

智能圆锥动力触探试验系统的研究及应用

何祖钧, 黄严华, 肖杰豪, 林焕艳, 黄鹏辉

(佛山市三水区建筑工程质量检测站, 广东 佛山 528100)

摘要: 圆锥动力触探试验是我国交通工程现场原位测试时常用的方法, 具有试验设备简单、操作方便、应用范围广、作业效率高等优点, 但亦存在试验误差较大、再现性较差的缺点。为提升试验的效率、降低人工误差, 本文研发了一款圆锥动力触探试验系统, 该系统包含自动化圆锥动力触探试验设备及智能平台两部分。其主要优点有: 采用全自动落锤, 试验速度可达到每分钟 20 锤, 在检测过程中移位仅需一人操作, 极大地提高了现场效率, 检测效率相较于传统方式提高了 3~5 倍; 可实时采集探头贯入深度数据、重锤下落次数等数据, 且具有自动出具试验报告的功能。

关键词: 圆锥动力触探; 智能平台; 自动试验设备

中图分类号: TU195.3

文献标识码: A

Research and Application of Intelligent Cone Dynamic Penetration Test System

HE Zujun, HUANG Yanhua, XIAO Jiehao, LIN Huanyan, HUANG Penghui

(Sanshui Construction Quality Test Center, Foshan 528100, Guangdong, China)

Abstract: Cone dynamic penetration test is a commonly used method for in-situ investigation of transportation engineering sites in China, which has the advantages of simple testing equipment, convenient operation, wide application range, and high operational efficiency. However, it also has the disadvantages of large testing errors and poor reproducibility. In order to improve the efficiency of the experiment and reduce manual errors, this article has developed a cone dynamic penetration test system, which includes an automated cone dynamic penetration test equipment and an intelligent platform. Its main advantages include: using a fully automatic drop hammer, the test speed can reach 20 hammers per minute, and only one person is needed to move during the detection process, which greatly improves on-site efficiency. The detection efficiency is 3 to 5 times higher than traditional methods. It can collect real-time data on probe penetration depth, number of hammer drops, and has the function of automatically issuing test reports.

Key words: cone dynamic penetration; intelligent platform; automatic testing equipment

圆锥动力触探试验是一种原位测试常用的方法, 除岩土工程勘察外, 亦被大量应用于交通工程领域。该试验先将一定质量的穿心锤通过卷扬机提升到一定的高度, 然后自由下落锤击锤垫, 进而带动探杆、探头向下贯入土体中, 最后通过现场试验检测贯入一定深度的锤击数, 用于评价土体的物理性质、工程性质和力学性质^[1-4], 这些性质对于确保城市轨道交通的安全和稳定性至

关重要。与常规的工程地质钻探和取样试验等测试手段相比, 圆锥动力触探既有勘探和测试的特点, 又有试验设备简单、操作方便、应用范围广、作业效率高、可连续锤击贯入等优点, 适用于各类黏性土、粉土、碎石土及极软岩等。但是即使再完美的设计也有其缺陷, 试验误差较大、再现性较差是圆锥动力触探比较大的缺点^[5-7]。

目前, 针对圆锥动力触探试验的研究主要集

收稿日期: 2024-09-20

作者简介: 何祖钧, 高级工程师, 硕士, 研究方向为建筑工程检测

中在试验的适用性、实际锤击数的修正、锤击数与地基承载力对应关系等方面^[8-10]，而对于试验设备的改进、试验过程的控制与优化等方面的研究几乎是空白的。传统圆锥动力触探试验主要依赖于人工操作，这一模式不仅效率低下、试验周期长，还因现场计数过程中人为因素易引发错误，进而对试验结果的精确性构成不利影响。为提升圆锥动力触探试验效率、减少人工误差、提升试验信息化程度，本文开发了一款智能圆锥动力触探试验系统，该系统包含自动化圆锥动力触探试验设备及智能平台两部分，具有仪器设备自走、自动试验、计算机记录试验数据、数据实时上传、自动生成图表及报告等功能，其中出具报告的效率相较于传统模式提高了5倍左右。

1 自动化圆锥动力触探试验设备

传统的圆锥动力触探试验流程繁重且效率低下，依赖大量人力频繁搬运沉重的试验设备，手动操作重锤进行试验，随后还需人工记录试验数据和编制报告。整个流程不仅耗时耗力，还面临着数据回溯困难、横向对比分析不便以及易受人为因素干扰导致数据准确性下降的问题。鉴于此，项目组首先对自动化圆锥动力触探试验设备进行研发。圆锥动力触探试验设备结构图如图1所示，系统采集参数主要包括敲击面竖向沉降、重锤下落次数和当前位置信息。

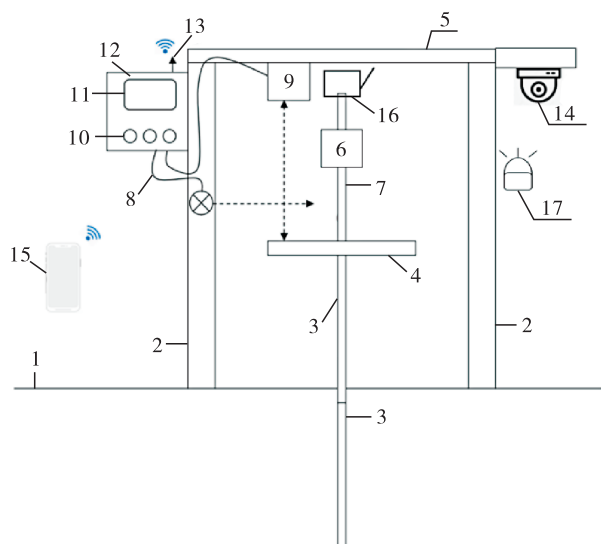


图1 圆锥动力触探试验设备简图

1—地基；2—钢架；3—触探杆；4—敲击面；5—固定横梁；6—落锤；7—落锤下落轨道；8—光电开关；9—激光传感器；10—控制箱按键；11—数据显示屏；12—控制器电箱；13—蓝牙天线；14—监控摄像头；15—手机终端；16—计数传感器；17—声光报警器

相较于现有技术，本试验系统展现出显著的优势，具体体现在：①全面智能化监测与数据传输。系统集成多样化的高精度传感器，能够实时、精确地测量并记录试验过程中的探头贯入深度、锤击次数以及试验点的精确定位等数据，并通过在线传输技术，及时将数据反馈给控制端。②严格的安全预警机制。遵循《岩土工程勘察规范》（GB 50021—2001）^[11]的要求，系统设计了安全预警功能，当触探杆偏斜度接近或超过规定的2%上限时，将立即触发预警机制，确保了试验过程安全可控，并满足试验的技术要求。③创新设计与效率提升。相较于传统设备，系统引入了光电开关、倾角传感器以及声光报警器等先进组件，显著增强了试验过程的安全保障，极大地提升了试验操作的便利性和工作效率。

如图2所示，改进后的设备采用全自动落锤模式，实现了试验速度的显著提升，每分钟可高效完成20次锤击，相较之下，传统钻机受限于人工操作，其速度仅能维持在每分钟5~8锤之间。此外，重型自动动力原位测试仪履带车在检测过程中的移位操作仅需1名工作人员即可完成，极大地减轻了人力负担。而传统钻机平台不仅需3人协同作业，还额外依赖吊机进行设备的安装与拆卸，过程繁琐且耗时。应用了该设备后，设备进退场时间由原来的2天缩短为1天；每日检测数量由原来的8孔/日增加到25孔/日，检测效率比原来提高了3~5倍。



(a) 重型

(b) 轻型

图2 改进的智能轻、重型动力触探设备实物图

2 圆锥动力触探试验智能平台

依托于自研自动化圆锥动力触探试验设备，项目组成功研发了相匹配的智能软件平台及圆锥动力触探试验移动APP，构建了一个集物联网与互联网技术于一体的现场服务系统。这一系统专

为圆锥动力触探试验设计, 旨在实现试验数据全方位移动化的管理与分析。具体功能涵盖: 实时采集试验数据、现场即时修改数据、确保数据同步更新以及便捷的远程查看, 极大地提升了试验与数据管理效率。系统主要包括以下几大模块:

(1) 系统主界面。如图 3 所示, 系统主界面显示项目地图以及功能主菜单, 其中主菜单包括

工程管理、工单管理、报告管理和平台设置。
①工程管理: 显示所有备案工程信息。
②工单管理: 显示试验工单, 并可进行增删改除废等操作。
③报告管理: 显示已生成报告列表以及报告下载列表, 并可对报告进行增删改除废等操作。
④平台设置: 显示用户信息, 协作单位信息以及数据字典设置。

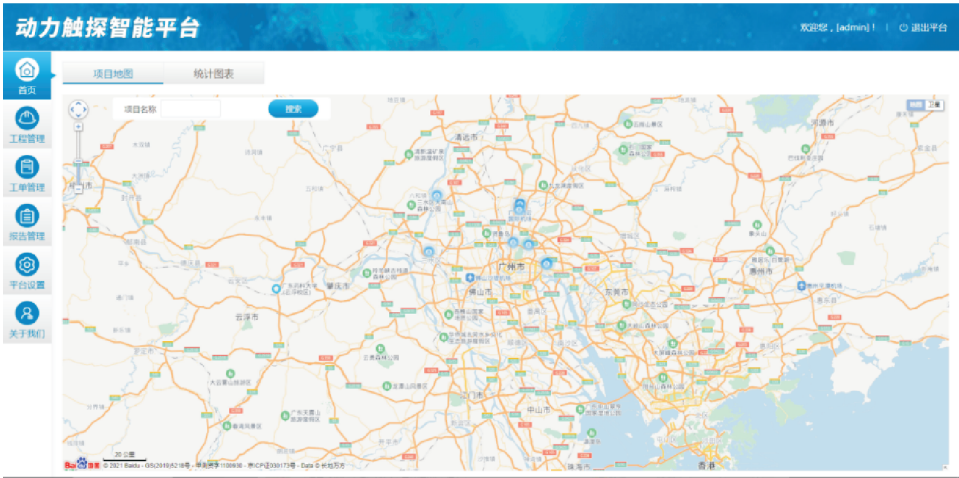


图 3 系统主界面

(2) 移动 APP。移动 APP 作为现场圆锥动力触探试验的得力助手, 不仅让试验员能够轻松通过智能手机或平板电脑与圆锥动力触探设备建立稳定的蓝牙连接, 还实现了试验数据的实时采集与上传。这一设计极大地简化了传统试验流程, 减少了人为错误, 提高了试验数据的准确性。此外, 通过云端同步功能, 试验数据还能安全地存储并分享给项目团队的其他成员, 促进团队协作与信息流通, 进一步提升整体工作效率。APP 部分操作界面如图 4 所示。



图 4 APP 页面

(3) 报告管理。报告管理系统是平台的核心

功能, 试验员根据实时传输至平台的数据, 可直接一键生成检测报告。在审核人、批准人通过软件平台完成报告确认后, 即可生成标准格式的电子报告。同时, 检测结果也可通过微信公众号推送至委托方。

3 案例应用

为验证本文设计智能圆锥动力触探试验系统的可行性, 项目组于 2021 年 9 月于佛山市某轨道交通车站区间土建工程的天然地基上进行了重型圆锥动力触探试验, 本次共完成了 10 个检测孔的原位试验。该地基土为残积土 - 强风化岩, 设计地基承载力特征值 350 kPa。试验结果如表 1 所示。根据检测结果, 该工程 10 个检测点, 在检测

表 1 重型动力触探锤击数代表值统计表

序号	检测点	锤击数代表值	
		0.00 ~ 0.50 m	0.50 ~ 1.0 m
1	DT1	26.8	42.5
2	DT2	25.4	44.3
3	DT3	23.6	43.3
4	DT4	21.2	39.2
5	DT5	24.6	42.8
6	DT6	26.6	42
7	DT7	22.8	44.3
8	DT8	26.2	42.5
9	DT9	22.6	38.0
10	DT10	23.8	42.8

点起始试验标高以下 0.00~0.50 m 段土层重型动力触探锤击数标准值为 23.3 击,变异系数为 0.08,推定地基承载力特征值大于 350 kPa;检测点起始试验标高以下 0.50~1.0 m 段土层重型动力触探锤击数标准值为 41.0 击,变异系数为 0.05,推定地基承载力特征值大于 350 kPa。

除重型动力触探外,项目组于 2023 年 4 月在佛山市某道路及土方工程上进行了轻型动力触探试验,目的是推定地基土的承载力特征值。该地基土为残积土,设计地基承载力特征值 120 kPa。

试验结果如表 2 所示。本次共 29 个检测点,在检测点起始试验标高以下 0.00~0.60 m 段土层轻型动力触探锤击数标准值为 69.1 击,变异系数为 0.11,推定该土层地基承载力特征值 >120 kPa。

在这两次检测试验中,智能圆锥动力触探试验系统获得了现场检测人员的高度评价,不仅大幅减少了工作量,而且具有高效的数据处理能力,使得外业采集完成后,检测报告能够迅速在线上完成编制与出具,把检测人员从繁琐的内业工作之中解放出来。

表 2 轻型动力触探锤击数代表值统计表

序号	检测点	锤击数代表值		序号	检测点	锤击数代表值	
		0.00~0.60 m	>0.60 m			0.00~0.60 m	>0.60 m
1	HK0+705	67.0	>100	16	HK1+390	68.5	>100
2	HK0+725	68.0	>100	17	HK1+475	66.5	>100
3	HK0+745	73.5	>100	18	HK1+495	63.0	>100
4	HK0+765	68.5	>100	19	HK1+515	65.5	>100
5	HK0+870	62.5	>100	20	HK1+535	68.5	>100
6	HK1+190	81.5	>100	21	HK1+555	70.5	>100
7	HK1+210	83.5	>100	22	HK1+575	72.5	>100
8	HK1+230	70.0	>100	23	HK1+595	77.5	>100
9	HK1+250	85.0	>100	24	HK1+615	79.0	>100
10	HK1+270	81.0	>100	25	HK1+635	86.0	>100
11	HK1+290	63.5	>100	26	HK1+655	69.5	>100
12	HK1+310	64.5	>100	27	HK1+675	67.5	>100
13	HK1+330	80.0	>100	28	HK2+415	59.5	>100
14	HK1+350	78.0	>100	29	HK2+435	59.0	>100
15	HK1+370	75.5	>100	—	—	—	—

4 结论

针对传统圆锥动力触探试验过于依赖人工操作、效率低、试验周期长、数据记录容易出错等问题,本文开发了一款圆锥动力触探试验系统,该系统包含自动化圆锥动力触探试验设备及智能平台两部分。在研发与应用过程中,发现其优势主要有:①采用全自动落锤,试验速度可达到每分钟 20 锤,在检测过程中移位仅需 1 人操作,检测效率相较于传统方式提高了 3~5 倍。②可实时采集探头贯入深度数据、重锤下落次数等数据,将采集信息实时发送至移动端进行数据处理和展示,并具有自动出具实验报告等功能。③引入了光电开关、倾角传感器以及声光报警器等先进组件,增强了试验过程的安全保障,提升了试验操作的便利性和工作效率。

参考文献:

[1]任远,刘波,胡富昶.超重型圆锥动力触探在卵石层地基勘察中的应用[J].四川水泥,2024(2):166-168.
[2]单诗涵,裴向军,封奇博,等.超重型圆锥动力触探杆长

修正优化与成果转换研究[J].地下空间与工程学报,2020,16(S2):885-890,933.
[3]范俊海.基于重型圆锥动力触探检测的强夯有效加固深度及其适用性探讨[J].住宅与房地产,2019(9):221,236.
[4]宝艳军,王增超.圆锥动力触探与取土样试验在填土检测中的对比分析[J].土工基础,2017,31(4):533-536.
[5]《工程地质手册》编委会.工程地质手册[M].5版.北京:中国建筑工业出版社,2017.
[6]张成功,王予亮,姜红霞,等.圆锥动力触探在强夯地基处理检测中的应用[J].浙江建筑,2016,33(2):26-29.
[7]王军辉,韩煊,王鑫,等.多向圆锥动力触探和标准贯入技术研究[J].施工技术,2015,44(S2):89-91.
[8]林澜,李飒,孙立强,等.基于动力触探的钙质土相对密实度研究[J].岩土力学,2020,41(8):2730-2738.
[9]滕爱国,黄俊文,王新,等.基于原位测试的珊瑚礁砂地基强度与变形参数关系初探[J].土工基础,2017,31(5):576-578,582.
[10]李会中,郭飞,潘玉珍,等.重型超重型动力触探锤击数修正系数外延研究[J].人民长江,2015,46(1):30-35.
[11]中华人民共和国建设部.岩土工程勘察规范:GB 50021—2001[S].北京:中国建筑工业出版社,2009.