

# Analysis of Oil Mist Causes and Treatment Measures for Large Hydroelectric Generating Units under the Conditions of Building a First tier Hydroelectric Power Plant

Chungui Yang Guanfu Gong

Huaneng Lancang Hydropower Co., Ltd. Manwan Hydropower Plant, Lincang, Yunnan, 675805, China

## Abstract

With the rapid development of modern industrial production, hydropower enterprises actively respond to the call of the state to accelerate the construction of world-class enterprises, and put forward higher requirements for the development of enterprises. Modern industrial production is not only to create benefits, but also to ensure that the production site has good order, a clean environment and safe and sanitary conditions. Due to the early operation of some hydroelectric units, the oil mist caused by the unit operation was not fully considered at the beginning of the design, resulting in the electrical equipment being polluted by turbine oil when the unit is running for a long time, and the production environment is not friendly. This paper summarizes and analyzes the oil mist treatment experience of a large hydropower plant unit of one million kilowatts, and provides reference for other power plants with similar problems.

## Keywords

hydropower plant; turbine oil; oil mist; civilized production

## 基于建设一流水电厂条件下大型水轮发电机组油雾成因分析及治理措施

杨春贵 龚官福

华能澜沧水电股份有限公司漫湾水电厂，中国·云南临沧 675805

## 摘要

随着现代化工业生产的飞速发展，水电企业积极响应国家加快建设世界一流企业的号召，对企业发展提出了更高的要求。现代化工业生产不仅仅是创造效益，而且还要确保生产现场有良好的秩序、整洁的环境和安全卫生的条件。某些水轮发电机组因投产较早，设计之初未充分考虑到机组运行产生的油雾问题，导致机组长时间运行时机电设备被透平油污染，生产环境不友好。论文将某百万千瓦级大型水电厂机组油雾治理经验进行总结分析，为存在同类型问题的电厂提供借鉴。

## 关键词

水电厂；透平油；油雾；文明生产

## 1 概述

某百万千瓦级大型水电厂部分机组为20世纪90年代设计制造，设计之初未充分考虑到机组运行时会产生油雾问题，长久以来，该型机组长时间运行时，大量油雾溢出，机电设备被透平油污染，机架、油盆盖板、空冷器、电缆、油气水管路等设备上挂满油珠，设备油污严重，运行环境恶劣。油污的清理工作投入了大量的人力物力，不仅与一流企业要求背道而驰，而且清洁过程中极易触碰到其他运行设备，存在极大的安全隐患。

【作者简介】杨春贵（1973-），男，中国云南临沧人，本科，工程师，从事水电运维研究。

## 2 透平油的用途与作用

透平是汽轮机“turbine”一词的英文译音，意为旋转物体。透平油与其他润滑油的主要差别在于更好的抗氧化安定性和抗乳化性能，主要用于发电厂蒸气轮机、水电站水轮发电机及其他需要深度精制润滑油的润滑场合，透平油就是汽轮发动机用的一种机油。

在水轮发电机组的运行中，需要使用大量的透平油，其主要有三个作用：

润滑作用：在轴承间或滑动部分间形成油膜，以润滑油内部摩擦代替固体干摩擦，从而减少设备的发热和磨损，延长设备使用寿命，保证设备的功能和安全。

散热作用：润滑油在对流作用下将热量散出，再经过油冷却器将其热量传导给冷却水，从而使油和设备的温度不

致升高到超过规定值,起到散热作用,保证设备的安全运行。

液压操作:利用油的不可压缩性和流动性,在水电站的许多设备中,如调速器、进水阀以及管路中的液压阀等,用高压油来进行操作和控制,透平油可以作为传递能量的工作介质。

### 3 油污成因分析

水轮发电机组在运行时,高速运转的部件将会搅动轴承内部的透平油,在旋转离心力的作用下,油位呈螺旋式上升趋势。油雾的产生一般为以下三种情况:一是机组在运行时,推力油槽里的热油温度往往达到 $30^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ,使油槽内的油和空气体积膨胀,再加上旋转件的搅动以及油在离心力的作用下的抛物线运动遇到阻碍而产生撞击等,使油槽上部产生油雾,油雾的不断积累使油面的压力逐渐增大,当油槽内油雾的压力大于外部空气压力时,油雾便从油槽盖板密封处逸出;二是机组在运行时,由于转子的旋转鼓风,往往使推力头或导轴颈内下侧与挡油管之间容易形成局部负压,把油面吸高、涌溢、甩溅到发电机的内部;三是由于设备制造安装的原因,可能造成挡油管外圆与推力头内圆之间的径向距离不均或偏靠现象,如果该距离较小(如 $7\sim 8\text{mm}$ )相对偏心率则增大,这样当推力头带动润滑油旋转时,就起到类似偏心泵的作用,使油环产生周期性的压力脉动,促使油雾外逸。

在发电机组风洞内部,因其环境空间相对密闭,机组运行时,大量的油雾悬浮于空气中并随气流循环,气流由转子中部流向定子,被空气冷却器冷却后再次由定子上下两个端部流向转子,便完成一个循环,在气流被空气冷却器冷却过程中,大量油雾被冷却凝结在空冷器的冷却管及翅片上;部分油雾还未循环便遇冷空气凝结成油滴滴落在机架上。机组长时间运行,空冷器表面及机架上透平油越积越多,致使机架、油盆盖板、空冷器、电缆、油气管路等设备上挂满油珠,设备油污严重,运行环境恶劣。

## 4 油雾治理措施

### 4.1 优化轴承内结构,减少油雾产生

#### 4.1.1 减少对油和空气的搅动

对镜板的径向起吊孔进行封堵,消除起吊孔对透平油的搅动。对推力头与镜板的连接螺栓沉孔、销钉孔进行封盖或填充,消除对油槽内空气的搅动。调整镜板、推力头的同心度,防止因偏心形成鼓风作用。调整或优化轴承内挡油桶,保证静止部件和转动部件的同心度、垂直度,防止因偏心泵效应造成液面波动大。

#### 4.1.2 控制液面波动和撞击飞溅

根据轴承结构、轴瓦温度、冷却器结构等,采取适当降低油槽的油位、简化油槽结构等措施,控制润滑油的搅动、撞击、飞溅,减少油雾的产生。合理设置稳油板的覆盖范围和安装高度,将转动部件上油液高速甩出产生的液面波动和

油滴飞溅控制在较小范围内,减少泡沫的形成,减少润滑油与空气的接触面积。采用流线型横截面的导轴瓦,优化轴瓦调整组件的结构设计,削弱油液对导轴承的撞击。

#### 4.1.3 降低轴承瓦温和油温

通过降温减少润滑油的汽化量。机组推力轴承瓦温、油温明显偏高的,应采取综合措施进一步降低温度。优化轴承润滑油路,轴承油槽中被分隔开的空气腔应在高处开设均压孔,防止憋气影响润滑油流动,必要时增加呼吸器;轴承油槽中被分隔开的油腔之间应该根据设计需要设置连通管或联通孔,避免各油腔油量分配严重不均及导致某一油腔液位明显上升。

### 4.2 优化油雾阻挡收集结构,防止油雾逸出

#### 4.2.1 优化升级油槽盖板结构

将现有传统的非接触式密封结构(如毛毡间隙密封、小间隙密封、迷宫间隙密封、反螺旋间隙密封、梳齿式密封)改为零间隙密封,并配套油雾过滤呼吸器、油雾收集装置、补气装置等;如滑转子因热套紧量较小、摩擦升温后紧量不足而无法使用零间隙密封的,也应对非接触式密封的结构进行优化升级。零间隙密封油挡宜优化设计,单纯接触式密封盖加呼吸器的形式防油雾逸出效果有限,转速较高的、油雾严重的轴承,在治理油雾时不应再选用这种组合形式。如高度方向尺寸足够,进一步增大导轴承支撑环板与油槽盖板之间的空间,降低油槽内压力,缓解油雾逸出。推力油槽处的密封油挡应综合配置油雾收集、补气、挡风板、迷宫式零间隙密封齿、刷式密封等措施,大幅度减少甚至消除风洞内密闭自循环风道负压区对油雾逸出的影响。

#### 4.2.2 完善内挡油桶防油雾逸出措施

增大油面到轴承内挡油桶顶部的距离。对现有的效果不佳的普通挡圈应进行改造。上导、下导、推力轴承的内挡油桶处如有明显油雾逸出,应设置接油槽阻挡并收集油雾。

#### 4.2.3 提升油雾过滤呼吸器、油雾吸收装置效果

改用效果好的新型油雾过滤呼吸器,视必要性增加呼吸器的数量。优化油雾吸收装置的管路布置,减少沿程风阻。选择适当的油雾吸收装置功率,提升油雾收集效果。推力油槽盖板油雾过滤呼吸器的出口应设置在远离循环风道负压区和高压区的位置,补气管路的吸气口应避开循环风道负压区。

#### 4.2.4 防止润滑油爬升

采取内倾斜圆锥面、阶梯结构、环形槽、挡圈、挡板、反向螺旋密封等措施,阻止润滑油沿着推力头和镜板内壁、导轴承滑转子内壁向上爬升。推力轴承结构上存在可导致润滑油向上爬升问题的机组,应重点研究采取措施抑制润滑油爬升,并设置密封结构,防止润滑油爬升后从转子中心体下法兰处渗漏漏出或沿着推力头连接螺栓进入转子中心体。

### 4.3 做好漏点管控和油雾分区隔离

①全面梳理风洞内油管路、法兰、阀门、油槽和油槽

盖板组合缝、自动化元件的引线电缆出口孔洞等部位的静密封,对所有密封点进行受控管理,结合机组检修、维护消缺,及时处理渗油点。检修中重点检查轴承内挡油桶的分层、分瓣密封是否存在渗漏,及时更换密封。

②对轴承内挡油桶接油槽定期排油,防止溢出。

③对下机架的上层盖板、下层盖板的缝隙、孔洞及机架与混凝土之间的缝隙进行封堵,防止下机架处逸出的油雾进入发电机密闭自循环通风系统,防止上导、推力、下导轴承产生的油雾进入水机室。

#### 4.4 加强检修维护

①选用低污染密封齿。油槽密封盖、内挡油桶接油槽所用的零间隙密封齿材料应采用非金属绝缘材料,具有自润滑性能。传统的碳晶材料密封齿不绝缘,且磨损后会对润滑油造成明显的污染,不再选用,现有的应及早更换。

②做好零间隙密封油挡清洁和密封齿寿命管理。零间隙密封齿磨损的粉末混合油雾堆积在密封齿卡槽处,导致密封齿卡涩、油雾逸出,检修中应做好检查清洁,并更换磨损严重的密封齿,恢复密封齿随动性能。

③及时维护油雾过滤呼吸器。巡检中重点关注油雾过滤呼吸器工作状况,及时处置,避免油雾过滤呼吸器性能严重下降甚至失效。

### 5 成效

电厂开展油雾专项治理以来,通过对机组油雾的成因进行分析,制定了切实有效的改进措施,机电设备被透平油污染,机架、油盆盖板、空冷器、电缆、油气水管路等设备上挂满油珠的现象得到彻底解决,油雾治理初见成效,大大延长了设备清洁周期,减轻了设备清洁工作量,减少了人力物力的投入,延长了自动化元器件的寿命,增加了设备运行可靠性。主要效益有以下几方面。

#### 5.1 经济效益

仅从人工费支出角度计算,油雾治理前,需每周进行一次机电设备深度清洁,主要清理透平油,每周清洁1次、每次由2人清洁,7台机组需清理2天,每年按52周计算,清洁工工时费150元/天·人,每年需支出人工费1.56万元;油雾治理后,仅需每月开展一次机电设备卫生清洁,仅需清洁设备表面灰尘,工作量小,每月清洁1次、每次由2人清洁,7台机组需清理1天,每年按12月计算,清洁工工时费150

元/天·人,每年需支出人工费0.36万元;合计每年机电设备清洁费可节约1.2万元。

#### 5.2 环保效益

大量的油雾流至地面,如不及时清除,将流至水机室顶盖上,进而造成水污染,给电厂的环保工作带来一定的压力。油雾治理前,每年清理收集到的废油约8L,油雾治理后,每年废油0L。

#### 5.3 安全效益

机电设备长期被油污染,一是不美观,严重影响一流企业形象;二是维护、巡检、参观人员经常行走,容易造成人员滑跌摔伤,存在安全隐患;三是在清洁油雾过程中,容易造成调管设备误动,发生违反调度纪律事件;四是机电设备油污染严重,运行环境恶劣,造成二次电缆及控制元器件老化加剧,绝缘下降,设备运行可靠性降低,给机组安全稳定运行带来威胁。

#### 5.4 综合效益

通过集中开展油污整治,激发了广大员工干事创业的热情,增强了一流意识,提升了员工的技能业务水平。下一步电厂将继续集中整治电厂老旧设备,不断提升设备运行可靠性。

### 6 结语

油污染是现代化水电站安全文明生产的大敌,在长期连续生产过程中,由于受振动、应力、变形、温度、压力、环境、设备自身缺陷等众多因素的影响,机组轴承透平油泄漏情况时有发生。泄的都是效益、漏的都是财富,这些泄漏如果不能及时治理,不仅会造成物料的损失,而且还会使各种自动化元器件老化加剧,甚至使得环境受到污染,特别是当前节能减排工作是重中之重,不光要为国家、企业创造良好的经济效益,更要为国家的环保事业做出贡献。因此,如何能在不影响生产的情况下,避免各轴承油污外泄,一直是现代化一流水电企业人员重点关注的话题。

#### 参考文献

- [1] 黄纯.抽水蓄能机组调速系统透平油劣化分析及处理[J].润滑与密封,2005(5):2.
- [2] 李海,武宏伟.发电厂透平油的性能及作用分析[J].内蒙古石油化工,2007(12):248.
- [3] 韩杨,淡洋.水电站发电机风洞油雾处理技术研究[J].水电与新能源,2023,37(3):18-21.