

重探试验锤击数的杆径换算研究

范建好

(海军工程设计研究院,北京 102202)

摘要:目前,国内绝大多数规范规定重探试验应采用 $\varnothing 42$ mm 钻杆,但从施工方便等因素的考虑,很多工程勘察单位趋向于采用 $\varnothing 50$ mm 的钻杆进行重探试验。通过分析重探试验要点及其影响因素,基于重探试验锤击数修正系数表,推导出杆径换算系数为 0.89,并以海南省某岛礁水运工程实例加以验证。结果表明,同一地貌单元,埋深 12 m 以浅的珊瑚碎屑层,采用 $\varnothing 42$ mm 钻杆进行重探试验的击数与采用 $\varnothing 50$ mm 钻杆进行重探试验的击数之比值为 0.875,与推导结果基本一致。

关键词:工程勘察;重探试验;锤击数;钻杆直径;杆径换算;珊瑚碎屑

中图分类号:TU413.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2015)01-0072-04

Study on Rod Diameter Conversion in Hammering Numbers of DPH/FAN Jian-hao (The Navy Engineering Design and Research Academy, Beijing 102202, China)

Abstract: $\varnothing 42$ mm rod is regulated for DPH in most standards of China, but a lot of engineering investigation units tend to use $\varnothing 50$ mm rods based on the consideration of construction convenience factors. By the analysis on the testing points of DPH and the influencing factors, based on the revision coefficient table of DPH, the derived coefficient of rod diameter conversion is 0.89, which has been verified by a waterway engineering instance in island reefs of Hainan. The results show that for the coral clast formation of buried depth less than 12m in the same geomorphic units, the ratio of hammering numbers of DPH with $\varnothing 42$ drill pipe and DPH with $\varnothing 50$ drill pipe is 0.875, which is in close agreement with the derived results.

Key words: engineering investigation; DPH; hammering number; drill pipe diameter; rod diameter conversion; coral clast

0 引言

圆锥动力触探试验(dynamic penetration test,英文缩写 DPT),是用一定质量的重锤,以一定高度的自由落距,将标准规格的圆锥形探头贯入土中,根据打入土中一定距离所需的锤击数,判定土的力学特性,具有原位测试和勘探双重功能。圆锥动力触探

设备主要由触探头、触探杆和穿心锤 3 部分组成,按其锤击能量可划分为轻型、重型和超重型 3 种类型,其规格和主要适用岩土层如表 1 所示^[1]。其中,重型圆锥动力触探试验(heavy cone dynamic penetration test,英文缩写 DPH,简称:重探试验)是应用最广的一种^[2-3],其规格与国际通用标准一致。

表 1 圆锥动力触探试验类型比较

类型	穿心锤质量/ kg	穿心锤落距/ cm	触探头直径/ mm	触探头锥角/ (°)	触探杆直径/ mm	指 标	主要适用岩土层
轻型 DPL	10	50	40	60	25	贯入 30 cm 的击数 N_{10}	浅部的填土、砂土、粉土、粘性土
重型 DPH	63.5	76	74	60	42	贯入 10 cm 的击数 $N_{63.5}$	砂土、中密以下的碎石土、极软岩
超重型 DPSH	120	100	74	60	50~60	贯入 10 cm 的击数 N_{120}	密实和很密的碎石土、软岩、极软岩

国内绝大多数规范规定重探试验应采用 $\varnothing 42$ mm 钻杆,文献[4-5]规定重探试验采用 $\varnothing 42$ mm 或 $\varnothing 50$ mm 钻杆均可。近年来,随着岩土工程的不断发展,钻探技术的不断改进,工程勘察单位越来越多地选用 $\varnothing 50$ mm 钻杆进行重探试验。尤其是南方的勘察队伍,钻机很少同时配备 $\varnothing 42$ 和 50 mm 两套

钻杆,为方便起见,钻进和重探试验皆用 $\varnothing 50$ mm 钻杆。另外,采用 $\varnothing 50$ mm 钻杆比 $\varnothing 42$ mm 钻杆刚度更高,不容易断杆。且钻孔较深时, $\varnothing 42$ mm 钻杆会发生挠曲。

目前,对于采用 $\varnothing 50$ mm 钻杆所得的重探击数 $N_{63.5(\varnothing 50)}$ 是否需要换算,尚无规范作出相应的规定。

收稿日期:2014-07-12

作者简介:范建好,男,汉族,1971 年生,高级工程师,注册岩土工程师,工学硕士,从事岩土工程勘察研究工作,北京市昌平区马池口镇亭自庄村甲 1 号,18910651089@189.cn。

因此,随着越来越多采用 $\varnothing 50$ mm 钻杆进行重探试验,如何使用重探击数 $N_{63.5(\varnothing 50)}$ 是不可回避的现实问题。本文以某岛礁水运工程为例,对珊瑚碎屑重探击数和钻杆直径之间的关系进行统计分析。

1 重探试验要点

重探试验一般包括放杆、锤击和拔杆3个步骤,其试验要点如下。

(1)采用自动落锤装置,落距为76 cm。

(2)保持触探孔和探杆垂直,触探杆最大垂直度偏差 $\geq 2\%$,锤击贯入应连续进行;同时防止锤击偏心、触探杆倾斜和侧向晃动;锤击速率宜为每分钟15~30击。

(3)及时记录每贯入0.10 m的锤击数,每贯入1 m,宜将触探杆转动一圈半;当贯入深度 > 10 m,每贯入0.20 m宜转动探杆一次,以减少侧壁摩阻力。

(4)当连续3次 $N_{63.5} > 50$ 时,可停止试验。

(5)重探试验也可配合钻探,间断贯入,以减少侧壁摩擦的影响(本次研究采用钻探与重探试验交替进行的方法)。

(6)对于一般砂、圆砾和卵石,触探深度不宜超过12~16 m。

重探试验击数的大小,直接反映土的密实程度和力学性质,可用于评定土的状态、地基承载力、场地均匀性等。

2 重探试验的影响因素

众所周知,重探试验是岩土工程勘察中一种重要的现场测试方法,重探试验从锤击发生碰撞至触探头贯入结束这一过程中,其影响因素甚多、机理很复杂。重探击数往往具有较大的离散性,影响重探试验的因素很多,主要有土层因素、设备因素、人为因素和重探环境等方面^[6]。

2.1 土层因素

土质本身(包括土的密实度、含水量、状态、颗粒组成、结构强度、抗剪强度、压缩性、埋深等)对重探击数的影响,如含有砾石的砂土,触探头遇到砾石时,重探击数会偏大。地层强度愈高,对触探头的侧摩阻力愈大,实测重探击数偏差也愈大。

重探位置的影响,平面位置的差异、土层深度的变化决定钻杆长度,从而会影响重探击数。

2.2 设备因素

设备因素主要有:触探头的规格、穿心锤的形状、导向锤座的构造及尺寸、导向杆和自动脱钩装置、钻杆的直径及长度、钻杆的垂直度、钻杆接头的松紧等。

各个厂家生产触探头允许有细部规格误差,不同规格的触探头对重探击数具有一定的影响。

由于保养不善,导向杆弯曲或导向杆上没刷润滑油、自动脱钩装置不灵,会使穿心锤下落的阻力加大,部分锤击能量消耗,造成重探击数偏大。

试验设备各部件丝扣之间连接不紧密,接头部位松动,将影响打击能量传递,导致重探击数偏大。

钻杆垂直度差,即钻杆倾斜与孔壁产生摩擦,会减小传至触探头的打击能量,导致重探击数偏大。所以在试验时需要导正钻杆,避免出现钻杆倾斜。钻杆摇晃也会影响冲击能的传递,造成重探击数偏大。

2.3 人为因素

2.3.1 钻进工艺技术

包括钻进的成孔工艺、钻进方法、钻孔的垂直度和孔底沉渣厚度等。不同的钻孔工艺会对重探试验产生影响。回转钻进比冲击钻进对孔底土体的扰动相对轻微,对重探试验击数的影响也要小的多。采用泥浆钻进,重探深度 > 12 m时,进行重探试验时,侧壁摩擦的影响可忽略不计。钻孔倾斜易造成落锤与钻杆之间产生摩擦力,减少了冲击能,重探击数偏大。护壁清孔差,孔底沉渣过多,实际贯入深度就要加大,造成试验器械的摩擦力和阻力加大,会造成重探击数偏大。

2.3.2 试验钻杆长度

钻杆在重探试验中起传递落锤锤击能量的作用,就能量传递而言,长度是一个重要因素。钻杆长度不同,其质量就不同,传递到钻杆底端触探头上的冲击能也不同。一般认为,杆长的增加,锤与探杆的质量比变小,杆的自重加大,惯量变大,杆的挠曲、晃动及侧摩阻力等也增大,经钻杆传到触探头的有效锤击能相应也降低,每锤贯入深度变小,会使实测重探击数偏大。所以,每次重探试验配备钻杆,其孔口上余长度应尽量保持一致,一般控制锤垫距钻探平台的高度为1.5 m左右。

2.3.3 操作水平

重探试验人员的操作技术,包括落锤速度、重探深度位置判断。落锤速度控制在2~4 s/击,对试验结果影响不大。孔深与重探位置深度的计算误差,

亦易造成重探击数的偏差。

2.4 重探环境

在水上钻探时,受风、浪、流等环境因素影响,钻探平台易起伏,重探试验设备易晃动,锤击能量会损失,导致重探击数偏大。而且,测试读数基准面不易掌握,会产生计数偏差。

3 杆径换算系数的推导

近年来,为方便起见,工程勘察单位趋向于采用 $\varnothing 50$ mm 钻杆进行钻进和重探试验。根据《钻探用无缝钢管(GB/T 9808—2008)》5.1.1条款,国内常用的 $\varnothing 50$ mm 钻杆与 $\varnothing 42$ mm 钻杆基本参数对比如表2所示^[7]。

表2 钻杆基本参数对比

钻杆规格	外径/	内径/	壁厚/	每米质量/	两者单位 质量比值
	mm	mm	mm	(kg·m ⁻¹)	
$\varnothing 50$ mm	50	38.8	5.6	6.13	1.344
$\varnothing 42$ mm	42.0	32	5.0	4.56	

由表2可知,单位长度 $\varnothing 50$ mm 钻杆比 $\varnothing 42$ mm 钻杆质量大,是其1.344倍,侧面积也大。钻杆在重探试验中起传递落锤锤击能量的作用,用 $\varnothing 50$ mm 钻杆代替 $\varnothing 42$ mm 钻杆进行重探试验,由于钻杆直径变大,钻杆质量也变大,重探时,锤击动能在钻杆长度范围内的损耗变大,从碰撞过程能量守恒考虑,传递到钻杆底端触探头上的冲击能变小,触探头贯入土层的能力降低,导致重探击数偏大。也就是说,钻杆直径对重探击数是有影响的,不能予以忽略,对重探击数进行杆径换算是必须的。编制勘察报告时,应提供实测重探击数,即:应把 $N_{63.5(\varnothing 50)}$ 值换算为采用 $\varnothing 42$ mm 钻杆进行重探试验的 $N_{63.5(\varnothing 42)}$ 值。

重探击数杆长校正是依据牛顿碰撞理论,对同一土层,由于重探位置在地层中所处深度不同,引起重探击数有规律变化,将这种变化与固定埋藏深度(一般为1.5~2.0 m)时的实测击数相比较,而采取的一种修正(事实上就是深度修正问题)。杆长校正的实质是考虑到传输给钻杆的锤击能量随杆长的变化而变化,值得借鉴^[8]。左永振等认为,重探试验杆长修正系数的整体趋势规律符合牛顿弹性碰撞理论,都随着杆长的增加,修正系数逐渐减小^[9]。

基于单位长度 $\varnothing 50$ mm 钻杆质量是 $\varnothing 42$ mm 钻杆质量的1.344倍,可把重探所采用的 $\varnothing 50$ mm 钻杆长度换算为同质量的 $\varnothing 42$ mm 钻杆等代长度,即:

长度为 L 的 $\varnothing 50$ mm 钻杆可换算为等代长度为 $1.344L$ 的 $\varnothing 42$ mm 钻杆。因此,用 $\varnothing 50$ mm 钻杆代替 $\varnothing 42$ mm 钻杆进行重探试验,可以理解为:本应采用长度为 L 的 $\varnothing 42$ mm 钻杆进行重探试验,而实际采用了等代长度为 $1.344L$ 的 $\varnothing 42$ mm 钻杆进行重探试验。这样,可以把杆径换算问题转化为杆长校正问题来探讨,即以 $\varnothing 42$ mm 钻杆长度为 L 对应的校正系数 α_1 为基准值, $\varnothing 42$ mm 钻杆等代长度为 $1.344L$ 对应的校正系数 $\alpha_{1.344}$ 与 α_1 的比值就是杆径换算系数 α_0 。在实际工作中,可将采用 $\varnothing 50$ mm 钻杆进行重探试验的 $N_{63.5(\varnothing 50)}$ 值乘以相应杆长的杆径换算系数 α_0 以等效于采用 $\varnothing 42$ mm 钻杆进行重探试验的 $N_{63.5(\varnothing 42)}$ 值,以便在勘察报告中使用时。

以《岩土工程勘察规范(GB 50021—2001)》附录B表B.0.1为依据,用多项式拟合求得不同杆长的校正系数^[10]。基于杆长校正问题来考虑杆径换算问题,计算推导出杆长为2~15 m的杆径换算系数,汇总归纳如表3所示。

由表3可知,杆径换算系数 α_0 为0.77~0.99,平均值为0.89,折减比较小。重探试验是一种粗略的测试方法,且重探试验的影响因素很多,重探试验也不可能达到很高的精度。因此,我们可简化考虑,即:采用 $\varnothing 50$ mm 钻杆进行重探试验的 $N_{63.5(\varnothing 50)}$ 值乘以0.89即可换算为采用 $\varnothing 42$ mm 钻杆进行重探试验的 $N_{63.5(\varnothing 42)}$ 值。这需要大量工程实践的验证,才可广泛推广使用。

4 工程实例验证

海南省某岛礁水运工程,位于内礁坪地貌。采用泥浆护壁回转钻进成孔工艺,共完成钻孔24个。为了重点研究由于钻杆直径造成重探击数的差异, $\varnothing 42$ mm 钻杆重探孔与 $\varnothing 50$ mm 钻杆重探孔间隔进行布孔,选用同一钻机设备和同一施工队伍,在相同的深度、钻杆长度及岩性进行重探试验,且要求每个孔间隔0.5 m深度进行一次重探试验(基于重探试验临界深度一般为0.5~1.0 m^[11]),以确保两种杆径重探个数一致。珊瑚碎屑层进行重探试验共计480次,其中采用 $\varnothing 42$ mm 钻杆重探、采用 $\varnothing 50$ mm 钻杆重探各240次。

勘探最大深度35 m范围内,自上而下主要地层为珊瑚碎屑、珊瑚砾砂、珊瑚中砂、珊瑚碎屑及珊瑚礁灰岩。地层层位比较稳定,其中,上部珊瑚碎屑埋深

表3 重探试验杆径换算系数 α_0

钻杆长度 L/m	钻杆等代长度 L_e/m	$N_{63.5}$											平均值
		5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	
2	2.7	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.90	0.89	0.89	0.92
3	4.0	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98
4	5.4	0.97	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.93	0.93	0.93	0.93	0.92	0.95
5	6.7	0.95	0.95	0.94	0.93	0.93	0.94	0.94	0.94	0.92	0.89	0.92	0.93
6	8.1	0.95	0.93	0.93	0.93	0.92	0.93	0.92	0.92	0.92	0.91	0.91	0.93
7	9.4	0.93	0.93	0.93	0.92	0.92	0.91	0.89	0.89	0.88	0.89	0.92	0.91
8	10.8	0.93	0.93	0.93	0.93	0.92	0.91	0.90	0.88	0.87	0.86	0.88	0.90
9	12.1	0.92	0.91	0.91	0.90	0.89	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.89	0.89
10	13.4	0.91	0.91	0.89	0.89	0.87	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86	0.86	0.88
11	14.8	0.90	0.89	0.88	0.88	0.86	0.84	0.82	0.82	0.83	0.82	0.85	0.85
12	16.1	0.89	0.89	0.89	0.87	0.85	0.86	0.84	0.84	0.82	0.83	0.83	0.86
13	17.5	0.88	0.88	0.87	0.87	0.85	0.84	0.84	0.82	0.81	0.79	0.81	0.84
14	18.8	0.88	0.86	0.86	0.85	0.83	0.82	0.80	0.80	0.79	0.78	0.79	0.82
15	20.2	0.88	0.86	0.84	0.82	0.80	0.79	0.78	0.79	0.78	0.77	0.78	0.81
平均值		0.92	0.92	0.91	0.90	0.89	0.89	0.88	0.88	0.87	0.86	0.87	0.89

0~12 m左右。本文着重选取珊瑚碎屑层埋深2~12 m的重探击数作为研究对象。

本文按地层、埋深进行 $\varnothing 42$ mm钻杆重探击数与 $\varnothing 50$ mm钻杆重探击数的对比统计分析,两种杆径重探击数统计结果汇总于表4。

表4 珊瑚碎屑的重探击数统计

统计项目	统计个数	最大值	最小值	平均值	变异系数	平均值比值
$N_{63.5(\varnothing 42)}$	240	28	15	19.6	0.35	
$N_{63.5(\varnothing 50)}$	240	30	16	22.4	0.33	0.875

由表4可知,珊瑚碎屑采用 $\varnothing 42$ mm钻杆的重探击数 $N_{63.5(\varnothing 42)}$ 平均值为19.6,判定为中密土层;珊瑚碎屑采用 $\varnothing 50$ mm钻杆的重探击数 $N_{63.5(\varnothing 50)}$ 平均值为22.4,判定为密实土层;两者判定结果不一致。由表4可知,珊瑚碎屑的 $N_{63.5(\varnothing 42)}$ 平均值与 $N_{63.5(\varnothing 50)}$ 平均值之比为0.875,也就是说,杆径换算系数 α_0 为0.875,与之前的分析结果0.89基本一致。

经杆径换算,即: $N_{63.5(\varnothing 50)}$ 乘上0.89的杆径换算系数,采用 $\varnothing 50$ mm钻杆的重探击数平均值可换算成19.9,与采用 $\varnothing 42$ mm钻杆的重探击数平均值19.6相差0.3击(仅相差1.5%),据此可判定珊瑚碎屑层为中密土层。因此,勘察报告中对珊瑚碎屑的密实度确定为中密,局部为密实。

5 结论

(1)重探试验击数受钻杆直径的影响,工程勘察中,应尽量采用 $\varnothing 42$ mm钻杆进行重探试验。若采用 $\varnothing 50$ mm钻杆进行重探试验,其重探击数应进

行杆径换算,转化为采用 $\varnothing 42$ mm钻杆进行重探试验的击数,方可在勘察报告中使用。

(2)本文研究的埋深12 m以浅的珊瑚碎屑层的杆径换算系数为0.875,与推导结果0.89基本一致。即:采用 $\varnothing 50$ mm钻杆进行重探试验的击数应乘以0.89的杆径换算系数,从而转化为采用 $\varnothing 42$ mm钻杆进行重探试验的击数。

(3)土层性质对杆径换算系数是有影响的,盼在工程勘察实践中能得到更多的验证或更合理的修正。

参考文献:

- [1] GB 50021—2001,岩土工程勘察规范[S].
- [2] 李晓力,肖普,李庆跃.重型动力触探在振冲施工质量控制及检测中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(2):74-76,80.
- [3] 曹厚明.重型动力触探、标准贯入试验在振动挤密碎石桩复合地基检测中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(2):25-25.
- [4] TB 10018—2003,铁路工程地质原位测试规程[S].
- [5] YS 5219—2000,圆锥动力触探试验规程[S].
- [6] 张平,田红花.有关动力触探影响因素修正问题的探讨[J].沈阳大学学报,1999,11(2):80-83.
- [7] GB/T 9808—2008,钻探用无缝钢管[S].
- [8] 谢春庆.雅江流域碎石层动力触探试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(5):4-5.
- [9] 左永振,程展林,丁红顺,等.动力触探杆长修正系数试验研究[J].岩土力学,2014,35(5):1284-1288.
- [10] 鲁兴社,罗洋.计算动力触探修正系数的多项式拟合法[J].长春工程学院学报(自然科学版),2011,12(1):39-43.
- [11] 赵昭熔,曹化平.动力触探试验技术的研究与应用[J].铁道工程学报,2005,(S1):431-439.