



$\phi 42$ mm 和 $\phi 50$ mm 两型钻杆标贯击数 对比分析与修正*

陈凯, 杨秋芳

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 针对目前使用 $\phi 50$ mm 钻杆进行标贯试验而未对标贯击数进行修正的问题, 对同一场地的 $\phi 42$ mm 和 $\phi 50$ mm 两型钻杆标贯击数进行测试, 得到两型钻杆的锤击能比和标贯击数值, 通过数据对比建立 $\phi 50$ mm 钻杆标贯击数修正方法。以深圳港盐田港区东港一期工程为例, 测得两型钻杆在不同土层中的标贯击数。对比分析结果表明, $\phi 50$ mm 钻杆的总输入能量较 $\phi 42$ mm 钻杆高约 5%; 根据两型钻杆锤击能比和标贯击数比值的的关系, 确定使用 $\phi 50$ mm 钻杆时, 粉质黏土和中粗砂的标贯击数修正系数分别为 0.85 和 0.87。

关键词: 钻杆直径; 锤击能比; 标贯击数; 修正系数

中图分类号: U 652.2; TU473.1+1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)03-0080-05

Comparison and correction of standard penetration test count of $\phi 42$ mm and $\phi 50$ mm drill pipes

CHEN Kai, YANG Qiufang

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: In view of the problem that $\phi 50$ mm drill pipe is used for standard penetration test (SPT) without correcting the SPT count, the SPT count of $\phi 42$ mm and $\phi 50$ mm drill pipes in the same site are tested, the hammer energy ratio and the SPT count of the two drill pipes are obtained, and the correction method of $\phi 50$ mm drill pipe SPT count through data comparison is established. Taking the first phase of Donggang project in Yantian port area, Shenzhen Port as an example, the SPT count of two types of drill pipe in different soil layers are measured. The results show that the total input energy of $\phi 50$ mm drill pipes is about 5% higher than that of $\phi 42$ mm drill pipe. According to the relationship between the hammer energy ratio of the two drill pipe types and the ratio of the SPT count, the correction coefficients of the SPT count of silty clay and medium coarse sand are 0.85 and 0.87 respectively when $\phi 50$ mm drill pipe is used in this site.

Keywords: drill pipe diameter; hammer energy ratio; standard penetration test count; correction coefficient

GB 50021—2001《岩土工程勘察规范》规定标准贯入试验 (standard penetration test, SPT) 采用 $\phi 42$ mm 型钻杆, 并以 $\phi 42$ mm 钻杆所测得的标贯击数为依据评价地基土状态、地基承载力以及砂土液化等^[1-3]。然而, 由于 $\phi 42$ mm 钻杆直径较小,

无法承受较大扭矩, 在大深度勘察中容易发生折断, 导致标贯击数测量失败, 严重影响工程勘察进度和效率^[4]。近年来, 国内越来越多的勘察单位选择使用 $\phi 50$ mm 钻杆进行标贯试验^[5-6], 但大多数情况下, 未对 $\phi 50$ mm 钻杆所获得的实测标

收稿日期: 2024-09-27

*基金项目: 国家重点研发计划项目 (2023YFB2604200)

作者简介: 陈凯 (1987—), 男, 高级工程师, 从事岩土工程勘察和监检测工作。

贯击数 N 值进行相应的修正, 直接将其用于计算, 导致对于砂性土密实度和黏性土状态的判断存在明显的偏差。

本文以深圳港盐田港区东作业区一期工程标准贯入试验为例, 从锤击传递能量对两型钻杆所测得的 N 值进行对比分析, 通过锤击能比和标贯击数值拟合, 得出 $\phi 50$ mm 钻杆标贯击数修正系数, 以期为工程勘察和设计提供参考和借鉴。

1 现场试验

1.1 试验设备及测试方法

标贯试验选用 $\phi 50$ mm 与 $\phi 42$ mm 两型钻杆, 参数见表 1, 选用钻杆符合 GB/T 9808—2008 《钻探用无缝钢管》5.1.1 条^[7]。

表 1 $\phi 50$ mm 与 $\phi 42$ mm 钻杆基本参数对比
Tab. 1 Comparison of basic parameters between $\phi 50$ mm and $\phi 42$ mm drill pipes

钻杆型号	外径/mm	内径/mm	壁厚/mm	单位长度质量/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$)	单位质量比
$\phi 50$ mm	50	38.8	5.6	6.13	1.344
$\phi 40$ mm	42	32.0	5.0	4.56	

试验参照 ASTM4633-10^[8] 方法进行, 采用美国 PDI(Pile Dynamics Inc.) 公司的标准贯入能量分析仪, 试验前进行标定; SPT 杆组件长 1.5 m。

现场试验时, 首先在 SPT 杆组件上绑扎固定应变和加速度传感器, 再将 SPT 杆组件安装在试验的钻杆和标贯锤垫之间。SPT 杆组件和能量分析仪则通过无线电发射器和电缆连接。试验过程中, 通过应变传感器和加速度传感器测得速度等信号, 再将其转换成能量数据。

标准贯入试验的原理是利用标贯锤产生的冲击动能, 将 SPT 的标贯器打入钻孔底部的土层, 根据标贯基数判定土层的变化和土体的物理力学性质, 见图 1。试验中, 冲击动能在标贯锤垫及钻杆间传递, 分为 4 个过程: 标贯锤落下产生势能、标贯锤撞击锤垫产生弹性冲击、弹性冲击传递至钻孔底部的标贯器、标贯器因上部的冲击而贯入至孔底土层中。

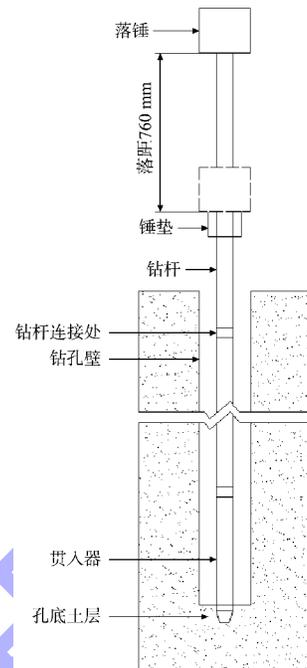


图 1 标准贯入试验能量传递
Fig. 1 Energy transfer in SPT

标准贯入能量分析仪采用标贯能量测试时力-速度(Fv)方法, 通过杆件上布置的 2 个加速度传感器和 2 个应变传感器测量试验中传递的能量, 同时测量钻杆轴向冲击力和加速度。试验过程中, 由于能量分析仪测量值为理论势能传递到杆件上的能量, 故所测能量与孔底标贯器贯入孔底土层的能量不完全相等; 标贯锤产生的反弹也会对钻杆弹性波产生一定的影响。另外, 钻杆与孔壁之间的摩擦阻力无法精确计算, 能量传递效率并没有完全反映孔内实际情况。因此, 还需结合实际情况对标准贯入试验中能量的测量精度进行分析。

1.2 试验场地地层条件

试验场地位于广东省深圳市盐田港东港一期堆场区, 场地原始地貌单元属海积平原及浅滩地貌, 其上覆土层为第四系全新统至晚更新统松散堆积层, 主要为粉质黏土和中粗砂。后期场地土层主要为经过人工吹填的厚层黏性土、砂土及碎石土; 场地内已完成地基处理的区域地面较平坦, 高程为 3.5~4.2 m。地层条件如表 2 所示, 其中 ④₄ 层以上主要为人工填土和填石层, 不适宜进行 SPT 试验, 故在 ④₄ 层以下土层采集 SPT 试验数据。

表 2 试验场地地层条件
Tab. 2 Stratum conditions of test site

地层序号	岩土名称	状态及密实度	平均层厚/m	SPT 适宜性
① ₂	人工填石	密实	8.2	不适宜
① ₃	填土混碎石	松散	5.5	不适宜
① ₄	碎石混填土	松散	5.6	不适宜
① ₅	粉质黏土	软塑	5.3	适宜
③ ₂	粉质黏土	可塑-硬塑	5.5	适宜
③ _{2,1}	粉质黏土	软塑	2.1	适宜
③ _{2,1}	中粗砂	稍密	3.1	适宜
③ ₃	中粗砂	中密-密实	4.3	适宜
③ ₄	粉质黏土	可塑-硬塑	3.4	适宜
③ ₅	中粗砂	中密	2.5	适宜

1.3 试验方案

试验共布置 5 组钻孔，各组间的距离为 30~60 m，同组钻孔的距离为 2~3 m。标准贯入试验从①₅ 粉质黏土层开始，测量间隔为 1.5 m，同组 2 个钻孔试验深度相同，便于试验数据对比分析。为避免人为干扰、设备因素等影响，试验过程中采用同一钻机机组和相同的施工工艺。试验方案见表 3。

表 3 试验方案
Tab. 3 Test schemes

钻孔孔号	钻杆直径/mm	试验孔深/m	标贯间距/m	布孔间距/m
LK ₀₉₀₋₁	42	35.95	1.5	2.5
LK ₀₉₀₋₂	50	35.95	1.5	
LK ₀₉₃₋₁	42	37.95	1.5	2.0
LK ₀₉₃₋₂	50	37.95	1.5	
LK ₀₉₅₋₁	42	37.95	1.5	2.3
LK ₀₉₅₋₂	50	37.95	1.5	
LK ₁₁₁₋₁	42	36.00	1.5	2.1
LK ₁₁₁₋₂	50	36.00	1.5	
LK ₁₃₄₋₁	42	39.45	1.5	2.5
LK ₁₃₄₋₂	50	39.45	1.5	

1.4 试验步骤

根据试验方案制定的试验步骤为：1) 平整钻机平台，钻机设备就位；2) 准备好 SPT 能量分析仪，预定义存储路径、新建工程和文件名；3) 钻进至设计的标准贯入试验深度，清孔，下放标准贯入器及钻杆(φ42 mm 或 φ50 mm 钻杆)；4) 设定试验深度，安装带有传感器的钻杆，安装标贯锤；5) 连接数据传输线，开始锤击，SPT 能量分析仪同步采集数据，直至满足试验要求(贯入 45 cm

或实测标贯击数大于 50 击/30 cm)，停止锤击；6) 断开数据传输线，拆卸标贯锤，起拔钻杆，继续钻进；7) 重复步骤 3) ~6)，直至达到设计标准贯入试验深度要求。

2 试验结果及分析

2.1 试验深度与标贯击数关系

图 2 所示为标贯击数总体分布及不同深度 φ42 mm 和 φ50 mm 钻杆的标贯击数对比。根据图中试验深度与标贯基数的变化关系，采用指数函数进行拟合得出，φ50 mm 钻杆的标贯击数略高于 φ42 mm 钻杆，两型钻杆的拟合趋势基本一致，相互关系明确，与现场的试验结果较吻合。

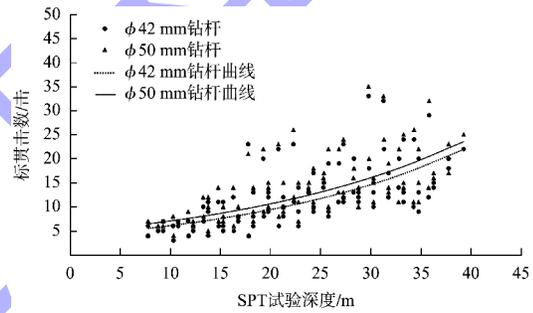


图 2 两型钻杆的标贯击数随贯入深度变化

Fig. 2 Variation of SPT counts with penetration depth between two types of drill pipes

从 5 组钻孔的 SPT 试验结果来看，每组试验钻孔的地层条件基本一致，没有明显的起伏变化。对比两型钻杆的标贯试验 N 值可以看出：通常情况下 φ50 mm 钻杆的标贯击数大于 φ42 mm 钻杆， N_{50}/N_{42} 的值基本分布在 1.0~1.4，部分异常值分布在 0.8~1.0。如图 3 所示，随着钻孔深度的增加，该比值整体上呈现逐渐变小的趋势，表示大深度下 φ50 mm 钻杆的 N 值越接近于 φ42 mm 钻杆。分析认为，φ50 mm 钻杆直径大于 φ42 mm 钻杆，与孔壁的接触、摩擦和挤压作用大于 φ42 mm 钻杆，摩擦损耗大于单位质量增加造成的能量增加；从能量传递方面来看，在本次钻孔试验深度范围内，钻杆的能量耗散主要是钻杆质量方面占主导，所以 φ50 mm 钻杆的标贯击数大于 φ42 mm 钻杆。

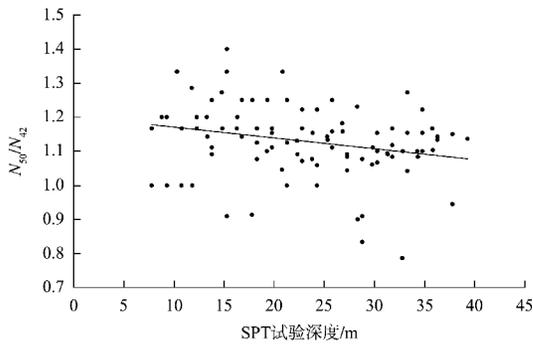


图3 N_{50}/N_{42} 值与试验深度的关系

Fig. 3 Relationship between N_{50}/N_{42} ratio and test depth

2.2 能量传递效率与标贯击数关系

落锤实际传递给钻杆的能量与理论传递能量之比称之为落锤的能量效率 E_r , 表示为:

$$E_r = E_{\text{mea}}/E_{\text{the}} \quad (1)$$

式中: E_{mea} 为落锤的实际能量; E_{the} 为落锤的理论能量, 取 476 J。

图 4 为能量传递效率随贯入深度的变化, 根据 $\phi 42\text{ mm}$ 钻杆和 $\phi 50\text{ mm}$ 钻杆在不同深度处的试验能量测试结果, 通过式(1)计算能量传递效率, 得出 $\phi 42\text{ mm}$ 和 $\phi 50\text{ mm}$ 钻杆的能量传递效率总平均值分别为 79.54% 和 84.37%, $\phi 50\text{ mm}$ 钻杆能量传递效率高约 5%。除个别异常数据, 一般情况下, $\phi 50\text{ mm}$ 钻杆的能量效率 E_r 大于 $\phi 42\text{ mm}$ 钻杆。由前文分析可知, 这一现象是由于 $\phi 50\text{ mm}$ 钻杆单位质量大于 $\phi 42\text{ mm}$ 钻杆, 输入标贯试验系统的总能量相对较大。

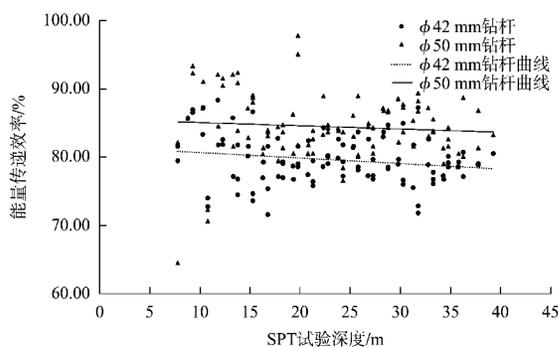


图4 能量传递效率随贯入深度的变化

Fig. 4 Variation of energy transfer efficiency with penetration depth

2.3 能量修正标贯击数 N_{60} 的分析

Mohr 的试验中标贯锤的落锤能效比约为 60%, 美国现行的标贯锤落锤的能效比接近该值^[9], 因此 Seed et al.^[10-11] 建议将 60% 作为比较各种落锤系统能量效率的基准, 锤击能量修正值表示为:

$$N_{60} = \frac{E_r}{60\%} \times N \quad (2)$$

式中: N_{60} 为经过标贯锤锤击能量修正之后的标贯击数; N 为实测标贯击数。

本次试验实测能量均大于 60% 的理论落锤势能 (285.6 J), 故 N_{60} 大于实测 N 值; 同时由于 $\phi 50\text{ mm}$ 钻杆能量大于 $\phi 42\text{ mm}$ 钻杆, 修正后 $\phi 42\text{ mm}$ 与 $\phi 50\text{ mm}$ 钻杆的 N_{60} 比值与实测标贯击数比值相比将缩小, 见表 4。由表可知, 不同类型土层的数据离散性较小, $\phi 42\text{ mm}$ 与 $\phi 50\text{ mm}$ 钻杆标贯击数比值较为稳定, 粉质黏土层修正系数介于 0.83~0.87, 平均为 0.85, 修正后为 $N_{60}^{42} = 0.85N_{60}^{50}$; 中粗砂层修正系数介于 0.86~0.87, 平均为 0.87, 修正后为 $N_{60}^{42} = 0.87N_{60}^{50}$ 。因此, 在工程实际勘察工程中, 当使用 $\phi 50\text{ mm}$ 钻杆时, 根据土层类型不同, 实测标贯击数应分别乘以 0.85 或 0.87 的修正系数, 以转化为规范规定的标准击数值。

表 4 修正后 $\phi 42\text{ mm}$ 与 $\phi 50\text{ mm}$ 钻杆标贯击数比值 N_{60}

Tab. 4 Ratio of SPT counts of $\phi 42\text{ mm}$ to $\phi 50\text{ mm}$ drill pipe after correction

土层	标贯击数比值			
	最大值	最小值	平均值	标准差
① ₅ 粉质黏土	1.23	0.63	0.83	0.12
③ ₂ 粉质黏土	1.11	0.73	0.85	0.09
③ ₂₋₁ 粉质黏土	0.97	0.76	0.86	0.11
③ ₂₋₁ 中粗砂	1.01	0.72	0.86	0.10
③ ₃ 中粗砂	1.07	0.71	0.87	0.11
③ ₄ 粉质黏土	1.15	0.71	0.87	0.10
③ ₅ 中粗砂	0.86	0.84	0.85	0.01

3 结论

1) 标准贯入试验中, 标贯击数的标准击数受钻杆直径的影响较为显著。对比试验中, 因钻杆

的直径、刚度、横截面等不同,在相同深度、同种土层中实测的 $\phi 42$ mm 钻杆标贯击数小于 $\phi 50$ mm 钻杆,两者的比值随深度不同呈现不规则变化。

2) 场地标准贯入试验中,使用 $\phi 50$ mm 钻杆的能量传递效率较 $\phi 42$ mm 钻杆高约5%。粉质黏土层中, $\phi 50$ mm 钻杆标贯击数的修正系数介于0.83~0.87,均值约为0.85;在中粗砂层中, $\phi 50$ mm 钻杆标贯基数的修正系数介于0.86~0.87,均值约为0.87。在使用 $\phi 50$ mm 钻杆进行标贯试验时,应根据地层情况选择不同的修正系数进行修正,以转化为能够按照规范规定使用的标准击数值。

参考文献:

- [1] 建设综合勘察研究设计院. 岩土工程勘察规范: GB 50021—2001[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
Construction Integrated Geotechnical Investigation and Surveying. Code for investigation of geotechnical engineering: GB 50021-2001 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009.
- [2] 王冲. 标准贯入试验在工程地质勘察中的应用[J]. 山西建筑, 2008, 34(23): 102-103.
WANG C. The application of standard penetration test in the geological engineering investigation [J]. Shanxi architecture, 2008, 34(23): 102-103.
- [3] 杨文卫, 岳中琦. 世界各地标准贯入试验比较和共同问题[J]. 工程勘察, 2008(1): 5-15, 52.
YANG W W, YUE Z Q. Current status and common issues in standard penetration tests for soil classifications around the world [J]. Geotechnical investigation & surveying, 2008(1): 5-15, 52.
- [4] 张苏民. 关于标准贯入试验的一些问题[J]. 勘察科学技术, 1996(5): 9-10, 7.
ZHANG S M. Some questions about standard penetration test [J]. Site investigation science and technology, 1996(5): 9-10, 7.
- [5] 聂庆科, 贾向新, 秦禄盛, 等. 钻杆直径对标准贯入试验 N 值影响的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2017, 39(S1): 53-58.
NIE Q K, JIA X X, QIN L S, et al. Field tests on the effects of diameter of drill pipe on number N of SPT[J]. Chinese journal of geotechnical engineering, 2017, 39(S1): 53-58.
- [6] 范建好. 对标贯击数杆径换算的探讨[J]. 工程勘察, 2014(1): 36-40.
FAN J H. A discussion on conversion of drill pipe diameter for comparing SPT- N [J]. Geotechnical investigation & surveying, 2014(1): 36-40.
- [7] 鞍钢股份有限公司. 钻探用无缝钢管: GB/T 9808-2008[S]. 北京: 中国质检出版社, 2009.
Anshan Steel Co., Ltd. Seamless steel tubes for drilling: GB/T 9808-2008 [S]. Beijing: China Quality Inspection Press, 2009.
- [8] American Society for Testing and Materials. Standard test method for stress wave energy measurement for dynamic penetrometer testing systems: D4633-10[S]. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 2010.
- [9] 李刚, 刘方, 罗俊. 美标标准贯入试验及标贯值修正与应用[J]. 水运工程, 2013(7): 43-47.
LIG, LIU F, LUO J. Introduction of SPT method in ASTM and correction and application of SPT [J]. Port & waterway engineerig, 2013(7): 43-47.
- [10] SEED H B, IDRIS I M, ARANGO I. Evaluation of liquefaction potential using field performance data [J]. Journal of the geotechnical engineering, 1983, 109(3): 458-482.
- [11] SEED H B, TOKIMATSU K, HANDER L F, et al. Influence of SPT(standard penetration test) procedures in soil liquefaction resistance evaluations[J]. Journal of the geotechnical engineering, 1985, 111(12): 1425-1445.