

光伏项目水上吊装作业安全智慧化监测与管控

冯立印¹ 张琼² 张锦环¹

1. 中电建华东勘测设计院（深圳）有限公司；2. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

摘要：与陆上光伏电站相比，滩涂光伏电站建设难度更大，尤其是水上箱变吊装作业，采用非常规起重设备、方法，且单件起吊重量在100kN以上，是一种超危大工程，施工过程面临很高的安全风险。钢丝绳作为承担荷载最主要的吊索吊具，成了安全管理的关键。因此，本文以莺歌海盐场光伏工程为例，通过采用了剩磁类仪器并结合物联网和人工智能技术，实施智慧化实时监测，并引入了吊装物品的定位追踪系统，克服了人工检验效率低、精度差、无法探查内部缺陷等弊端，结合识别危害、评估风险、控制风险和持续跟踪风险控制管控手段，使得整个施工过程安全平稳可控，并为后续类似项目建设提供参考。

关键词：光伏项目；水上吊装施工；智慧化监测；安全管理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.09.084

一、引言

光伏发电是利用太阳能转换为电能的一种清洁、可再生的能源方式，不会消耗燃料，不会排放温室气体和其他污染物，对环境友好。除此之外，光伏发电不受地域、海拔、水源等因素的限制，可以利用广阔的空间资源，如屋顶、荒漠、水面等，节约土地资源光伏发电可以就近供电，避免了长距离输电的损耗和成本，提高了电力的可利用性和安全性。光伏发电可以与其他能源形成互补，实现电力的平衡和稳定，提高电网的可靠性。光伏发电可以带动相关产业的发展，创造就业机会，促进经济增长和社会进步。基于以上光伏带来的种种好处，光伏发电也得到了国家政策的大力支持。由工信部等五部门联合印发的《智能光伏产业创新发展行动计划（2021-2025年）》，在推动光伏产业与信息技术深度融合发展、促进光伏产业健康发展、实现光伏发电的大规模应用的方面取得小的进步。根据国家能源局发布的数据，2023年7月，我国光伏新增装机18.74GW，同比增长173%，其中分布式光伏新增装机9.8GW，占比超过50%¹。1-7月，我国光伏累计新增装机97.16GW，同比增长157.51%。

二、光伏项目的施工现场安全

随着光伏项目的高速发展，光伏项目的现场施工安全得到了越来越多的重视。根据相关数据（ref needed），澳大利亚15%的职场意外死亡来自工地现场，但是工地施工人员只占统计职场人口的5%^[1]。光伏

项目由于自身的特殊性，其工地发现意外的可能会更高。

以莺歌海盐场纳潮湖（一期、二期）200MW平价光伏项目为例，该项目工程场址位于海南省乐东县莺歌海镇莺歌海盐场，安装作业需要借助水上吊装作业完成。水上吊装作业是指在水上使用起重船或者其他工程船舶进行光伏组件或者支架的吊装作业的一种施工方法，而水上箱变吊装属于起重吊装工程，根据住房与城乡建设部的规定，采用非常规起重设备、方法，且单件起吊重量在100kN及以上的起重吊装工程，属于超危大工程的范围。换句话说，该项目的施工安全隐患会远远高于常规的施工现场。

三、光伏项目施工现场的智慧化安全管理

该章节会继续以莺歌海盐场纳潮湖（一期、二期）200MW平价光伏项目为例来阐明光伏项目的安全管理是如何进行的。

危害辨识，危害识别指的是发现潜在能够造成危害的个体或环境的过程，该过程是实现安全管理最重要的一步。

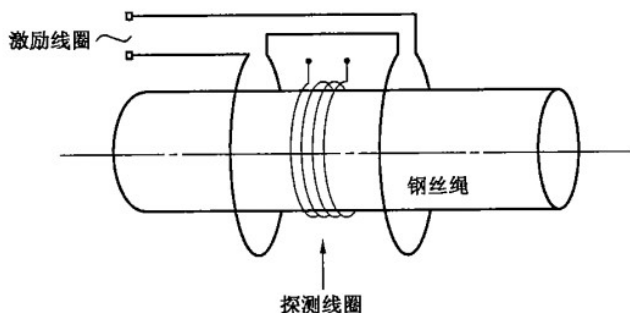
莺歌海盐场纳潮湖光伏项目涉及多种特殊起重机，而钢丝绳是起重机械的重要应用工具，能够传递长距离的负载，承受多种载荷和变载荷的作用，提高起重作业的效率 and 安全性。钢丝绳的寿命和磨损程度直接影响起重机械的性能和安全性，如果钢丝绳断裂或损坏，可能造成重大事故或危险。因此钢丝绳是在危害辨识过程中首先去重点关注的。传统的钢丝绳检验主要依靠人工查验来完成，人工查验钢丝绳损伤的问题主要有以下几点：

人工查验钢丝绳损伤的方法一般是由专职检测人员定期观察使用中的钢丝绳，采用卡尺测量绳径，手摸或肉眼寻找缺陷。这种方法只能发现钢丝绳中外露部分的断丝等缺陷，对于内部缺陷则无能为力。人工查验钢丝绳损伤的效果受人为因素影响较大，检查结果可靠性较低。人工查验钢丝绳损伤的过程耗时耗力，需要停机检测，影响生产效率和安全性。人工查验钢丝绳损伤的标准和规范不统一，不同的检测人员可能对同一种缺陷有不同的判断和处理。人工查验钢丝绳损伤的记录和报告也不规范，不利于钢丝绳的安全管理和合理更新。利用钢丝绳智慧化监测系统则可以解决这一问题，钢丝绳智慧化检测系统是一种利用传感器技术来代替人工检验刚才的方法，根据GBT21837-2008，通常该类传感器有以

下几种工作原理：

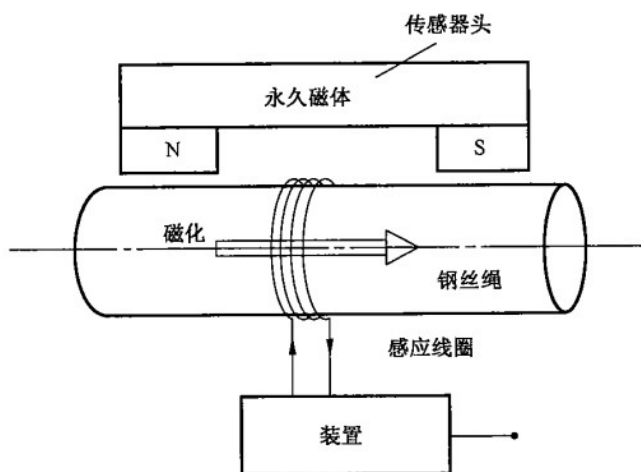
1. 交流电磁类仪器

交流电磁类检测仪器的工作原理类同于变压器原理，初级和次级线圈环绕在钢丝绳上，钢丝绳犹如变压器的铁芯。初级激励线圈的电源为10Hz~30Hz的低频交流电。次级探测线圈测定钢丝绳的磁特性。钢丝绳磁特性的任何关键变化会通过次级线圈的电压变化幅度和相位反映出来。电磁类仪器通常是在较低磁场强度的条件下工作，因此在开始检测前，有必要将钢丝绳彻底退磁。此类仪器主要用于检测金属横截面积变化。



2. 直流和永磁（磁通）类仪器

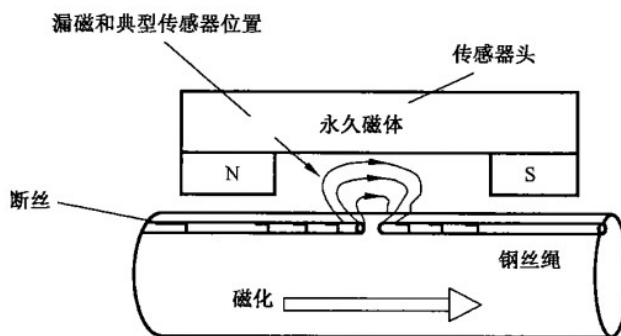
直流和永磁类仪器提供恒定磁通，通过传感器头（磁回路）磁化一段钢丝绳。钢丝绳中的轴向总磁通，能通过霍尔效应传感器、环绕（感应）线圈，或其他能有效测定磁场或稳恒磁场变化的适当装置来测定。传感器输出的是电信号，在磁回路可感应范围内，其输出的电压与钢含量或金属横截面积变化成正比。此类仪器用于测定金属横截面积变化。



3. 漏磁类仪器

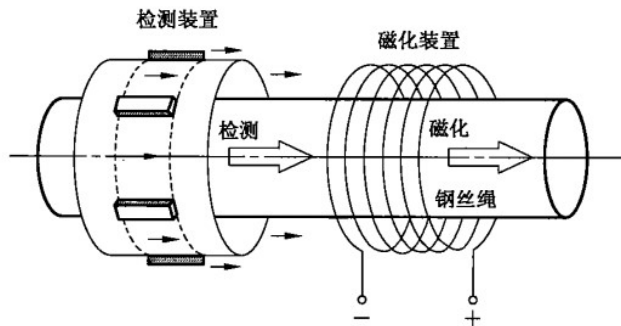
直流或永磁类仪器提供恒定磁通，通过传感器头（磁回路）来磁化一段钢丝绳。钢丝绳中不连续（例如断丝）所引起的漏磁，能用不同传感器（例如霍尔效应

传感器、感应线圈或其他适当装置）来检测。传感器输出的是电信号，并被记录。此类仪器用于测定LF。但它不能明确给出有关损伤的确切数量方面的信息，只能给出钢丝绳中断丝、内腐蚀和磨损等是否存在的提示性信息。



4. 剩磁类仪器

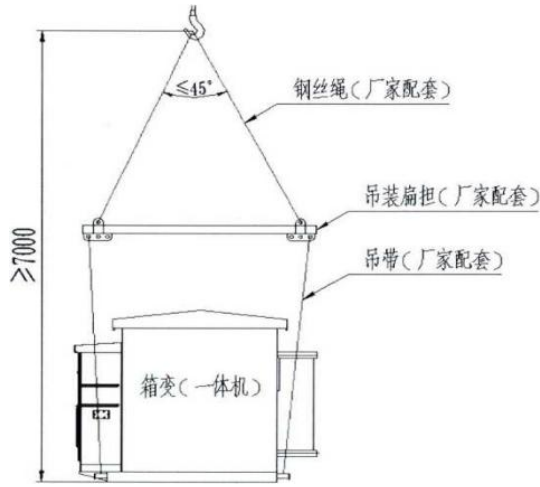
直流或永磁磁化装置对钢丝绳磁化后，在确保外加磁场已移去或无外磁场影响的情况下，利用铁磁性钢丝绳的剩磁特性，采用能有效测定剩余磁场变化的适当检测装置，来测定钢丝绳内剩磁场的变化。此类仪器能用于测定金属横截面积的变化和局部损伤的存在。



四、建筑信息模拟（BIM）与安全智慧化系统的结合

建筑信息模拟（BIM），是指在建筑设计、施工及整个建筑或资产生命周期中提供并管理建筑信息的过程。在一般情况下，该过程使用三维建筑模拟软件，提高顾问和承建商在整个资产生命周期中的生产力与安全性^[3]。BIM在项目计划阶段就可以提供一个高保真度项目模拟对象。但是在项目的实施过程中，当实际施工现场与BIM出现偏差时，BIM如何捕捉到这一现象并做出相应的修改却是一个难题。以莺歌海盐场纳潮湖（一期、二期）200MW平价光伏项目为例，该项目的挂钩要求两根钢丝绳的夹角大于45度，如果角度小于此度数，会影响到该钢丝绳的使用寿命。利用安全智慧化系统可以观察到该钢丝绳的LMA增长快于预期，因此可判断该角度与

BIM出现了偏差。



挂钩示意图

另外一个利用BIM的动力是提高协作效率，连接整个项目生命周期中的团队、工作流程和数据，实现更好的工作方式和更好的结果，帮助团队在整个项目生命周期中共享数据，从而减少重复工作和错误。而通过对安全智慧化系统的应用，可以提高这一过程的效率。例如，鉴于施工现场的特性，同一个施工现场往往有多个不同的施工团队在不同时间段内入场作业，每一个作业团队在作业的过程中获得到的对安全管理有实际帮助的信息会因为缺乏有效的沟通途径而无法传递，这样会导致同样的安全隐患会重复发生。而利用统一的安全智慧

化系统，相关负责人可以通过查看过往的监测数据或者事故报告而杜绝同样的安全隐患再次发生。

五、结语

光伏项目的现场施工安全风险包括四个步骤，即识别危害、评估风险、控制风险和持续跟踪风险控制。通过利用安全智慧化监测系统，可以对施工进行不间断的持续监控，并在危险来临时主动通知相关安全责任人来预防事故，解决了传统人工安全管理的弊端，提高了项目整体的安全性和施工效率。

参考文献

[1] P. Swuste, A. Frijters, and F. Guldenmund, "Is it possible to influence safety in the building sector?", *Safety Science*, vol. 50, no. 5, pp. 1333-1343, 2012.

[2] M. Arashpour, R. Wakefield, N. Blismas, and E. W. M. Lee, "A new approach for modelling variability in residential construction projects," *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, vol. 13, no. 2, pp. 83-92, 2013.

[3] R. Eadie, M. Browne, H. Odeyinka, C. McKeown, and S. McNiff, "BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis," *Automation in Construction*, vol. 36, pp. 145-151, 2013.

