

直流支撑在纺丝线中的运用

陶建勇

四川晨光工程设计院有限公司

摘要: 由于纺丝生产线对电网质量要求较高, 由于晃电现象的存在, 可能会导致连续生产的连续性中断、纤维断丝, 从而影响了产品的性能质量, 甚至影响工厂产能, 订单不能按时交付, 给工厂造成较大的经济损失和合同纠纷。直流支撑系统通过不间断的采集变频器的直流母线电压, 当晃电情况发生时, 直流支撑系统迅速判定故障状态, 快速、稳定的释放出电能, 保证设备在直流支撑系统下不间断的运行。在储能元件的选择中, 根据使用场景特点分析, 由于晃电带来电机的停机风险, 储能元件需要较大电流, 时间不超过1分钟, 所以超级电容更能符合在纺丝线中的工况要求。

关键词: 晃电; 直流支撑系统; 蓄电池; 超级电容器

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2022.08.094

一、技改项目问题

在某新材料公司脱瓶颈技改项目中, 根据工艺流程连续性的要求, 纺丝生产线在正常的运行生产过程中, 硫酸输送泵(等等)需要保持稳定的运行, 否则会因为电机的异常停机造成整条连续工艺生产线中断, 生产出废料、纤维断丝等情况。如果情况发生, 不但增加了企业的生产成本, 而且还降低了企业的产品质量, 同时也影响了产能, 甚至会影响产品订单的交付, 因此在本次技改中迫切需要解决生产线中关键设备由于晃电而停机状况。

二、电动机停机问题分析

根据查询厂区变电站运行记录, 厂区每年大约会出现6~10次的晃电故障, 这是造成非计划性停机的重要原因。电网电压不稳定的主要原因是因为1) 电网故障: 如短路故障、过载故障、线路接触不良等; 2) 突发负荷变化: 当大型电机启动、大型负载突然连接或断开时, 会引起电网电压暂降; 3) 设备故障: 如变压器故障、开关设备故障等; 4) 大规模的电源切换: 例如发电机组切换或系统切换, 可能引起电压暂降; 5) 外部干扰: 如雷击、电力设备的突发故障、强电磁辐射等。再从晃电发生的过程来看, 晃电电压的骤升到标称电压的1.1~1.8倍或骤降至标称电压的0.1~0.9倍, 一般在0.5个周期至1分钟内。这都表明由于晃电发生的偶然性和快速性, 人工无法及时处理, 造成非计划性停机, 打断生产的连续性。

三、关键设备晃电影响分析

1) 交流接触器在电动机控制系统中的应用, 非常广泛, 占了相当大的比例。由于电磁式交流接触器的工作原理和特点, 会造成电磁式交流接触器工作线圈短时

间断电, 或电压过低, 造成靠电流维持吸合动、静铁芯吸力小于释放弹簧的弹力使接触器跳闸, 这是接触器产生跳闸停机的重要原因。

2) 变频器具有完善的保护措施, 可以实时监测直流母线电压的功能, 当电压出现下降或波动时, 变频器会立即感知这种变化。一旦电压降低到一定程度, 变频器的低压电保护功能会被触发。如果低压电被触发, 变频器就会迅速的控制电动机进入自由制动的状态。

四、解决晃电的方法

随着工程技术的不断发展, 大量的工程专家经过不断的研究、探索, 在解决晃电方面提出了各种解决方案, 就目前来说大致可能有以下几种方案:

1) 使用电压稳定器: 电压稳定器是一种能够稳定输出电压的设备, 可以在电压暂降发生时提供稳定的电压供应。

2) 安装不间断电源设备(UPS等): 无断电设备能够在电网供电中断时提供电力, 防止设备由于电压暂降而停止运行或数据丢失。

3) 加强电网监测和维护: 通过定期巡检、故障检测和维修, 及时发现和修复潜在的电网故障, 减少电压暂降的发生。

4) 提高电网容量和可靠性: 对电网进行合理规划和设计, 增加输电线路的容量, 提高变电站的运行可靠性, 以减少电压暂降的概率。

5) 降低负载冲击: 采取合适的负载管理策略, 避免大型电机同时启动、大型负载的突发连接或断开等情况, 减少电压暂降的发生。

结合本项目工艺对电动机的需求, 仅需保证关键设备电机在电压降发生的时间内, 电动机持续稳定运行,

即可满足生产需求；因此本项目将采用安装不间断电源的方式来保证关键设备的持续稳定运行。

五、电压暂降解决方案比较 UPS和直流支撑系统

目前提供稳定电源的系统大概可以分为两类，即UPS和直流支撑系统。

UPS的一个关键性能指标是峰值因数，它代表了UPS输出电流瞬时峰值与有效值之间的比率，反映了设备承受冲击电流的能力。高峰值因数意味着设备在应对突发电流时具有更强的稳定性。标准的UPS峰值因数通常为3:1，这足以满足大多数非线性负载在正常工作状态下的需求。但在面临巨大冲击电流时，即使是3倍于额定电流的UPS也可能无法满足需求，此时，必须提升供电设备的容量，以应对这种电流冲击。值得注意的是，像计算机、通信和测控设备这类负载在启动过程中通常不会产生显著的冲击电流。然而，某些设备如电机在启动或工作时可能会产生高达7倍于正常值的冲击电流。为了确保UPS的稳定运行，避免其因过载而自动关闭，针对这类设备，我们需要进一步提高UPS的装机容量。

直流支撑系统是一个综合性的系统，包括充电器、储能单元、执行单元、检测单元和压差控制器。该系统通过改进变频器的直流回路，实现了在电压暂降时迅速响应并稳定直流电源输出的功能。当检测到电压暂降时，执行单元会立即导通，使储能单元向变频器的直流侧提供稳定的直流电源，从而保证变频器的输出不变。该系统具有卓越的稳定性和可靠性，完全适用于工业环境中的变频器应用。在这个系统中，充电器负责为储能单元充电，保证储能单元始终有足够的能量供应。检测单元则实时监控电压状态，一旦发现电压暂降，就立即通知执行单元进行响应。执行单元则负责控制储能单元的能量释放，保证变频器直流侧的电源稳定。压差控制器则用于调节储能单元的输出电压，确保其与变频器直流侧的电压匹配。直流支撑系统的主要特性体现在其工作模式为后备式，这意味着它无须考虑电机启动时可能产生的冲击电流，因此，其所需容量仅为电机容量的1.1倍。此外，该系统与变频器并联运行，为变频器提供了交流和直流两种冗余供电方式。这两种供电方式相互独立，从而有效避免了它们之间的相互干扰。

通过对UPS和直流支撑系统的特点分析，纺丝线中的硫酸泵（等）关键工艺设备，容量大、电动机启动电流大，直流支撑系统符更加符合工况的使用要求。

六、储能元件的选择

根据生产工艺特点，纺丝生产线中硫酸泵（等）关键工艺设备重点需要解决电网晃电带来的影响，而晃电的特点是偶然且快速，结合项目重点设备的运行工况重点分析铅酸电池和超级电容在本项目中的比较和选择。

在供配电系统中，通常采用铅酸蓄电池作为备用电源或应急电源的储能元件。铅酸蓄电池经过100多年的发展历史，电池本身的工艺和电池监测系统非常完善，已经在各行业中大量采用，但随着近年来储能技术的不断发展，涌现出很多的储能手段，例如，包括抽水蓄能、压缩空气储能、飞轮储能、锂离子电池、铅蓄电池、液流电池、钠离子电池、超级电容器等，我们则可以根据具体的使用环境、工况合理选择更合适储能元件。

1. 放电特性

铅蓄电池是一种能量转换装置，通过电能和化学能之间的相互转换来实现其功能。在充电过程中，电能被转换为化学能并储存在电池中，而在放电过程中，这些储存的化学能又被转换回电能以供使用。铅蓄电池采用海绵状铅作为负极，二氧化铅作为正极，并使用密度在1.26~1.33g/ml之间的稀硫酸作为电解质。当铅酸蓄电池放电时，即电池向外部设备提供电能时，负极的铅会经历氧化反应。在这个过程中，铅原子失去电子并与硫酸反应，生成硫酸铅和水。同时，在正极，二氧化铅发生还原反应，它接受来自负极的电子并与硫酸反应，同样生成硫酸铅和水，这两个反应是同时进行的，并且产生电流。超级电容器则主要依赖活性炭的多孔电极与电解质组成的双电层结构来实现其巨大的电容特性。不同于常见的电化学电容器，超级电容器的能量储存机制并不涉及化学反应，而是高度可逆的物理过程。其工作原理主要基于静电极化电解溶液的方式来实现能量的储存与释放。这种机制确保了超级电容器在充放电过程中的高效、快速和稳定性能。

蓄电池的放电大概分为三个阶段。在放电的初期段时间内，端电压会急剧下降，然后进入平稳的放电阶段，端电压缓慢下降，当接近放电终期时，蓄电池的端电压又会在短时间内急剧下降。在放电的初期，极板微孔中硫酸首先被消耗掉，微孔内溶液密度立即下降，而本体溶液中的硫酸向微孔内的扩散速度很慢，不能立即补充所消耗的硫酸，使微孔中硫酸浓度下降，故本体溶液与微孔中的溶液形成较大的浓度差，即此阶段浓度极化较大，结果将导致电池端电压明显下降。随着浓度差

的增大,使硫酸的扩散速度增加,当电极反应消耗硫酸的速度与硫酸扩散的速度相等是,此阶段结束。

在超级电容器的放电过程中,电子通过负载由负极向正极流动,进而在外电路中形成电流。同时,正负离子从电极表面脱离,进入溶液体以保持电中性状态。这种独特的储能机制使得超级电容器能够迅速释放大电流,并且其存储容量与所选电极材料的有效比表面积呈正相关关系,即比表面积越大,存储容量也相应增大。双电层的厚度取决于电解液的浓度和离子大小。电容放电是指将电容器内存储的电荷释放出来的过程。当电容器处于充电状态时,储存在其中的电荷会在电场的作用下形成一个带有电荷的静电场。当电容器两端之间的电路被闭合时,电荷就开始流动,电荷从极板进入电路,随着时间流逝,蓄电池在极板上的电荷逐渐减少,电场强度也逐渐降低。电容器内部电场变化时放电过程的最关键因数之一。电场的变化驱动着电荷在电容器内部的流动,并决定了放电速度的快慢。初始时,内部电场强度较高,电荷受到较大的电场力,从而加速流动。随着电容器放电,电场强度逐渐减小,电场力对电荷的作用力减小,电荷的流动速度减慢。

本项目由于电动机的瞬间失压,造成电动的停机,结合蓄电池和超级电容的放电性能,在失电瞬间超级电容能够在短时间内提供较大的起动力。

2. 充电特性

蓄电池的充电过程是复杂而精细的化学反应过程,大致可分为三个阶段。首先在充电初期,电流通过蓄电池的正负极,开始为电池充电。由于此时电池内部电荷量较少,所以电流较大,导致端电压迅速上升。这个阶段的充电速度最快,也是充电过程中最为关键的一个环节。因为在这一阶段,电池内部的化学物质开始活跃起来,正极的铅氧化物和负极的铅开始发生化学反应,生成硫酸铅。在充电中期,硫酸开始向外扩散。在这个阶段,随着充电的进行,电池内部的化学反应逐渐深入,硫酸铅开始分解成硫酸和铅。由于硫酸的生成,电池内部的硫酸浓度开始上升,因此硫酸开始向电池的外部扩散。这个阶段需要适当控制充电电流,避免电流过大导致电池内部压力过大,从而影响电池的使用寿命。充电后期,也称为涓流充电阶段。在这个阶段,电池内部的化学反应已经趋于平衡,硫酸的扩散也趋于稳定。此时,充电电流逐渐减小,电池端电压上升的速度也明显放缓。这个阶段的主要目的是确保电池能够完全充满,

同时避免过充对电池造成损害。通过涓流充电,可以确保电池在充满电后能够保持稳定的电压,从而提高电池的使用寿命。

超级电容器具有低浮充电电流,简单充电,高峰值电流。在充电过程中,外加电源将电子从正极引导至负极。当超级电容开始充电时,受到固体电极上电荷引力的影响,溶液中的正负离子开始从溶液体中分离,并分别向两个固体电极的表面移动并聚集。由于这个过程主要涉及离子的物理移动而非化学反应,因此充电速度非常快,通常只需要几秒钟到几分钟就能达到额定容量的绝大部分。超级电容在充电过程中形成了稳定的双电层结构。当电极上的正负电荷与溶液中的相反电荷离子相互吸引时,它们之间形成了一个稳定的电场,使得双电层结构得以保持。这种稳定的结构使得超级电容能够在短时间内存储大量的电荷,同时保持较高的能量密度。

由于超级电容的充放电性质,它在纺丝线中能够为电动机快速的提供启动电流,在规定的时间内,保证了电动机的稳定运行。当然超级电容的储能原理和材料特性使他还具有工作温度范围宽的特点,超级电容能在 $-40\sim 70^{\circ}\text{C}$ 的环境中正常工作;超级电容还具有至少十万次以上的充电使用寿命,没有记忆效应。

通过以上的分析,超级电容在抗晃电方面具有比铅酸蓄电池更加优越的性能。

七、结语

在石油化工行业中,我们的供电系统已经能够达到达到规范的要求,但还需要结合实际情况,对特别重要的设备供电电源的可靠性进行分析,提供更为科学的供电方案。直流支撑系统由于能够在 $10\text{S}\sim 10$ 分钟内充电容量达到标准容量的95%以上,并且在作为一种特殊的备用电源,它还具备超强的电流放电能力,能量转换效率高,过程损失很小。由于这些性质,在解决由晃电带来的非计划停机方面,能够充分发挥出设备本身的性能,保证了生产线工作的连续性。

参考文献

- [1]张浩波,李云松. 超级电容器储能和充电效率随电流变化规律探讨[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2016, (41, 3): 18-23.
- [2]陈丰源. 铅酸蓄电池放电特性研究与运行分析[J]. 设备管理与改造, 2019, (5, 575): 25-27.
- [3]王国伟, 栗进波, 刘学武. DC-BANK在液氧泵变频器上的应用[J]. 电气技术, 2012(12): 82-83.