

输电线路工程不良地质水磨钻施工技术研究

李正发^{1,2}, 安宁¹, 周德胜²

(1. 国网甘肃省电力公司建设分公司, 甘肃 兰州 730000;

2. 国网思极飞天(兰州)云数科技有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 为了提升输电线路工程在不良地质条件下的施工效率与安全性, 研究聚焦于水磨钻技术的优化与应用。采用人工挖孔结合水磨钻的组合施工方案, 通过在实际不良地质环境中进行施工, 以对其可用性以及实用性进行检验。结果显示, 组合施工法的平均钻孔时间0.6 h, 钻孔精度最高为89.7%, 磨料消耗量最低为19.6%, 岩屑搬运率最高为82.6%。施工过程和成果均达到了既定的施工质量检验标准, 验证了提出技术的有效性。研究中所改进的人工挖孔组合水磨钻技术为不良地质条件下输电线路工程提供了一种可靠的施工方法, 该方法不仅提高了施工安全性, 也保障了工程进度, 为类似工程施工提供了重要的技术参考。

关键词: 不良地质条件; 水磨钻施工技术; 人工挖孔桩; 施工技术

中图分类号: TP273 文献标识码: A 文章编号: 1003-7241(2025)05-0164-05

Research on Construction Technology of Water Mill Drill for Poor Geology in Transmission Line Engineering

LI Zheng-fa¹, AN Ning¹, ZHOU De-sheng²

(1. Construction Branch of State Grid Gansu Electric Power Company, Lanzhou 730000 China;

2. State Grid Siji Feitian (Lanzhou) Yunshu Technology Co., Ltd., Lanzhou 730000 China)

Abstract: In order to improve the construction efficiency and safety of transmission line engineering under adverse geological conditions, this study focuses on the optimization and application of hydraulic grinding drilling technology. The combined construction scheme of manual drilling and hydraulic grinding is adopted to test its usability and practicability through the construction in the actual poor geological environment. The results show that the average drilling time of the combined construction method is 0.6 hours, the drilling accuracy is the highest at 89.7%, the abrasive consumption is the lowest at 19.6%, and the rock chip transportation rate is the highest at 82.6%. The construction process and results reach the established construction quality inspection standards, and the effectiveness of the proposed technology is verified. The improved manual drilling combined hydraulic grinding technology provides a reliable construction method for transmission line engineering under poor geological conditions, which not only improves the construction safety, but also guarantees the project progress, and provides an important technical reference for the construction of similar projects.

Keywords: bad geological conditions; hydraulic drill construction technology; hand-dug pile; construction technique

0 引言

输电线路工程贯穿山川与平原, 穿越多样化的地质环境^[1]。特别是在山区及溪流密布的区域, 岩石的侵蚀造成了地质结构的不稳定性, 岩层空隙率增大, 岩石强度减小, 从而极大地增加了钻孔桩基施工的不确定性与技术要求^[2]。目前国内通常采用钻孔灌注桩、地下连续墙以及布设预应力锚杆支护的方法, 以应对不良地质条件下的施工^[3-4]。而国外面对不良的地质条件, 则采用高压喷射注浆、钉土墙以及地下空腔注浆的方法进行应对^[5-6]。在

这种背景下, 传统钻孔施工技术的局限性日益凸显。针对此问题, 探索一种适应性强、效率高的施工技术显得尤为迫切。通过对不良地质条件下钻孔技术的深入分析与研究, 可为此类工程提供更为可靠的施工方案, 减少施工中的风险, 提高工程质量。考虑到工期以及成本问题, 采用人工挖孔的方法结合水磨钻进行施工。研究的创新性体现在针对性地解决了不良地质条件下施工难题, 不仅优化了施工过程, 还提高了施工效率和安全性, 降低了工程成本。研究将极大提升在复杂地质条件下输电线路工程建设的可行性与经济性。此技术对保障输电线路工程的顺利进行、降低环境影响及提高电网建设的整体水平

*基金项目: 国网甘肃省电力科技项目 (SGTYHT/21-JS-223)

收稿日期: 2024-01-26

具有重要的实践意义。

1 不良地下水磨钻施工技术

1.1 施工准备

首先进行地质勘探结果,基于勘探数据,考虑到不同的地质情况,采取相应的钻孔技术与工艺参数设定,确保钻孔的准确性和钻进效率。在技术选择上,必须根据地质情况匹配合适的钻具和钻头,同时优化钻进速率、施加

的压力以及泥浆循环的特性,以适应不断变化的地质环境^[7]。此外,环境保护与施工安全也是施工准备不可忽视的部分。在施工前进行环境影响评估,确保施工活动对周围环境的影响最小化,并制定相应的环境保护措施。同时,确保施工人员了解施工方案中的安全要求,进行安全培训,并制定应急预案,以防不测情况发生。

1.2 地质勘探结果

针对该施工区域的土层进行勘探,勘探结果如表1所示。

表1 土层地质勘探结果

土层	粒径/mm	液限/%	塑限/%	容重/(g/m ³)	含水量/%	孔隙比	粘聚力/kPa	内摩擦角/°	标贯击数/N
膨胀性黏土	0.02	73.6	34.7	1.4	44.2	0.91	95.2	15	2
粉细砂土	0.17	29.6	14.3	1.6	21.7	0.56	21.7	29	8
粗砂土	0.62	-	-	1.8	12.6	0.37	1.1	34	15
砾石混合土	11.21	-	-	2.1	6.1	0.31	9.5	36	25
碎石层	62.41	-	-	2.2	4.9	0.24	0.9	42	40

1.3 施工工艺控制

1.3.1 人工挖孔桩施工工艺

首先进行施工放线,根据设计图纸上的桩位进行精确地定位。定位后,挖掘土桩孔。挖孔时,通常从地面开始,逐渐向下挖掘,使用的工具包括铁锹、铲子、镐等,对于土质较硬的层面,可能还需要使用小型的气动或电动工具辅助挖掘。挖掘过程中需要注意孔壁的稳定性,一般会根据土质情况设置临时支护,如钢板、木板或者钢筋网片等。随着挖掘深度的增加,这些支护结构可能需要逐步加固或者更新。当挖掘到设计深度后,需要对孔底进行清理,去除松散物和积水,确保桩底平整,以便后续工序。

1.3.2 水磨钻施工工艺

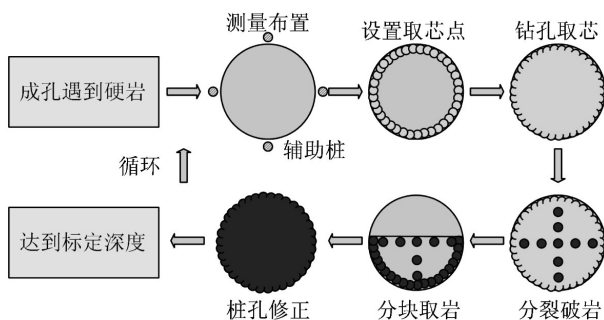


图1 水磨钻钻孔施工流程示意图

水磨钻施工工艺是一种在岩石或坚硬地层中进行深孔钻探的方法^[8]。在施工初期,钻机设立于指定位置,随即进行钻杆及钻头的装置调校。根据岩性硬度差异,钻头型号亦作相应选择,极硬岩石需用金刚石或硬质合金头^[9]。接着,进行钻探前置检查,确保钻机固定牢靠、供水系统流畅且磨料充足^[10]。准备完毕后,开动钻机,钻杆转

动带动钻头与岩面接触,并注入循环水与磨料以进行切削作业。钻进时需依据岩层情况调节速率及压力,并依据钻深实时延长钻杆长度^[11]。整个过程中需持续监控水流与压力,确保磨料供应,防止堵孔。如图1所示,即为水磨钻钻孔施工流程示意图。

1.3.3 孔桩清理

首先开启泵站,注入清水至桩孔底,利用水势冲击搅动底部杂质与泥浆,并随水流排出。然后依据桩孔尺寸,调整泵压和流量,以优化清洗效能。对于较深的桩孔,可能需多次循环注提水以确保清洁。接着,利用检查工具或目视检查桩孔洁净度,必要时重复清洗至达标。记录水位变化和泥浆特性,以评估清洁成效。清理后,过剩清水应抽除,确保桩底干燥,便于后续作业。面对特殊土层,可能需孔壁处理,如喷浆固化,以提升其稳固性。如图2所示,即为孔桩桩基示意图。

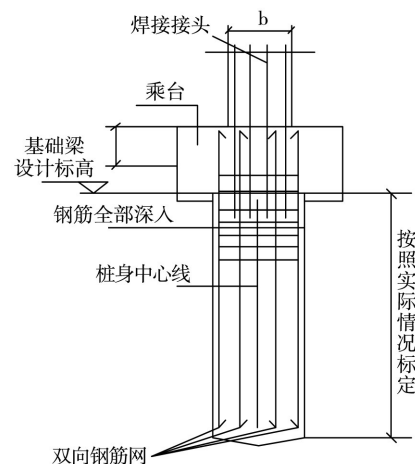


图2 孔桩桩基示意图

1.3.4 人工挖孔桩加护处理及护壁加筋加固工艺

在施工中,为避免桩孔坍塌及降低地质风险,采取加护措施是必要的。此操作常涉及护壁加固。选择护壁材料时考虑孔径、土质与作业深度,一般选用轻型钢板或木板。这些板材需从地面伸至孔底或覆盖松散层。护壁板须垂直均匀安置于桩边,通过焊接或夹具联结,形成封闭的环形结构阻隔土壤。确保护壁安装后稳定并加强,以抵御土压和施工负荷。此外,为了提升护壁结构的稳定性并阻止土体坍塌,施工中采纳了护壁加固筋工艺。在护壁内外侧安装钢筋网或框架,确保其与护壁的固接。而钢筋提供额外支撑,对抗土壤压力所致的护壁变形或位移。挖深加深应及时调整护壁和钢筋长度、强度。最终挖至预定深度,检验护壁与钢筋结构完好无损后,确认桩底清洁合格,迅速进行钢筋笼放置及混凝土浇筑,防止护壁结构长期暴露于变化土层中而损坏。如图3所示,即为人工挖孔桩护壁施工以及护壁加筋施工工艺示意图。

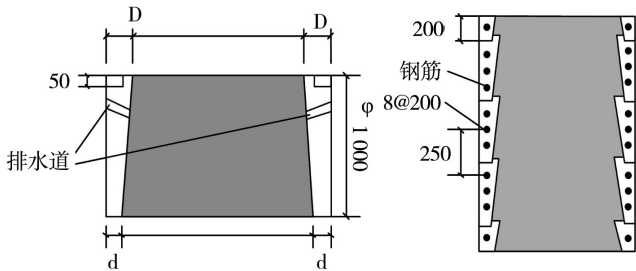


图3 人工挖孔桩护壁施工以及护壁加筋施工工艺示意图

1.3.5 钢筋笼下放

在地面上组装钢筋笼,根据设计要求正确连接纵筋和环筋,并通过捆扎或焊接确保连接点牢固。下放钢筋笼时,监控其位置,确保底部正确放置且顶部持平。放置后检查位置对齐,确认保护层厚度,并检验尺寸符合设计规格。具体如表2所示,为钢筋笼捆扎允许偏差值。

表2 钢筋笼捆扎允许最大偏差值

项目	允许偏差值
纵筋间距	±25 mm
环筋间距	±25 mm
纵筋直径	±2 mm
环筋直径	±2 mm
钢筋笼直径	±10 mm
钢筋笼长度	±50 mm
焊接点强度	满足设计要求
纵筋垂直度	1/1 000 的长度
钢筋笼净距	最小25 mm
钢筋保护层厚度	±5 mm

1.3.6 混凝土浇灌

浇筑开始时,首先要采取措施确保混凝土从桩顶直接流至桩底,常用的方法是通过竖直的输送管或泵送。在浇筑过程中,为防止混凝土离析和保证密实度,需要对混凝土进行振捣。为了确保桩体中无气泡和未填充的空

隙,浇筑需要连续进行,直到混凝土超过桩顶一定高度。浇筑完成后,需要对混凝土进行养护,防止水分过快蒸发而导致裂缝。养护方法包括覆盖湿麻袋、塑料薄膜或进行喷水养护,养护时间依据气候条件和混凝土强度发展要求决定。

1.3.7 沉降监测

自动化监测技术能够极大地提升沉降观测的精确度和效率。这类技术通过引入先进的传感器结合卓越的算法,能够连续不断地监测地表和结构物的微小变化,从而为早期预警和灾害防范提供了强有力的技术支持^[12]。研究构建智能神经网络沉降观测算法,实现对沉降的自动化监测。根据实际工程情况,产生沉降的原因可以区分为主观因素以及客观因素。设置观测中权重为 $w_{ij}; i=1, \dots, m, j=1, \dots, n.$, 阈值为 $b_{ij}; i=1, \dots, m, j=1, \dots, n.$, 以主观因素以及客观因素作为输入样本,构建样本函数,具体如公式(1)所示。

$$\begin{cases} f \left[\sum_{i=1}^m (w_{ij}x_i + b_{ij}) \right] \\ f \left[\sum_{j=1}^n (w_{ij}y_j + b_{ij}) \right] \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中, x_i 表示主观影响因素, y_i 表示客观影响因素, b_{ij} 表示阈值, w_{ij} 表示权重。

为进一步确保对沉降观测的准确性,首先按照实际观测数据,与模型自动输出数据进行比对。误差值设为 e ,则式(1)可以转化如式(2)所示。

$$\begin{aligned} e &= \frac{1}{2} (D - O)^2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^l \left(d_k - f \left[\sum_{j=1}^p (w_{jk}y_u + b_{jk}) \right] \right)^2 \\ &= \frac{1}{2} \sum_{k=1}^l \left(d_k - f \left[\sum_{j=1}^p \left(w_{jk} f \left[\sum_{i=1}^m (w_{ij}x_i + b_{ij}) \right] + b_{jk} \right) \right] \right)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)中, O 表示理论输出值, D 表示实际输出值。对于沉降监测,进一步对其中出现的误差进行分析,将其中的误差区分为随机误差以及系统误差。随机误差设为 E_m ,而系统误差设为 E_c ,其具体如式(3)所示。

$$\begin{cases} E_m = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (d_i - D_i)^2}{n-1} \\ E_c = \frac{d_i - D_i}{d_i + D_i} \times 100\% \end{cases} \quad (3)$$

通过上述误差分析,结合实际数据对工程施工沉降的误差进行纠错,则可以进一步提升沉降观测的精准率,提升所获得的沉降数据的可信度。

2 施工质量检验标准

在施工过程中以及竣工后,需要持续对施工质量进

行追踪检验,以保证工程的稳定性、安全性、使用功能和耐久性符合设计规范及建筑标准。如表3所示,即为施工质量检验标准。通过对施工质量进行检验,确保了施工过程中严格遵守设计图纸和规范,从而保障了工程项目的结构安全以及质量可靠。

表3 施工质量检验标准

检验项目	检验标准	检验时间
混凝土抗压强度	≥设计强度值	28天龄期
混凝土坍落度	±25 mm	浇筑时
钢筋位置偏差	±10 mm	钢筋笼安装完成后
钢筋保护层厚度	±5 mm	浇筑后
钢筋焊接或绑扎质量	无明显缺陷	钢筋笼制作完成后
钢筋直径及间距	±5% 设计值	钢筋笼制作完成后
混凝土浇筑连续性	无间断	浇筑中
混凝土养护温度	5-35℃	养护期内
混凝土养护湿度	≥80%	养护期内
混凝土表面平整度	±5 mm	浇筑后
桩顶标高偏差	±10 mm	桩顶成型后
桩身垂直度	0.2%桩长	桩身成型后
桩身横截面尺寸偏差	±3% 设计尺寸	桩身成型后
桩身混凝土缺陷	不超过桩身面积1%	浇筑完成后

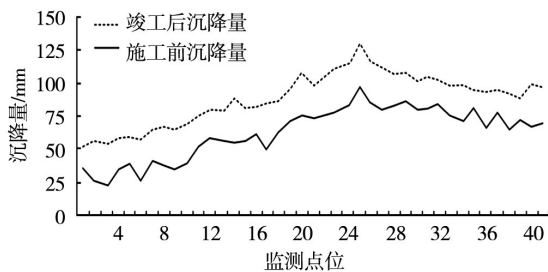


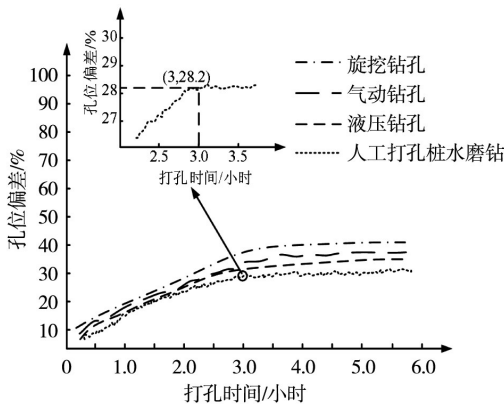
图4 施工前后沉降量监测

设置测量点位,采用自动化沉降观测算法,对工程前后的沉降量进行监测,监测结果如图4所示。从图4中可以看出,工程最大沉降量为124.1 mm,满足工程要求。

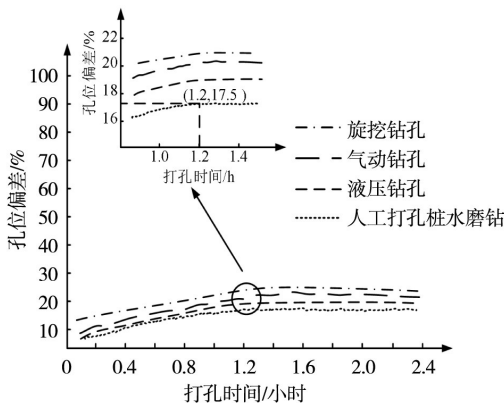
此外,为了进一步验证人工打孔桩结合水磨钻技术的可行性,研究选择型号为Atlas Copco CS14型水磨钻机,该设备的钻孔直径为150 mm,钻孔深度设置为600 m,配备了硬质合金钻头。此外,将传感器采集的数据通过Intel i7-16 GB的高性能处理器进行处理,配备GIS系统用于地质数据分析,以GPS和激光测距仪,用于精确钻孔位置和深度测量。以硬层地质和软层地质为测试环境,钻孔精度为参考指标,同时引入同类型较为流行的钻孔技术进行对比,例如旋挖钻孔技术、气动钻孔技术、液压钻孔技术等。具体的测试结果如图5所示。

图5(a)为硬层地质下不同技术方法的打孔误差变化曲线,图5(b)为软层地质下不同技术方法的打孔误差变化曲线。由图5可知,四种打孔技术在硬质底层的孔位偏差普遍大于软质底层。随着打孔时间的增加,两类地质下的四种打孔技术的误差逐渐增大,其中人工打桩联合水

磨钻技术的综合表现最佳,其硬层地质最大孔位偏差为28.2%。软层地质最大孔位偏差为17.5%。该数据明显低于同类型的其他技术方法,因此,可知研究所提方法具有一定的优越性。为了量化测试数据,研究继续以平均钻孔时间、钻孔精度、磨料消耗量以及钻孔底部的岩屑搬运率为测试指标,具体测试结果如表4所示。



(a) 硬层地质



(b) 软层地质

图5 不同钻孔方法的孔位偏差测试结果

表4 不同钻孔技术的指标测试结果

地质条件	技术类型	平均钻孔时间	钻孔精度	磨料消耗量	岩屑搬运率
硬层地质	旋挖钻孔	2.5 h	71.4%	42.3%	67.8%
	气动钻孔	2.1 h	78.6%	37.4%	72.8%
	液压钻孔	1.4 h	83.3%	32.4%	75.6%
	人工打孔桩-水磨钻	0.8 h	89.9%	24.6%	81.6%
软层地质	旋挖钻孔	2.1 h	78.6%	36.8%	70.2%
	气动钻孔	1.7 h	85.5%	34.1%	74.4%
	液压钻孔	1.1 h	86.7%	24.8%	79.8%
	人工打孔桩-水磨钻	0.4 h	89.7%	19.6%	82.6%

由图4可知,四种钻孔技术在软层地质的测试结果明显优于硬质层,该结果符合客观解释。研究提出的人工打孔桩-水磨钻技术的综合测试性能较其他三种技术更优,其平均钻孔时间0.6 h,钻孔精度最高为89.7%,磨料

消耗量最低为19.6%，岩屑搬运率最高为82.6%。综上所述，所提方法更适合现阶段的输电线路工程不良地质施工，其使用可行性和稳定性较优。

3 结束语

输电线路工程在复杂地质条件下的施工，尤其是遭遇不良地质时，常常面临着巨大的技术挑战。针对这一问题，研究采用了人工打孔桩结合水磨钻的方法，通过在具备不良地质条件的场所进行实地施工，对该施工技术的适用性以及实用性进行检验。研究结果表明，通过采用所提出的组合施工技术，能够有效应对不良地质条件下的钻探难题。相较于同类型施工钻孔技术，在硬层地质中其最大孔位偏差为28.2%，在软层地质中其最大孔位偏差为17.5%。平均钻孔时间0.6 h，钻孔精度最高为89.7%，磨料消耗量最低为19.6%，岩屑搬运率最高为82.6%。综上所述，该技术在现阶段的施工钻孔技术中具有一定的可靠性和适用性。该研究为类似不良地质条件下的输电线路工程提供了一套经验证的施工解决方案，为工程施工安全与进度提供了保障。同时，该研究也为后续的不良地质施工技术发展提供了宝贵的实践数据和经验。尽管如此，研究仍存在局限性。研究中所面对的不良地质条件无法完全复制自然环境中的所有不良地质特征，实际应用中可能会遇到更加复杂多变的情况。未来应针对不良地质水磨钻施工技术的研究应进一步深化，特别是在更广泛和极端的地质条件下的应用。

参考文献：

- [1] 丰佳,潘明九,何玺泓,等.不同类型山丘区架空输电线路工程土壤侵蚀特征差异研究[J].水利水电技术,2021,52(10):209-220.
- [2] 关国杰,李世柏.塔里木盆地西缘750kV超高压输电线路工程盐渍土分布规律及腐蚀性研究[J].武汉大学学报:工学版,2021,

54(2):243-246.

- [3] 刘辉,陈波,谢明华,等.埋地非金属管道定位仪的设计[J].计算机测量与控制,2021,29(5):251-255.
- [4] 李鹏,曾同,任鹏.BIM技术在地下深基坑支护结构施工中的应用[J].微型电脑应用,2022,38(8):183-186.
- [5] Rajesh M,Kaliyamoorthy R,Kiruba karan R.Parametric investigation on surface roughness and hole quality of Ti metal hybrid fibers cored laminate(MFL)during abrasive water jet drilling[J].Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers,Part C:Journal of Mechanical Engineering Science,2022,236(8):4147-4165.
- [6] 赵莹.一种SVM的建筑施工项目安全预警系统研究[J].微型电脑应用,2021,37(2):114-131.
- [7] 薛翊国,孔凡猛,杨为民,等.川藏铁路沿线主要不良地质条件与工程地质问题[J].岩石力学与工程学报,2020,39(3):445-468.
- [8] Thakur R K,Singh K K. Evaluation of hole quality to explore the influence of graphene nanoplatelets embedded in epoxy/carbon composite during abrasive water jet drilling[J].Journal of Manufacturing Processes,2023,85(1):569-583.
- [9] 刘艺.基于多模态参数的土木施工工程机械自动化方法研究[J].自动化与仪器仪表,2022,0(8):114-121.
- [10] 罗卫湘.电力管廊顶管施工杆塔中心桩位移自动化计算方法[J].现代电子技术,2023,46(1):113-117.
- [11] 薛慧,柴艳荣.机械自动化技术在水利水电工程中的应用[J].水利水电科技进展,2022,42(5):127.
- [12] 孙泽信,段举举.某深基坑工程全自动化监测技术的应用[J].勘察科学技术,2022,5(3):52-56.

作者简介:李正发(1988-),男,硕士,工程师,研究方向:输变电工程管理。

(上接第60页)

- [2] 王刘成.数控机床进给伺服系统伺服参数优化研究[D].太原:山西大学,2013.
- [3] 朱强,夏彪.交流伺服电机特性与过载检测分析[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2021,39(4):68-70.
- [4] 张军.伺服电机在提升机床定位精度中的设计与应用[J].内燃机与配件,2018(13):105-107.
- [5] 骆明霞.基于PID优化的卧式数控车床电气自动控制系统[J].自动化技术与应用,2023,42(11):34-37.
- [6] 肖潇,杨金堂,全芳成,等.伺服电机的选型原则与计算[J].机床与液压,2014,42(22):44-46,49.
- [7] 张清,周艳玲,刘炳山.数控机床进给系统交流伺服电机选择[J].制造技术与机床,1998(7):21-23,3.
- [8] 赵治月,刘伟,刘丽贞.基于激光传感器的零件几何尺寸测量[J].激光杂志,2018,39(7):55-58.

- [9] Myridis,Nikolaos E.Laser measurement technology: fundamentals and applications,by Axel Donges and Reinhard Noll[J].Contemporary Physics,2016:1-1.
- [10] 宋祥波,王衍睿.基于多激光传感器检测的复杂曲面精密零件外观方法设计[J].应用激光,2022,42(3):141-146.
- [11] 王建红.可编程尾座装置在数控车床上的应用[J].制造技术与机床,2021(9):134-137.

作者简介:霍洪旭(1990-),男,硕士,工程师,研究方向:数控车床和专机设计。