油后声音明显减小或消失, 一般不是故障, 电动机可继续运行。

“咚咚”声有两种可能: 一是电动机骤然启动、停止、反接制动等变速情况下, 加速度力矩使转子铁心与轴的配合松动造成的; 二是传动机构发出的声音, 可能是联轴器或皮带轮与轴之间松动、键或键槽磨损所致。

“嚓嚓”声是电动机扫膛引起的噪声; 周期性的“啪啪”声是皮带接头处不平滑所致。电气故障引起的异常杂音: 粗壮的“嗡嗡”声, 像牛嚎叫声主要是由于电流不平衡造成的, 因为电流不平衡时会产生与负载有关的两倍电源频率的电磁噪声, 是农用电动机烧毁的主要原因。遇到这种情况应立即停机, 排除故障后再投入运行。“嘶嘶”或“噼啪”放电声定子绕组轻微接触不良或漏电时产生轻微的“嘶嘶”放电声, 严重时会发生“噼啪”放电声。蚊叫声定子绕组端部捆扎不结实或浸漆不好, 整个定子绕组末端未形成牢固的整体, 个别导线在电磁力作用下抖动引起的。起

动、停车及负载变化时有金属撞击声一般是因为定转子铁芯松动造成的。不规则的蛙叫铁芯内部有气隙或松动引起。金属的抖动声定子端部铁芯片张开, 张开的硅钢片振动发出金属抖动声。^[5]

电动机改极重绕时, 槽配合不当, 要校验定、转子槽配合; 转子擦绝缘纸或槽楔, 剪修绝缘纸或检修槽楔; 轴承磨损、有故障, 检修或更换新轴承; 定、转子铁心松动, 检查振动原因, 重新压铁心进行处理; 电压太高或三相电压不平衡, 测量电源电压, 检查电压过高和不平衡原因进行处理; 绕组有故障(如短路); 重绕时每相匝数不相等, 重新绕线, 改正匝数; 轴承缺少润滑脂, 清洗轴承, 填加润滑脂, 使其充满轴承室净容积的 $1/2 \sim 1/3$; 风扇碰风罩或风道堵塞, 修理风扇和风罩, 使其几何尺寸正确, 清理通风道。

6 结束语

总之, 以上故障, 无论哪一项都有可能烧毁电动机, 给生产工作造成严重的影响。随着科学技术不断发展, 电动机及控制设备的技术性能也日益完善。在工作中如何正确的使用和掌握其性能, 还需要我们在实际工作中不积累经验, 判断电动机及控制设备存在的问题与故障处理, 找出故障原因并加以分析, 及时采取对策以保证电动机及传动设备的正常运行。为了保证电动机的安全运行, 电气工作人员必须掌握异步电动机的安全运行的相关基本知识。能做到正确判断电动机现阶段的整体情况, 并且能对将要发生的故障提出事先的警告, 以便生产人员在生产过程中能够正确并安全的完成工作。

参考文献

- [1] 王浩. 三相异步电动机定子绕组故障研究. 河南科技 2019 年第 16 期 54-56 页.
- [2] 曹磊. 三相异步电动机常见故障分析及处理. 机电信息 2019 年第 20 期 50-51 页.
- [3] 胡静. 三相异步电动机维修及故障排除研究. 内燃机与配件 2019 年第 2 期 120-121 页.
- [4] 吴一帆. 污水处理厂三相异步电动机常见故障和维修. 电气时代 2020 年第 6 期 71-73 页.
- [5] 王海彦. 三相异步电动机绕组接地故障诊断与检修策略. 中国设备工程 2020 年第 7 期 150-152 页.