

# 基于高温工况的液压拉力机油温控制优化研究

胡红举

塞迪维尔玻璃绝缘子(上海)有限公司 上海 200083

**摘要:** 玻璃绝缘子主要用在高压输配电线路中,起到绝缘和悬挂导线的作用,是电力系统中关键的安全组件。该产品主要是由钢化玻璃、铁帽、钢脚组成,并用胶合剂(高强度水泥)胶合为一体。为保证绝缘子的抗拉强度,每个绝缘子在组装养护好之后,必须要在液压拉力机上面做拉力测试。由于拉力机测试绝缘子需要连续工作,以前夏天,液压油经常会出现高温,造成停机。后来工程维修部门成立技术攻关小组,作者作为小组核心成员,通过分析液压系统发热机理,提出了环境通风优化、风冷式散热器升级、冷水机+风冷式散热器联用等多层次降温方案,并设计了IO-Link的智能温控与报警系统。实施后,液压系统油温稳定在30~50℃,实现了夏季24小时连续运行。降温方案的有效实施保证了生产的正常运行,为国家高压及特高压电网建设绝缘子需求提供了保障。基于此,本文将对液压拉力机油温升高的成因及解决措施做如下研究。

**关键词:** 液压拉力机;油温控制;温控优化;散热系统优化;智能监测;高温工况;玻璃绝缘子

## 引言

拉力机,也称为拉伸试验机,是质量检测中的重要设备之一,主要用于检测原材料或产品的拉伸性能,如抗拉强度、延伸率等。在质量控制中,拉力机发挥着不可替代的作用。本文将针对“玻璃绝缘子液压拉力机”进行研究分析,该设备一般由液压部分(柱塞泵、电机、液压阀、油缸等)、机械传动部分(链轮、空心滚子链、驱动电机及减速机等)、拉力夹具部分(闭合工装、拉杆等)、控制部分(PLC、HNC及其电路)等几个主要部分组成。其工作原理是电机带动柱塞泵旋转,柱塞泵吸油并通过油管把油液传输到油缸,从而实现油缸的来回动作。液压阀控制油缸的方向变化、力的大小和运行速度。

玻璃绝缘子规格很多,拉力测试要求也不一样。对于经常生产的070玻璃绝缘子,测试拉力要求42KN;550玻璃绝缘子测试拉力要求330KN,拉力变化范围很大,油温的稳定性对拉力数据的可靠性有很大帮助。而且如果拉力机长时间生产330KN产品,由于拉力数值很大,经常会出现油温升高的现象,如果不能有效控制油温,就很可能导致停机停线,影响正常生产。

由于水冷系统需配套水泵、水箱等设施,初期成本高;还要定期更换冷却液、清理水垢,维护更复杂。因此本研究摒弃了传统意义上的水冷系统,创新性的采用了“冷水机+风冷式散热器”联动降温的方式。所以本

研究对保持生产的连续性、稳定性,提升玻璃绝缘子的智能制造水平有重大意义。

## 一、液压油温升高的机理与影响

液压油温升高的机理主要源于系统内部能量损耗转换为热量。一般来说,液压系统正常工作温度范围应该控制在30~50℃,处在这个温度下,油液的黏度、润滑性和耐磨性均处于最佳状态,系统工作效率最高、最稳定。作者经过长期现场观察、查阅资料并和相关知名油品生产商沟通后,发现设备工作时液压油温度尽量不要超过60℃。如果液压油长时间高温,将产生如下影响:

### 1. 液压油性能变化

#### (1) 液压油黏度降低,润滑性能下降

温度对液压油黏度的影响很大。当液压油温度升高时,液体分子运动加剧,内聚力减小,液压油变的稀薄,变薄的液压油油膜极易被破坏,导致润滑性能变差,进而加剧液压元件磨损,损害液压泵、液压阀、液压油缸等重要液压控制元件、执行元件。当油温超过60℃以上时,每升高10℃,液压油氧化速度成倍递增。并且氧化物的化学性质更为活泼,产生的油泥与污物,又作为催化剂,进一步加速油液的氧化。

#### (2) 影响液压油使用寿命

液压油高温会使其黏度降低,产生气穴,氧化速度加快,导致老化、变质,降低其使用寿命。

## 2. 系统效率与密封性能

### (1) 液压系统内泄漏增大

液压油温度升高, 导致油液变的稀薄, 进而造成液压系统内泄量增大, 液压设备动作变慢无力, 降低工作效率, 液压系统各项性能都开始变的不稳定, 液压系统工作精度下降。

### (2) 影响液压设备动作

液压油温度升高, 导致控制阀的阀芯与阀体受热膨胀, 配合间隙变小, 影响阀芯移动, 磨损加剧, 甚至卡住, 影响液压系统的正常动作。作者之前曾经遇到过液压设备由于油温过高, 换向阀阀芯受热卡死导致其不能正常换向, 后来停机等待油温恢复正常后, 设备又可以正常工作。

### (3) 密封件老化加速

市场上的密封件所采用的密封材质一般是合成树脂和合成橡胶, 常用的密封材料是聚四氟乙烯 (PTFE)、聚氨酯 (PU)、橡胶 (NBR)、硅橡胶 (VMQ) 和氟橡胶 (FKM) 等, 这些密封件在液压油长时间高温的时候, 会加速老化, 密封性能降低, 出现漏油, 对环境造成污染, 如果液压油漏在地面上, 还会带来一定的安全隐患。

## 二、油温升高原因分析及优化措施

液压油温升高, 主要是以下几个原因:

a. 液压系统的工作压力: 液压系统工作时所承受的压力越高, 发热量越大, 油温越高;

b. 液压系统的流量: 液压系统的流量越大, 所需要泵的功率越大, 从而产生更多的热量;

c. 液压油的黏度: 液压油黏度越大, 在通过油管流动时, 需要克服更大的摩擦, 从而产生更多的热量, 使油温升高;

d. 系统中的液压阀: 液压阀的流阻会增加系统的压力, 从而增加系统的发热量, 造成油温升高。

发热量的计算可以使用下面的公式:

$$Q=V \times \rho \times C_p \times \Delta T$$

其中:

Q表示热量, 单位为J (焦耳)

V表示液体的体积流量, 单位为 $m^3/s$

$\rho$ 表示液体的密度, 单位为 $kg/m^3$

$C_p$ 表示液体的定压比热容, 单位为 $J/(kg \cdot K)$

$\Delta T$ 表示液体的温度差, 单位为K

通过以上几个原因的把握, 就可以计算液压系统的发热量, 并进行如下相应的优化。

## 1. 环境与散热系统优化

### (1) 改善现场工作环境温度, 加强通风

例如: 夏天, 玻璃绝缘子组装车间环境温度经常在 $40^\circ C$ 左右, 而且绝缘子组装时需要高温热水, 高温热水蒸发出的水蒸汽使车间变得高温且潮湿。这个环境对液压拉力机工作非常不友好。为了改善拉力机运行环境, 于是在房顶开设了通风气楼、车间悬挂工业大吊扇等方式改善现场通风条件, 降低设备工作环境温度。

### (2) 液压设备回油管路增加风冷式液压油散热器

风冷式液压油散热器主要由散热片、风扇和外壳组成。该散热器一般装在液压设备的回油管路上。当液压油在系统中循环流动经过散热器时, 散热器风扇高速转动产生气流, 带走油液中的热量, 从而降低液压油的温度。风冷式液压油散热器风扇工作时, 容易造成灰尘附着在散热片上, 造成散热不良, 所以应经常检查、清洁散热片, 确保散热良好。一般作业环境下, 7天左右应该彻底清理一次散热片上的灰尘, 如果在灰尘较大的场合, 要适当增加清理频次。清理的时候, 散热器应该处于停机状态而且最好采用工业吸尘器吸附灰尘, 避免使用压缩空气吹扫, 压缩空气吹扫容易造成灰尘漂浮在空气中。漂浮的灰尘, 一方面污染环境; 另一方面, 漂浮的灰尘对其他设备也会造成影响。

## 2. 液压系统结构与油路设计

### (1) 优化液压油箱尺寸设计

液压油工作过程中, 一部分热量是通过液压油箱散发。油箱表面积越大, 油箱和空气的接触面积就越大, 越有利于液压油的散热; 其次, 液压油油箱内油量越多, 越能更好地稀释高温油, 也越有利于降低油温; 反之, 油箱太小或油位太低, 都不利于油温降低。还有下面一点也比较重要, 就是如果液压油油位过低的话, 会增大液压泵的吸油阻力, 进而造成液压泵、液压油的温度升高。

### (2) 优化液压油箱结构设计

有些油箱在结构上设计不合理, 吸油管口和回油管口较近, 中间又不设隔板或隔板设置不符合规范要求, 从而缩短了液压油液在油箱内的冷却循环及沉淀杂质的路径, 甚至造成大部分回油直接进入吸油管, 使液压系统热量累加, 加快油温升高。

### (3) 优化液压油管的设计、制作、安装

液压设备油管太细太长、弯曲多、油管内壁粗糙, 导致油管截面变化频繁, 使管路的局部阻力加大, 阻力系数可能比正常状况大2 ~ 3倍, 局部压力损失和沿程

损失大，系统效率低，液压油产生热量。

### 3. 油品管理与压力调节

#### (1) 液压油使用寿命管理

液压油的使用寿命一般在4000 ~ 6000小时，超过这个时间后，液压油的抗磨性、空气释放性、润滑性、热氧化安定性、黏性、水解安定性等性能都达不到要求。任何一项性能不足，都可使液压系统进入负循环当中，导致油温升高。

#### (2) 合理调节系统压力

液压拉力机系统压力高低对液压油温度影响非常大，这点容易被很多人忽略。通过在某一特定现场环境下试验论证，液压拉力机正常工作的时候，压力：190bar，油温：45℃左右，当把拉力机系统压力调整到200bar的时候，油温在40分钟左右就达到了50℃。所以说在设备满足使用要求的情况下，合理设置液压系统压力，非常重要。

### 三、试验验证与效果分析

对于2.1.2，有时现场环境温度确实很高或者设备老旧，风冷式散热器效果并不理想。例如：作者所在公司拉力机安装了新散热器后，偶尔还会出现油温过高的情况。为了改善这个状况，通过增加冷水机、冷凝器，采用“冷水机+冷凝器+风冷式散热器联动降温”的方法，很好地解决了现场环境温度高、设备老旧，单独采用散热器降温效果不佳的情况。具体实施办法见如下原理图：

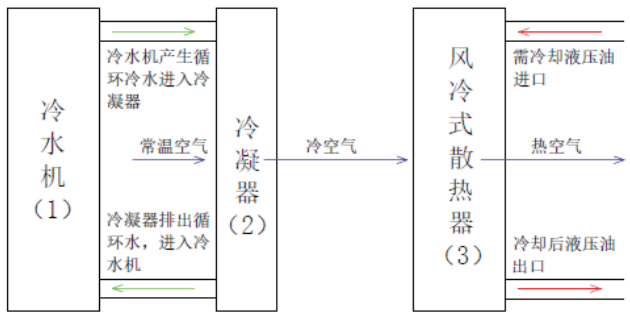


图1 冷却系统原理图

工作原理描述：冷水机(1)将自来水利制，产生冷水，并通过水泵将冷水送入冷凝器(2)，冷凝器(2)风扇将常温空气吸入，常温空气经过冷凝器(2)后变成冷空气，冷空气再被风冷式散热器(3)吸入，从而给高温油降温。

为了验证该方法在实际生产中的效果，我们做了如下试验：

- 1. 车间环境温度：37 ~ 38℃
- 2. 产品测试需要拉力：330KN

试验结果如下表所示：

冷水机“关闭”、“开启”对油温影响对照表

冷水机	冷水机设置温度数值(℃)	散热器	液压油冷却后温度(℃)	测试时长(min)
关	N/A	开	48	60
开	15	开	45	60
	10		43	60
	6		40	60

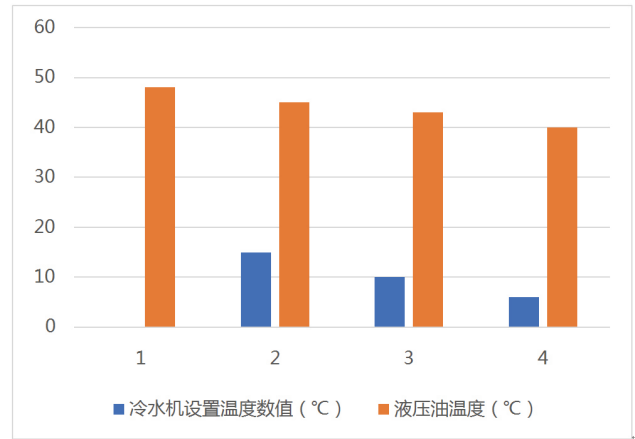


图2 冷水机设置温度、液压油温度柱状图

从上表和柱状图都可以看出，冷水机设置温度的高低对液压油温度有明显的影。所以该方法对于降低液压油温度具有显著的效果。

### 四、智能监控与预防措施

作者所在公司之前拉力机无油温检测及报警功能，油温只能靠每日人工巡检，这样不仅工作量大而且也不可靠。今年年初，通过技术人员的努力，实现了“设备高温保护功能”。

该功能具体实施办法如下：油箱中增加一个传感器(型号：IFM LT8023)，该传感器自带4位数字显示屏，可直接显示当前温度值(图3)，也可以通过IO-Link接口将温度数据传输至外部设备(如PLC或上位机)。



图3 LT8023传感器油温显示界面

该传感器如与PLC连接，需通过IO-Link主站，连接步骤是：

1. 传感器接入主站：将LT8023通过M12电缆连接至IO-Link主站；

2. 主站接入PLC：主站通过现场总线（如Profinet、EtherNet/IP等）连接至PLC。

报警显示：设置报警条件，如温度超过60℃，触发报警信号，在上位机（触摸屏）上显示报警信息（图4），同时报警灯闪烁、设备停止工作，提示相关人员采取相应的措施。



图4 触摸屏油温过高报警提示界面

## 结论

综上所述，本文通过案例研究，系统阐述了液压系统温控优化的方法体系。该体系可归纳为设计优化、维护管理与技术升级三个层面，其核心要旨在于通过创新的设计与智能控制策略，从源头降低发热、于过程强化散热，从而将系统油温精准稳定在30~50℃的最佳工作区间。本研究还集成应用了智能监测技术，实现了对油温及关键状态的实时监控与过热风险预警。

展望未来，液压系统温控技术将朝着智能化、低碳化与绿色化深度演进：其一，是依托实时数据与自适应算法的智能温控技术，实现动态调参与能效最优；其二，

是融合可再生能源与零泄漏设计的低碳液压技术，从根本上减少系统碳足迹；其三，是贯穿系统全生命周期的绿色节能技术，以最小化环境负荷为目标。上述方向的探索与实践，将为推动行业技术进步与可持续发展提供关键支撑。

## 参考文献

- [1] 李圣芳, 李玉杰. 某型推土机液压系统油温升高的原因分析及解决措施[J]. 工程机械, 2020, 51(07): 112-114+11
- [2] 武宝喜, 孙雁利, 王伟, 李恒. 液压油温升造成的液压故障分析与改进[J]. 韶关学院学报, 2019, 40(09): 51-53
- [3] 谭宁, 丁延雪. 叉车液压系统热平衡温度检验检测技术研究[J]. 机械管理开发, 2024, 39(03): 65-67
- [4] 王宏颖, 彭二宝. 机床液压油故障与控制研究[J]. 液压与气动, 2011(05): 106-108
- [5] 朱平. 大型矿用卡车液压系统油温过高原因分析[J]. 露天采矿技术, 2011(06): 90-91
- [6] 归少雄, 马丽英, 曹源文. 工程机械液压系统油温过高分析[J]. 建设机械技术与管理, 2012, 25(02): 109-111
- [7] 杨运高. 浅谈液压系统过热的原因及排除方法[J]. 职业, 2009(20): 115-116
- [8] 黄国权. 浅析液压系统中油温过高的危害和预防措施[J]. 中小企业管理与科技(下旬刊), 2009(05): 274