

# Cause Analysis of Leakage of Composite Cooler for Harmonious Electric Locomotive

Jun Wan

China Railway 16th Bureau Group Railway Transportation Engineering Co., Ltd., Shenmu, Shaanxi, 719316, China

## Abstract

As the core heat dissipation device, the composite cooler of harmonious electric locomotive is prone to leakage failure when running in high temperature and high pressure and complex environment, which affects the operation safety and efficiency of the locomotive. Based on this, the causes of corrosion on the internal and external surfaces of the cooler analyze the influence of external impurities, electrochemical corrosion, coolant quality and structural design on the corrosion of the internal and external surfaces of the cooler. According to the above causes, comprehensive prevention and improvement measures, including material optimization, surface protection treatment, coolant quality control, regular cleaning and maintenance, are proposed to improve the durability and reliability of the cooler and guarantee the overall operation of the electric locomotive.

## Keywords

harmonious electric locomotive ; leakage causes ; composite cooler

## 和谐型电力机车复合冷却器泄漏成因分析

万军

中铁十六局集团铁运工程有限公司, 中国·陕西 神木 719316

## 摘要

和谐型电力机车复合冷却器作为核心散热装置, 在高温高压和复杂环境下运行时容易发生泄漏故障, 影响机车的运行安全与效率。基于此, 论文从冷却器内外表面的腐蚀成因出发, 详细分析了外界杂质、电化学腐蚀、冷却液质量和结构设计等因素对冷却器内外表面腐蚀的影响。并针对上述成因, 提出了包括材料优化、表面防护处理、冷却液质量控制、定期清洗与维护等综合性预防与改进措施, 以提高冷却器的耐久性和工作可靠性, 为电力机车的整体运行做保障。

## 关键词

和谐型电力机车; 泄漏成因; 复合冷却器

## 1 引言

和谐型电力机车作为中国铁路运输中的主力车型之一, 其在高功率、长时间运行的条件下, 对冷却系统的稳定性和可靠性有着严格要求。复合冷却器作为机车主变压器和牵引变流装置的重要散热部件, 承担着维持设备正常温度、防止过热损坏的关键功能。然而, 近年来在复合冷却器的运行过程中, 泄漏故障频发, 影响冷却系统的工作效率, 甚至危及机车的运行安全。针对这一问题, 论文将从复合冷却器泄漏的成因入手, 深入分析冷却器内外表面腐蚀的机理及其对密封性的影响, 探讨改进措施, 以期为提高复合冷却器的防腐性能、延长使用寿命提供理论依据和技术支持。

## 2 复合冷却器的工作原理与构造

### 2.1 复合冷却器的基本工作原理

和谐型电力机车复合冷却器的基本工作原理是通过多种冷却介质的联合使用来有效散热, 以保证电力机车的变压器和牵引变流装置在高功率运行时的热稳定性。复合冷却器通常结合了空气冷却和液冷两种方式, 优化了散热效果。具体而言, 液冷系统通过循环冷却液(如油或水)流经热源部分, 将设备产生的热量吸收并传导至冷却器的热交换部件。与此同时, 空气冷却系统通过风扇或自然通风将冷却液中吸收的热量进一步散发到大气中。这种双重冷却方式能够实现高效的热管理, 确保电力机车在长时间、高强度的运行中不会因过热而损害设备性能或影响运行安全。此外, 复合冷却器的设计还通常包括多个温控传感器与自动调节系统, 能够根据设备的工作状态实时调节冷却效率, 保证冷却系统在各种工况下都能稳定运行。

【作者简介】万军(1980-), 男, 中国四川峨眉山人, 本科, 助理工程师, 从事和谐电力机车研究。

## 2.2 冷却器构造

复合冷却器由多种冷却部件和结构组成，旨在对主变压器和牵引变流装置提供高效的散热支持。其整体构造包含水冷和油冷两种核心冷却体，分别负责冷却不同的系统。复合冷却器的外部由散热翅片包裹，通过空气流动（侧面气道）来增加散热面积，提升冷却效果。内部构造包括复杂的冷却液通道系统，冷却液从进水口或进油口进入，经过水冷或油冷冷却芯体后，吸收热量，再通过出水口或出油口排出<sup>[1]</sup>。冷却器中复合板将冷却器内部分隔为多个通道，通过密封条确保冷却液在流动过程中的密封性。内翅片和外翅片的组合设计加大与空气的接触面积，确保热量从冷却液传递到散热翅片并最终释放到空气中。此外，复合冷却器结构中还有左右水腔、油腔等辅助组件，以便在不同运行条件下优化冷却效率。

## 2.3 使用环境及应用

和谐型电力机车的复合冷却器主要应用于高功率电力机车的主变压器和牵引变流装置的散热系统中，工作环境通常是温度变化大、振动强烈、粉尘多且湿度高的铁路线路。作为电力机车的核心散热装置，复合冷却器在长时间高负荷运行条件下必须保证高效散热，以防止设备过热导致故障。冷却器内包含水冷、油冷、风冷等多种冷却方式，通过多层冷却板和冷却液的流通，迅速带走热量，维持机车各关键部件的正常温度。此外，复合冷却器的密封性设计非常重要，因为在复杂的运行环境中，冷却系统需要经受高温、低温交替以及强烈振动的考验，以防冷却液泄漏或冷却效率降低。

## 3 复合冷却器泄漏的成因分析

通过对冷却器故障数据的统计分析，发现水冷却器泄漏占总故障数的75%以上，且复合冷却器的腐蚀是导致泄漏的主要原因<sup>[2]</sup>。具体成因分析如下。

### 3.1 冷却器外表面腐蚀

#### 3.1.1 外界杂质

冷却器外表面腐蚀的重要成因之一是外界杂质的长期积累，尤其是在电力机车复杂的运行环境中，这些杂质的种类和数量都显著增加。空气中悬浮的灰尘、盐分、金属微粒等污染物极易附着在冷却器的外表面，随着时间的推移逐渐积聚形成一层厚重的污染层。这些外界杂质在冷却器表面不仅对金属产生物理覆盖，还会导致化学侵蚀，特别是在潮湿环境下，吸湿的杂质层容易形成微小的液膜，进而为电化学腐蚀提供了必要条件。例如，盐分在潮湿环境中会溶解成电解质溶液，促使金属表面发生氧化反应，加速腐蚀的进程。与此同时，其他污染物如酸性颗粒或含硫气体附着在冷却器表面后，与金属接触可能引发更为复杂的化学腐蚀反应，进一步削弱冷却器的表面结构。随着杂质层逐渐加厚，冷却器的散热效率也受到显著影响，因为散热片被杂质覆盖后，热量传导能力下降，散热效果变差。这种热效率的降低不仅增

加了冷却器的工作负荷，同时还可能导致机车关键设备因温度过高而受损。此外，长时间的外界杂质积累和腐蚀作用还会削弱冷却器的结构强度，使其更易于产生裂纹、穿孔等损伤，最终引发冷却液泄漏。

#### 3.1.2 电化学腐蚀

冷却器外表面出现电化学腐蚀主要源于其工作环境的复杂性和冷却器本身材料的异质性。在和谐型电力机车的运行过程中，冷却器长期暴露于高湿度、多粉尘，甚至含盐的空气中，这些因素为电化学腐蚀提供了理想的条件。电化学腐蚀的产生机理通常与冷却器表面存在的不同金属材料之间的电位差有关。当冷却器外表面由于不同部位采用了异种金属材料或表面存在微小缺陷时，接触水分、盐分或其他电解质便形成了微电池效应，即金属材料中的活泼金属（阳极）逐渐发生氧化反应而被腐蚀，而较为惰性的材料（阴极）则保持相对稳定，这种微观的电流循环在冷却器表面不断进行，导致局部腐蚀的发生和加剧。

特别是在沿海地区或多雨潮湿的工作环境下，空气中含有大量的氯离子等腐蚀性成分，这些成分会加速电解质溶液的形成，使冷却器表面金属材料的氧化还原反应速度大大提高。此外，粉尘的积累和盐分的沉积会形成一层致密的腐蚀性覆盖物，使得水分滞留在冷却器表面，长时间不易蒸发，从而进一步促进了腐蚀反应的持续进行。随着电化学腐蚀的不断发展，冷却器表面金属逐渐被削弱，导致材料的厚度减薄、机械强度下降，甚至出现穿透性的孔洞。这种腐蚀不仅严重影响冷却器的密封性，导致冷却液的渗漏，还会削弱冷却器的结构稳定性，降低其整体散热效率，对电力机车的正常运行带来隐患。

### 3.2 冷却器内表面腐蚀

冷却器内表面的腐蚀直接关联和谐型电力机车冷却系统可靠性。经检查发现，水冷却器内表面腐蚀点数量仅为1个，不具有代表性。冷却器内表面若出现腐蚀情况，其成因或在于冷却液、工作温度、压力等多种因素共同作用下对金属内表面产生的化学和电化学腐蚀效应。首先，冷却液（水或油）中的矿物质和溶解气体（如氧气）是内表面腐蚀的主要驱动因素。当冷却水质量不佳时，其中可能含有大量腐蚀性离子，如氯离子、硫酸根离子等，这些离子能够穿透冷却器内壁的氧化保护层，直接与金属发生反应，加速金属的电化学腐蚀过程，形成氧化物或其他腐蚀性产物。氯离子，尤其是对金属材料具有较强的侵蚀作用，能够打破金属表面的钝化膜，导致点蚀或局部腐蚀，从而引发裂纹和穿孔，最终造成冷却器失效。其次，在高温高压的工作条件下，冷却液的化学稳定性进一步降低，冷却水中的氧气和其他杂质会以更快的速度与金属内壁发生化学反应，形成氧化铁等腐蚀性沉积物，这些沉积物不仅削弱了冷却器材料，还可能堵塞冷却通道，降低冷却效果。在油冷却系统中，冷却油的化学组成在高温下可能发生分解，生成酸性物质或其他腐蚀性化合

物,进一步加剧内表面的腐蚀。例如,冷却油中的氧化反应可能生成有机酸,腐蚀冷却器内壁的金属材料,导致设备老化加速。最后,冷却器的内部设计中冷却液流速变化较大,特别是在高流速区,冷却液的冲刷作用会导致冷却器内壁的局部冲刷腐蚀。这种冲刷腐蚀在流速不均的区域尤为严重,形成局部的凹坑或金属颗粒脱落,进一步加速腐蚀进程。这些局部的腐蚀点逐渐扩散,导致冷却器内壁的厚度减薄,结构强度降低,严重时可能引发冷却液泄漏,影响冷却器的散热效率和密封性能,甚至威胁到电力机车的安全运行。

## 4 预防及改进措施

### 4.1 优化冷却器表面处理方式及结构,提高抗腐蚀性能

首先,采用耐腐蚀性强的环氧树脂或聚氨酯涂层,在冷却器的外表面进行防腐涂层处理,以阻隔外界湿气、盐分和杂质直接接触金属表面,减少腐蚀源的侵入。对于易受电化学腐蚀影响的复合冷却器,可以通过阳极氧化处理或电镀技术,在外表面形成一层致密的防腐氧化膜,从而增加金属的抗氧化性。其次,在冷却器结构设计上,需避免使用异种金属接触,或在不同材料的接触面加装绝缘垫片和隔离涂层,以减少电位差引起的电化学腐蚀。为了应对冷却器内表面腐蚀问题,可在内壁涂覆特种防腐材料,如高耐腐蚀性合金涂层,尤其是对内表面水冷区进行重点保护,减缓冷却液与金属的直接接触。对于结构优化而言,可以在冷却器内部设计更合理的流道结构,以确保冷却液在内腔中流速均匀,减少局部的高流速冲刷现象,降低因液体冲刷引起的腐蚀加剧<sup>[1]</sup>。最后,通过改进密封结构和连接方式,确保冷却器在振动和压力变化下的密封性,以防止腐蚀性物质的渗入和泄漏,进一步提升冷却器的耐用性。

### 4.2 优化通风系统过滤装置,防止腐蚀发生概率

一方面,可在通风口安装高效过滤器,以阻挡粉尘、盐分以及其他悬浮颗粒进入冷却器内部。这些过滤器应具备较高的过滤精度,尤其是对于细小粉尘和盐雾的阻挡能力,能够有效减少腐蚀性物质的沉积。针对沿海地区或湿度较高的环境,建议采用耐盐雾腐蚀的特殊过滤材料,以增强过滤器在高盐、高温条件下的抗腐蚀性。另一方面,可以在冷却器周围设置二级过滤装置,确保即使部分粉尘或湿气进入系统,也能通过二次过滤进行拦截,进一步保障空气的清洁度。为保持过滤器的有效性,通风系统应配备监测传感器,实时

监控过滤器的工作状态,并及时提示更换或清洁,防止因过滤器堵塞而导致的通风效果下降,减少冷却器表面腐蚀源的积累,有效延长冷却器及其内部元件的使用寿命,提高冷却系统的整体效率,使之更好地适应电力机车在复杂环境中的运行需求,为冷却系统提供清洁、干燥的空气环境。

### 4.3 清洗复合冷却器内腔,预防冷却器内表面腐蚀

清洗复合冷却器内腔能够有效去除冷却液循环中积累的腐蚀性沉积物、杂质和矿物质沉积,以延长设备寿命并提升散热效率。清洗复合冷却器内腔的具体方法通常包括物理清洗和化学清洗两种方式。物理清洗通过水流、气流或软刷对冷却器内部进行冲刷,去除较松散的沉积物和颗粒。在清洗过程中,可采用反向水流冲洗以清除冷却液流动死角内的杂质,保证清洗覆盖全面。对于黏附性较强的污垢、矿物沉积或油渍,建议使用化学清洗法。化学清洗通常通过低腐蚀性清洁剂进行循环冲洗,清洁剂会溶解并去除内壁的沉积物,清洗液的浓度和清洗时间需要精确控制,避免对冷却器材料造成二次腐蚀。此外,在化学清洗后必须进行多次清水冲洗,以彻底清除清洗液残留,防止清洗剂与冷却液的残留化学反应影响后续使用。清洗过程中,还需定期检测冷却器的清洗效果,如利用内窥镜检查冷却器内壁的清洁程度,并根据冷却器实际运行情况确定清洗频率。

## 5 结语

在和谐型电力机车的冷却系统中,复合冷却器的防泄漏设计不仅对保障机车设备的温度控制起着重要作用,同时也对冷却器的整体使用可靠性提出了更高的要求。论文通过对复合冷却器泄漏成因的详细分析,认为其内外表面腐蚀问题与外界杂质、电化学腐蚀等有关,提出通过优化冷却器表面处理方式及结构、优化通风系统过滤装置等措施,有助于提升冷却器的防腐能力和密封性,延长冷却器的使用寿命、提升运行安全性,为提高电力机车的整体运行可靠性提供保障。

### 参考文献

- [1] 刘剑,胡晓冰,李倩,等.和谐型电力机车复合冷却器的优化研究[J].机车车辆工艺,2024,60(1):48-52.
- [2] 徐世武,何澍春.和谐型电力机车复合冷却器泄漏成因分析[J].铁道技术监督,2022,50(8):29-34+41.
- [3] 徐世武,杨健,支立伟.电力机车复合冷却器高级修方案研究[J].铁道技术监督,2023,51(11):38-43+48.