

大型轴流泵在水利泵站安装中的高精度找正工艺研究

郑 斌

浙江江能建设有限公司, 浙江 杭州 310000

[摘要]大型轴流泵是水利泵站的核心设备,其安装精度直接决定了机组的运行效率、稳定性和寿命。文中针对大型轴流泵安装中的关键环节——高精度找正工艺展开深入研究。文章系统分析了影响找正精度的主要因素,包括基础沉降、加工误差及热变形等,并重点阐述了以激光跟踪仪为代表的现代测量技术在找正过程中的应用。通过对比传统工艺,文中提出了一套基于数据驱动的高精度、流程化找正方法。实践应用表明,该工艺能将水泵主轴垂直度误差控制在 0.02 mm/m 以内,电机与水泵轴的对中误差控制在 0.03 mm 以内,显著提升了安装质量,为同类工程提供了重要的技术参考和理论依据。

[关键词]轴流泵; 泵站安装; 高精度找正; 同轴度; 激光测量; 安装工艺

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17682

中图分类号: TV5

文献标识码: A

Research on High Precision Alignment Process of Large Axial Flow Pump in Water Conservancy Pumping Station Installation

ZHENG Bin

Zhejiang Jiangneng Construction Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract: Large axial flow pumps are the core equipment of hydraulic pumping stations, and their installation accuracy directly determines the operating efficiency, stability, and service life of the unit. The article conducts in-depth research on the key process — high-precision alignment in the installation of large axial flow pumps. The article systematically analyzes the main factors that affect the accuracy of alignment, including foundation settlement, processing errors, and thermal deformation, and focuses on the application of modern measurement technology represented by laser trackers in the alignment process. By comparing traditional techniques, the article proposes a data-driven high-precision, process oriented alignment method. Practical application has shown that this process can control the verticality error of the water pump main shaft within 0.02 mm/m, and the alignment error between the motor and the water pump shaft within 0.03 mm, significantly improving the installation quality and providing important technical reference and theoretical basis for similar projects.

Keywords: axial flow pump; pump station installation; high precision alignment; coaxiality; laser measurement; installation process

引言

水利泵站是国家水资源配置与防洪排涝的核心设施,其安全稳定运行至关重要。大型轴流泵因流量大、扬程低,广泛用于大流量输水工程,但其结构庞大、部件沉重,安装过程复杂精密。其中,泵体与电机轴系的“找正”尤为关键——精度不足将导致振动加剧、部件磨损、效率下降甚至断轴等严重后果。传统找正方法依赖人工经验与简易工具,精度有限、效率低下,难以满足现代大型泵站对安装质量的高要求。因此,研究并应用一套科学规范的高精度找正工艺,对保障国家重点水利工程的建设质量与长期效益具有重要意义。

1 大型轴流泵找正精度的关键影响因素剖析

要实现高精度找正,关键在于全面识别并领会所有可能引发误差的因素,大型轴流泵,主要影响因素可总结为以下几点:

1.1 结构基础因素

泵站混凝土基础因长期承受设备静载荷与振动载荷,会出现持续且缓慢的下沉变形,这种情况在设备安装与土

建施工同步进行的工程里尤为常见——设备初步安置并完成校准后,基础处于持续下沉且强度逐步增强的进程,造成先前精心调校的水平度、对中度等初始找正数据逐渐偏离许可范围。由于地质条件、荷载分布以及混凝土收缩徐变等因素作用,常出现不均匀沉降,从而引发设备底座附加应力增加、联轴器对中偏差变大等问题,成为影响设备安装精度和长期稳定运行的关键隐患^[1]。

依据实际工程的监测数据,大型泵组基础浇筑完成后的 180d 内会有明显沉降,总体沉降量一般能达到 1~3mm。尤为关键的是,不同位置测点的沉降发展并非同步开展:荷载集中区域、软弱地基以及基础边缘处的沉降速度较快,其余区域沉降速度较慢。若在安装过程中未对这种差异沉降进行预测和补偿,会让设备找正结果立刻失效,甚至会触发轴系振动、密封磨损等一系列连锁问题。针对重要泵站工程,要借助设置沉降观测点并开展定期测量,实时把握基础的变形走向,进而制定对应的安装调整与控制办法。

1.2 设备制造与加工误差

即便大型旋转设备(例如泵组、压缩机等)在出厂前

都经历了精密机械加工与质量检验,但针对尺寸和重量极大的部件,因材料内应力释放、热处理变形以及机床加工能力受限等因素,依旧不可避免地存在一定加工偏差。典型问题涵盖泵座法兰安装面平面度误差、电机底座局部变形、地脚螺栓孔位偏差等,这类“先天”存在的几何误差,虽一般处于制造标准允许的范围,但要是安装初期没开展系统性检测与补偿,会伴随安装进程持续积累和传递,最终极大影响设备对中精度与运行稳定性。

刚性联接与强制紧固往往掩盖了这些初始误差,实际上损害了设备轴系的理想对中状态。泵与电机之间法兰的平行度超出公差范围,会直接引发角向对中偏差;底座若存在局部不平的情况,会引发附加的变形与应力。安装初期需借助激光跟踪仪、电子水平仪这类高精度测量工具,对关键结合面的平面度、水平度、孔位展开检测与记录,再通过增设垫片、局部研磨或调整安装次序等途径实施主动补偿。只有自源头管控并消除这些制造误差的传导,才可给后续精确对中打下可靠根基,保证设备长期稳定工作^[2]。

1.3 环境与热变形因素

设备安装精度受环境温度变化的影响,尤其是对中测量的稳定性,室外或半开放式厂房中,日照不均衡会造成设备局部受热情况不同。比如泵座朝阳面与背阴面之间能形成明显的温度梯度,从而引发热胀冷缩不均。这种变形将直接在水平度、同轴度等测量结果里呈现,引发数据波动,甚至让调整方向出现偏差。高精度找正操作最好在温度稳定的时间段(例如夜间或阴天)开展,还要对关键测点做温度监测和结果校正。

尤为关键的是,在机组运转时,电机与水泵因功率损失及散热条件的不同,往往会形成显著温差。电机温度常常比水泵高出 10℃及以上,该温差造成两者轴心线在热态情况下产生相对偏移。若冷态对中时没有进行补偿,设备升温到工作状态就会出现对中偏差,进而引发振动、磨损等严重问题。需在冷态找正阶段按照材料热膨胀系数、设计工况温度等参数,提前估算并反向施加这个“热偏移量”,以使设备热态运行时可达成良好的对中状况,热补偿是保障长周期稳定运行的关键技术手段。

2 高精度找正工艺的关键技术及执行步骤

由于上述因素,现代高精度找正工艺突出测量技术的提升和流程的标准设定。

2.1 基准网建立与基础复测

在开展泵房设备安装工程时,要先构建一套高精度的测量控制网,作后续所有安装工作的绝对参照。这一控制网不仅为设备定位构建了统一的空间参照体系,还是保障机组、管道及其附属设施精确就位的根基。控制点应设置在稳固、不易受干扰的地方,可借助强制对中标志等手段降低测量误差,一般要依据厂区首级控制开展引测与加密工作,以此保障整体坐标系统的一致性和精度传递的可靠性。

基于此情况,应借助全站仪、精密水准仪等高精度测量器具,对已完工的基础板(也叫埋件)开展最终复测与验收。复测涉及基础板的顶面标高、预埋中心线位置和表面水平度,这些参数会直接左右泵体、电机等核心设备的安装效果,测量时需依照“多次测量、取中校核”原则,保证数据真实无误。其精度要求极为严格:需将标高误差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内,中心线的偏差不能超出 $\pm 2\text{mm}$,水平度必须满足设备技术文件的标准,任何超差情况都可能造成设备就位不易、连接应力异常或是运行时振动超出规定,故而需在这一阶段把偏差完全消除,为后续设备安装打造良好环境,从源头保证整个泵房系统长期稳定运转^[3]。

2.2 泵体部件的初步就位与粗调

泵体导叶体、泵座等大型部件吊装并初步就位后,要即刻开展精准的对中与调平工作。该阶段将泵体出口法兰的中心位置作为关键参照,原因是它直接关乎后续进出口管道能否准确连接以及整个流道系统的对中质量。施工人员要通过千斤顶、楔形垫铁、调整螺钉等工具,精准且平稳地调整部件的水平与平面位置,整个过程要求耐心和精细操作相互配合。

为严格把控泵体中心线偏差在 5mm 以内,并且保证其水平度处于每米 0.5mm 的允许误差范围中。该标准是后续开展更精密总装调整的基础,若此环节偏差过大,会直接影响后续主轴安装、电机对中以及机组运行的平稳性。需自始至终借助百分表、激光对中仪、高精度水平仪等监测方式,实时反馈位置与姿态数据,引导调整操作。每开展一次微调工作,需再次测量关键参数,直到中心和水平两方面的要求同时达标。尽管这初始调平只是粗调,是整个安装流程中起衔接作用的关键部分,其质量会直接影响机组最终的安装精度与运行状况。

2.3 基于激光跟踪仪的精调与找正

高精度找正作为水泵与电机安装里的核心技术环节,其质量直接关系到设备运行平稳性、振动噪声状况以及机械密封使用寿命。激光跟踪仪作为核心测量工具,可凭借微米级高精度获取空间点三维坐标,精准实现关键部件位置与姿态的数字化描述,为后续精细调校提供可靠数据支撑。

在开展泵体垂直度找正操作期间,先把测量靶标安装到泵轴导轴承位置,让泵轴匀速转动,借助激光跟踪仪不断采集多组数据点。通过数据可拟合出泵轴实际旋转的中心线,还能精准算出其和理论垂直方向的偏差值,操作人员按照测量结果。通过对泵体底座下方顶丝和楔形垫铁进行微调,逐步调整泵体姿态,最终严格把控泵轴垂直度误差在 0.02mm/m 以内,以此保证转子组件铅垂方向的对中精度。泵体找正工作完成后,还需开展电机与水泵的同轴度找正工作,在电机轴端和水泵轴端各自安装专用卡具及靶标,使两根轴同步转动,借助激光跟踪仪精确测量两轴于 0°、90°、180°、270° 四个典型角度位置的径向与

端面偏差。依据测量所得数据,通过调整电机支座下调整垫片的厚度,精确调节电机高度与水平方位,最终让两轴之间径向位移和端面平行度的误差都小于 0.03mm,实现动力端和执行端高精度对中,为机组无应力连接和高效传动奠定基础^[4]。

2.4 热膨胀量的预估与补偿

完成电机与水泵的冷态机械对中后,还需考量运行状态下温度变化造成的热膨胀效应。按照设计方提供的电机、泵体轴承座以及基础板等部件预期的运行温度,可分别算出这些部件在运行状态下的热膨胀数值与膨胀方向。由于电机和水泵一般由不同材料制成,且运行温度有所不同。二者在轴向和径向产生的热膨胀量常不一致,若在冷态对中时未对这一膨胀差值进行补偿,会造成机组热态运行时对中偏差恶化,继而引发严重后果。

在进行高精度安装期间,需在冷态找正环节特意给电机中心预设一个偏移量。偏移量的数值与方向得经过精确计算,一般体现为电机轴心在垂直方向上比水泵轴心稍高,同时在轴向上向水泵端预先偏移特定距离。此项主动的“错位”设置,是为了弥补机组达到稳定运行温度后由差分膨胀造成的相对位置变动。采用基于热态补偿的预偏移对中策略,可使机组不但在冷态下符合对中精度要求,还能在实际运行的热态环境下自动趋向理想同轴状态,确保轴系始终处于低应力、高效率的传递状态,大幅提高设备运行的可靠性并延长其使用寿命。

3 工艺效益分析与质量控制

3.1 精度与效率提升对比

和传统借助百分表及塞尺来进行找正的方法相比,激光对中技术把测量精度从传统的 0.01mm 级别提高到了 0.001mm, 达成了一个数量级的跃升。采用激光发射与 CCD 传感的非接触测量方式,有效杜绝了人为读数偏差、表架挠曲及轴向窜动等传统误差因素。在大间距、多方向调整情形下优势愈发显著,这致使即便面对苛刻的安装标准,仍能达成极高重复性与可靠性的对中效果^[5]。

激光找正系统额外集成实时数据采集与处理功能,可动态展示当前偏差值和地脚调整的量与方向。操作人员无需多次测量、运算和臆测,直接按照屏幕指引增减垫片或移动设备,让原本凭经验的调整过程实现全面可视化与数据化。此技术变革,使原本需多人协同、多次迭代耗时数天的大型机组找正周期,压缩到数小时内搞定,极大提升安装效率,减少了停机时长,为工程进度把控和综合成本优化提供了核心支持。

3.2 运行质量验证

采用高精度对中工艺安装的旋转机组,在启动与试运行阶段便呈现出优异的综合性能。振动值一般能稳定控制在 1.5mm/s 以内,大幅低于国家标准所规定的 2.8 mm/s 优良阈值;因规避了对中不佳所引发的附加力和力矩,设备运转噪音明显降低,整体运行的平稳程度达到较高水准,这不仅优化了设备初始运行状态,还为后续长期安全稳定运行筑牢根基。从全生命周期成本考量,高精度安装所产生的效益更具长远性,优质的对中状态极大减少了轴承、机械密封、联轴器等关键部件的非正常损耗,让其更换周期大幅增加。大型泵组的轴承维护周期能从 12 个月延长到 24 个月乃至更久,机械密封的寿命同样可增加 30% 以上。这不但直接削减了备件采购与更换的人力成本,又降低了非计划停机造成的生产损失,进而大幅提高泵站的经济效益与运行稳定性。

4 结语

大型轴流泵实现高精度安装是水利泵站得以长期安全高效运行的关键。本研究显示,和传统基于经验的方法相比,运用以激光跟踪测量技术为核心的数据驱动找正工艺,可通过对基础、制造、环境等多源误差开展系统分析并进行标准化精细调校,使同轴度精度稳定维持在 0.03mm 以内。该工艺不但极大提高了安装的质量水平,还为机组状态监测与智能运维提供了精确的数据依据,对推动我国大型水利机电安装技术升级有着重要的推广价值。在未来,伴随传感器与人工智能技术的进步,未来研究重点将聚焦于无人化、自动化的智能找正系统。

[参考文献]

- [1]严平文.泵站机电设备安装方法与检修技术分析[J].工程技术研究,2024,9(24):100-102.
- [2]何耀勤.水利工程中泵站安装与调试施工技术研究[J].水上安全,2024(20):181-183.
- [3]杜晓刚.复杂环境下水利泵站机电设备安装施工的挑战与对策[J].工程与建设,2024,38(4):861-863.
- [4]曹振华.水利工程中泵站机电设备安装和检修技术研究[J].长江技术经济,2022,6(1):65-67.
- [5]杨德成.浅谈水利泵站机电设备的安装与检修技术[J].新型工业化,2021,11(9):226-227.

作者简介:郑斌(1982.2—),男,汉族,浙江杭州人,重庆大学,工程管理(工程造价管理方向);浙江江能建设有限公司,公司副总经理兼机电工程事业部经理和市场营销部经理,职称级别:高级工程师。