

# 600MW火电机组发电机导电螺钉故障分析与维护策略优化

王宁

华能沁北发电有限责任公司 河南济源 459012

**摘要:** 本文以某火电厂#1机组600MW发电机导电螺钉故障隐患处理事件为切入点,深度剖析故障成因、处理流程,并提出全面的维护策略优化建议。通过这一典型案例研究,着重探讨600MW火电机组关键部件维护的重要性与有效策略,旨在为同类型机组的安全稳定运行给予技术参考与实践经验,降低设备故障风险,提升电力生产效率。

**关键词:** 600MW火电机组;发电机导电螺钉;故障隐患处理;维护策略

## 一、600MW火电机组发电机概述

600MW火电机组的发电机普遍采用同步发电机原理。在机组运行时,汽轮机输出的高速旋转机械能传递给发电机转子,使转子在定子磁场中高速旋转。根据电磁感应定律,转子切割定子磁场,从而在定子绕组中产生感应电动势,实现了机械能到电能的转换。

在这一能量转换过程中,导电螺钉发挥着不可或缺的电气连接作用。它紧密连接转子绕组与导电杆,确保电流能够稳定、高效地传输。电流从转子绕组通过导电螺钉流向导电杆,再经过其他电气部件,最终输出到电网。可以说,导电螺钉是发电机转子电气系统中的关键节点,其性能的优劣直接影响到发电机的整体运行效率和稳定性。

发电机的运行环境极为复杂,导电螺钉面临着多方面的挑战。机械振动是导电螺钉面临的主要挑战之一。600MW火电机组在运行过程中,由于汽轮机的高速转动以及各种机械部件的协同工作,会产生持续的机械振动。这种振动会通过发电机的结构传递到导电螺钉上,使其连接部位承受交变应力。长时间处于这种交变应力作用下,导电螺钉的螺纹容易出现疲劳裂纹,随着时间的推移,裂纹逐渐扩展,最终导致螺纹损坏。

热应力也是影响导电螺钉性能的重要因素。发电机运行时,内部会产生大量热量,导致各部件温度升高。导电螺钉和导电杆通常由不同材料制成,它们的热膨胀系数存在差异。在温度变化过程中,由于材料膨胀和收缩

程度不一致,会在导电螺钉与导电杆的连接部位产生热应力。这种热应力会加剧螺纹的磨损,降低连接的可靠性。

此外,电气腐蚀也是不可忽视的问题。在发电机内部的电气环境中,可能存在一些腐蚀性物质,如电解液等。这些物质可能会与导电螺钉和导电杆的表面发生化学反应,导致表面腐蚀。即使采取了一定的防护措施,如绝缘处理、密封等,但在长期运行过程中,仍可能出现局部腐蚀现象。腐蚀会削弱螺纹的强度,使导电螺钉更容易出现松动和损坏。

综上所述,600MW火电机组发电机的导电螺钉在复杂的运行环境中,承受着机械振动、热应力和电气腐蚀等多种因素的综合影响,其可靠性面临着严峻的考验。因此,对导电螺钉的维护和故障预防显得尤为重要。

## 二、某火电厂#1发电机导电螺钉故障事件详述

### 1.故障发现

某年某月,某火电厂按照既定的检修计划,对600MW机组的#1发电机进行例行检修。在执行转子导电螺钉密封垫更换作业时,工作人员凭借专业的经验和敏锐的观察力,发现转子其中一侧导电螺钉螺纹出现损坏情况。与此同时,相应导电杆的丝扣也存在不同程度的损伤。从现场拍摄的图3和图4中,可以清晰直观地看到损坏的程度。螺纹的损坏致使导电螺钉无法正常回装,这一问题严重威胁到发电机的正常运行,如不及时处理,将可能引发一系列严重后果。

此次故障发现过程,凸显了定期检修工作的重要性。通过例行检修,能够及时发现设备潜在的问题,避免故障进一步恶化。工作人员在检修过程中,严格按照操作规程进行作业,对每一个部件都进行了仔细检查,才得以发现这一隐蔽性故障。这也提醒我们,在日常的设备维护工作中,必须保持高度的责任心和专业的工作态度,确保检修工作的质量和效果。

**作者简介:** 王宁(1997—),男,黑龙江工业学院电气工程及其自动化专业本科毕业,现任华能沁北发电有限责任公司电气一次设备专责,具备助理工程师职称与电机高级工技能等级。长期深耕电气试验与电气运维领域,在保障设备稳定运行与技术创新方面积累了丰富的经验。

## 2. 问题分析与诊断

此次导电螺钉故障的发生并非偶然，而是多种因素长期共同作用的结果。

从机械应力方面分析，600MW 机组长期处于高负荷运行状态，发电机转子以极高的速度旋转，产生强烈的机械振动。这种振动会使导电螺钉与导电杆的连接部位承受交变应力。在交变应力的反复作用下，螺纹的微观结构逐渐发生变化，产生疲劳裂纹。随着时间的推移，疲劳裂纹不断扩展，最终导致螺纹损坏。研究表明，在长期高负荷运行的发电机中，由于机械振动引起的导电螺钉螺纹疲劳损坏是较为常见的故障原因之一。

热胀冷缩效应也是导致故障的重要因素。在发电机运行过程中，内部温度会随着负荷的变化而发生显著波动。导电螺钉和导电杆由不同材料制成，它们的热膨胀系数存在差异。当温度升高时，两种材料膨胀程度不同，会在连接部位产生额外的应力；当温度降低时，又会出现收缩不一致的情况。这种反复的热胀冷缩过程，使得螺纹的磨损加剧，连接的紧密性受到影响。例如，在机组启动和停机过程中，温度变化较为剧烈，此时导电螺钉受到的热应力影响更为明显。

此外，导电部位的电气腐蚀问题不容忽视。尽管在设计和运行过程中采取了一定的防护措施，但在实际运行环境中，仍难以完全避免电解液等腐蚀性物质的存在。这些物质可能会与导电螺钉和导电杆的表面发生化学反应，导致表面腐蚀。局部腐蚀会使螺纹的有效截面积减小，强度降低，从而容易出现松动和损坏。例如，在一些湿度较大或存在化学污染的环境中，电气腐蚀的风险会进一步增加。

这种损坏直接导致导电螺钉无法回装，使得发电机转子的电气连接出现中断风险。若不及时处理，发电机转子绕组电流分布将不均匀，部分绕组可能会因为电流过大而引发局部过热。局部过热会使发电机的绝缘材料性能下降，进而影响发电机的绝缘性能。严重时，可能会造成发电机短路故障，使整个机组被迫停机。一旦机组停机，不仅会导致发电损失，还可能对电网的稳定性产生不利影响，引发一系列连锁反应。因此，及时准确地诊断故障原因，并采取有效的处理措施，是保障发电机安全稳定运行的关键。

### 三、故障处理措施

#### 1. 拆除与保存备件

在发现导电螺钉故障后，维修人员立即采取行动。首先，利用专用工具小心拆除转子两侧导电螺钉。这些专用工具经过特殊设计，能够在不损伤其他部件的前提

下，安全、有效地拆除导电螺钉。在拆除过程中，工作人员全神贯注，仔细收集并妥善保存好锁片、止退圈以及垫圈等备件。这些备件虽然体积较小，但在后续的装配过程中起着关键作用。任何一个备件的丢失或损坏，都可能导致装配不准确，影响设备的正常运行。例如，锁片能够防止导电螺钉松动，止退圈可以增强连接的稳定性，垫圈则起到密封和缓冲的作用。因此，对这些备件的妥善保存是确保维修工作顺利进行的重要环节。

#### 2. 抽出导电螺杆

拆除导电螺钉后，接下来需要抽出导电螺杆。借助行车的力量，维修人员将导电螺杆平稳抽出。行车具有精确的控制和强大的起吊能力，能够确保导电螺杆在抽出过程中保持平稳，避免受到碰撞和损坏。抽出的导电螺杆被放置到地面指定位置，同时，工作人员做好了防滚动措施，如在螺杆周围设置阻挡物、使用绳索固定等。这一步骤需要严格按照操作规程进行，确保操作过程的安全和螺杆的完整性。如果导电螺杆在抽出过程中受到损坏，将影响后续的维修工作，增加维修成本和时间。

#### 3. 拆除绝缘隔板与导电杆

小心敲出导电螺杆正负极中间绝缘隔板，这一过程需要维修人员具备丰富的经验和精湛的技术，以避免损坏绝缘隔板。绝缘隔板在发电机中起着重要的绝缘作用，能够防止正负极之间发生短路。敲出绝缘隔板后，整体抽出损坏的导电杆极（1/2 杆），并做好标记。标记采用特殊的标记笔或刻痕方式，确保标记清晰、持久。标记的目的是为了在后续安装过程中能够准确无误地进行装配，保证设备的电气性能和机械性能不受影响。例如，标记可以指示导电杆的安装方向、位置等信息，减少安装误差。

#### 4. 返厂检查与加工

将损坏的导电螺钉及导电杆包装装箱，返回哈尔滨电机厂进行全面检查。哈尔滨电机厂作为专业的设备制造厂家，拥有先进的检测设备和专业的技术团队，能够对损坏部件进行深入分析和全面检测。电机厂重新加工导电螺钉和导电杆，并按照相关标准进行拉伸试验。拉伸试验是确保导电螺钉和导电杆连接强度的关键环节，通过模拟实际运行中的受力情况，检测部件的强度和可靠性。只有试验合格的部件才能返回电厂进行装配，为设备的安全运行提供保障。在拉伸试验过程中，严格控制试验参数，如拉力大小、加载速度等，确保试验结果的准确性和可靠性。

#### 5. 导电螺钉加工处理

对导电螺钉进行重新车削加工至合适尺寸，车削过程采用高精度的车床和先进的加工工艺，确保尺寸精度符合要求。在导电螺钉外半叠绕 ET(S)-60 无碱玻璃纤

维,使其单面厚度达到5mm。无碱玻璃纤维具有良好的绝缘性能和机械强度,能够有效提高导电螺钉的绝缘性能和机械性能。各层间均匀刷53311ES胶,保证浸透效果。53311ES胶具有优异的粘结性能和绝缘性能,能够确保无碱玻璃纤维与导电螺钉紧密结合,形成一个整体。然后用烤箱抽真空加热至160℃,持续5h进行热收缩固化成型。抽真空加热过程能够排除胶层中的气泡,提高胶层的密实度和粘结强度。最后按图纸尺寸进行精细加工,确保导电螺钉的各项性能指标满足600MW火电机组发电机的运行要求。

#### 6. 导电杆加工处理

按图纸要求对导电杆及固定连接螺栓孔进行加工,采用先进的数控加工设备,确保加工精度和质量。对导电部分把合面进行镀银处理,镀银处理不仅可以提高导电性能,还能确保电解液不会浸到软连接部分。银具有良好的导电性和抗腐蚀性,能够有效提高导电杆的导电性能和耐腐蚀性能。同时,保证连接片间无酸性物质残留,通过严格的清洗和检测工艺,确保连接片间的清洁度。这一措施有效避免了对设备造成腐蚀,延长了导电杆的使用寿命。在镀银处理过程中,严格控制镀银层的厚度和质量,确保镀银效果符合要求。

#### 7. 试验验收

进行导电螺钉0.5Mpa气密试验,持续8小时,期间各部分无泄漏为合格。气密试验能够检测导电螺钉的密封性能,确保在运行过程中不会出现气体泄漏的情况。同时,进行转子绝缘、直流电阻以及静态交流阻抗试验,各项试验结果均合格,确保发电机整体性能满足运行要求。转子绝缘试验能够检测转子的绝缘性能,防止发生漏电和短路故障。直流电阻试验可以检测导电回路的电阻值,判断导电性能是否正常。静态交流阻抗试验则能够评估发电机的电气性能和运行状态。严格的试验验收标准,保证了维修后的发电机能够安全可靠地投入运行,避免了因设备隐患导致的再次故障。

### 四、维护策略优化建议

#### 1. 加强运行监测

建立完善的发电机运行参数监测系统,利用先进的传感器技术和数据采集设备,实时监测发电机的振动、温度、电流、电压等参数。通过对这些参数的实时分析,能够及时发现潜在的故障隐患。例如,当发现发电机振动异常增大时,可能预示着导电螺钉或其他部件出现松动,应立即进行停机检查和处理。利用数据分析算法,对监测数据进行深度挖掘,能够提前预测设备故障的发生,为设备维护提供预警信息。同时,建立历史数据数

据库,对长期的运行数据进行存储和分析,总结设备运行规律,为优化运行和维护提供依据。

#### 2. 完善设备台账

详细记录设备的运行数据、维护情况、故障处理记录等信息。设备台账不仅可以为设备的维护和检修提供历史依据,还能通过数据分析总结出设备的故障规律。例如,通过对多次导电螺钉故障的记录分析,可以发现故障发生的时间、运行条件等规律,从而制定更加科学合理的维护计划。利用信息化管理系统,实现设备台账的电子化管理,方便数据的查询、统计和分析。同时,对设备台账进行定期更新和审核,确保数据的准确性和完整性。通过设备台账的完善,能够提高设备管理的精细化水平,为设备的全生命周期管理提供支持。

#### 3. 强化检修力度

在今后的发电机检修时,增加对导电螺钉及导电杆的检查频次和深度。采用先进的检测技术,如无损检测、红外热成像检测等,及时发现螺纹的微小损伤、导电部位的过热等潜在问题。无损检测技术能够在不损坏设备的前提下,检测内部结构的缺陷。红外热成像检测则可以通过检测设备表面的温度分布,发现导电部位的过热情况。

### 结论

通过对某火电厂600MW火电机组#1发电机导电螺钉故障隐患处理事件的深入分析,我们认识到在600MW火电机组的运行维护中,对关键部件的重视和维护至关重要。从故障的发现、分析到处理,每一个环节都需要严格按照操作规程和技术标准进行。同时,通过优化维护策略,加强运行监测、完善设备台账、强化检修力度和优化维护技术等措施,可以有效降低设备故障风险,提高600MW火电机组发电机的安全可靠性能,保障电力生产的稳定进行。未来,随着技术的不断发展,我们还应持续关注新的维护理念和技术,不断提升火电机组的运行维护水平。

### 参考文献

- [1] 彭昌文. 一次电气设备高压试验探讨[J]. 通信电源技术, 2020, 37(5): 279-280+282.
- [2] 国家能源局. DL/T 电力设备预防性试验规程[S]. 北京: 中国电力出版社, 2021.
- [3] 李永刚. 电力系统运行与维护管理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2022.
- [4] 中国电力科学研究院. 电力系统运行维护技术进展[EB/OL]. (2024-06-20) [2024-12-27].