

# 超重型动力触探在 XX 机场中的应用与研究

杨宗强<sup>1</sup> 汪加波<sup>2</sup>

贵州铁建工程质量检测咨询有限公司 贵州 550008

DOI: 10.32629/ems.v8i4.19750

**[摘要]** 重型动力触探广泛运用于岩土工程施工中,采用一定质量的落锤锤击使圆锥形探头贯入岩土中,根据不同落锤质量记录 10cm 或 30cm 的锤击数,通过对锤击数进行分析与研判,可以初步判断土的类型及地基承载力,同时辅以其他勘探测试手段可以进一步划分土层并进行土的定名,本文就机场工程中利用场区内青灰色中风化砂岩成型强夯置换墩,采用超重型动力触探辅以钻探方法来评价强夯置换墩的密实程度进行了一些研究,旨在为同类工程提供参考。

**[关键词]** 机场工程; 青灰色中风化砂岩; 超重型动力触探; 钻探; 强夯置换墩密度、施工; 检测; 应用

## Application and research of super heavy dynamic penetrating sounding in XX airport

Yang Zongqiang<sup>1</sup> Wang Jiabo<sup>2</sup>

(Guizhou Railway Construction Engineering Quality Inspection Consulting Co., Ltd Guizhou 550008)

**[Abstract]** Heavy dynamic penetration testing is widely used in geotechnical engineering construction. A drop hammer of a certain mass is used to drive a conical probe into rock and soil by hammering. The number of hammer blows required for penetration of 10 cm or 30 cm is recorded according to different hammer masses. Through analysis and evaluation of the blow count, the soil type and foundation bearing capacity can be preliminarily determined. Combined with other exploration and testing methods, soil layers can be further subdivided and classified. This paper conducts a study on evaluating the compactness of dynamic replacement stone columns formed by bluish-gray moderately weathered sandstone within the site in airport engineering, using super-heavy dynamic penetration testing supplemented by drilling. The research aims to provide a reference for similar projects.

**[Key words]** Airport engineering; grayish medium weathered sandstone; ultra-heavy dynamic penetration test; drilling; compaction replacement pile density and construction; inspection; application

### 1 引言

轻型和重型动力触探是原位测试中应用较多,使用相对简单,根据土的类型不同,通过查表能快速得出地基土的基本承载力的一种测试方法,根据《建筑地基检测技术规范》JGJ340-2015 8.1.1条第3点规定超重型动力触探试验适用于评价碎石土、极软岩和软岩等地基土性状和判定地基承载力,也可用于评价强夯置换墩效果及置换墩着底情况。本机场项目位于四川省境内,场区内填挖结合有着丰富的中风化砂岩材料。根据前期勘察及现行设计要求,强夯置换区垫层及置换墩采用场区内青灰色中风化砂岩,最大粒径不超过 40cm,粒径大于 30cm 的颗粒含量≤30%,强夯置换墩应稳定处于硬塑土层上。本文以实例通过对成型后的强夯置换墩开展超重型动力触探辅以钻探方法来评价强夯置换墩的密实效果及着底情况综合评价工程质量,同时对在开展超重型动力触探试验过程中的一些问题及应对情况进行综合论述。

### 1. 原理

超重型动力触探简称动探,也称为圆锥动力触探 DPT,是利用 120kg 质量的重锤,将与探杆相连接的标准规格的探头打入土中,根据探头贯入土中 10cm 所需要的锤击数,判断土的力学特性,评价土的工程性质。强夯置换墩密实程度判定源于这一基本原理。

### 2. 适用范围

超重型动力触探一般适用于稍密-密实的碎石、卵石土、极软岩和软岩,根据 TB10018-2018 条文说明中 8.1.1 条,根据目前国内已有的成熟经验,在一定条件下可将应用范围扩大到全风化、强风化岩,同时 JGJ340-2015 中提出可以用于评价强夯置换墩置换效果及置换墩着底情况。

### 3. 影响圆锥动力触探的主要因素

#### 3.1 人为因素

3.1.1 落锤的高度、锤击速度和操作方法;

3.1.2 读数测量方法和精度;

3.1.3 触探孔和探杆的垂直度;

#### 3.2 其他主要影响因素

3.2.1 土的性质:如土的密度、含水量、状态、颗粒组成、结构强度、抗剪强度、压缩性和超固结比等。

3.2.2 触探深度:主要包括触探杆侧壁摩擦和触探杆长度的影响两部分。一般认为,触探贯入时由于土对触探杆侧壁的摩擦作用消耗了部分能量而使触探击数增大。侧壁摩擦的影响有随土的密度和触探深度的增大而增大的趋势。国外资料介绍,对于一般土层条件,用泥浆护壁钻进,触探深度小于 15m 时,可不考虑侧壁摩擦的影响。原一机部西南勘测大队在松散-稍密的砂土和圆砾、卵石层上所做对比试验表

明: 重型动力触探在深度 12m 左右范围内, 侧壁摩擦的影响是不显著的。如果土层较密、深度较大时, 侧壁摩擦有明显的影响。

3.2.3 地下水: 地下水的影响与土层的粒径和密度有关。一般的规律是颗粒越细、密度越小, 地下水对触探击数的影响就越大, 而对密实的砂土或碎石土, 地下水的影响就不明显。苏联索洛杜兴认为, 当密度相同时, 饱和砂土的触探阻力要比干砂小些, 而在松散砂中水的影响要比密实砂中更大些。一般认为, 利用圆锥动力触探确定地基承载力时可不考虑地下水的影响; 而在建立触探击数与砂土物理力学性质的关系时, 应当适当考虑地下水的影响。

3.2.4 地层划分: 各种类型的圆锥动力触探试验一般是以贯入一定深度的锤击数作为触探指标, 通过与其他室内试验和原位测试指标建立相关关系来获得地基土的物理力学性质指标, 从而评价地基土的性质。根据各孔分层的触探指标平均值, 用厚度加权平均法计算场地分层触探指标平均值和变异系数。锤击数是否修正或如何修正取决于使用目的和建




立统计关系背景。其中 TB10018-2018 第 8.4.6 条介绍地基土力学分层应根据动力触探击数与贯入深度曲线图, 结合场地地质资料进行。

4. 在本工程中的具体应用

4.1. 填料要求

4.1.1 强夯碎石墩置换料采用硬质石料, 要求块石的饱和单轴抗压强度  $f_r \geq 15\text{MPa}$ , 最大粒径不超过 40cm, 粒径大于 30cm 的颗粒含量  $\leq 30\%$ , 且强夯置换墩应稳定处于硬塑土层上。通过对场道内大部分青灰色中风化砂岩进行岩石抗压强度试验, 发现场道内大部分中风化砂岩烘干状态抗压强度均大于 15MPa, 有的强度高达 40MPa, 但这里又呈现出一个中风化砂岩独有的特点, 饱水抗压强度下降, 导致软化系数不满足  $KR \geq 0.75$  要求, 对此我们进一步对场道内的中风化砂岩进行了大量的试验研究, 最终选定单轴抗压强度  $f_r \geq 15\text{MPa}$ , 软化系数  $KR \geq 0.75$  青灰色中风化砂岩来用于强夯置换墩的硬质石材。相关结果统计见表 1。

表 1 代表性填料抗压强度

	抗压强度						平均值	软化系数	颜色
烘干状态R (MPa)	15.5	15.0	16.1	17.0	14.1	15.9	15.6	0.78	
饱和状态R (MPa)	19.4	18.5	19.0	19.8	18.2	25.1	20.0		
烘干状态R (MPa)	9.7	10.1	12.6	9.0	12.0	11.9	10.9	0.66	
饱和状态R (MPa)	17.9	17.7	17.4	17.0	15.1	13.9	16.5		
烘干状态R (MPa)	6.6	8.3	7.4	7.9	9.2	10.5	8.3	0.57	
饱和状态R (MPa)	14.4	13.0	15.2	14.7	12.6	17.7	14.6		

4.2 试夯施工质量检验

4.2.1 施工垫层 2 米采用强夯进行施工, 强夯置换墩长为 4-4.5 米且达到持力层。采用超重型动力触探对置换墩进行检测, 检测墩长并评价着底情况, 置换墩穿透软、可塑层稳定处于硬塑土层上, 墩长满足设计深度要求, 且密实程度达到中密及以上。相关夯击数及修正按照 JGJ340-2015 及 GB50021-2001 (2009 版) 执行。



图 1 石材强度低, 夯击点向外扩散

4.2.2 根据现场实际状况, 施工现场实际采用中风化砂岩填料进行强夯置换, 强夯置换过程中因块石抗压强度达不到 15MPa 要求, 导致强夯置换过程中填料沉降过大, 土体在强夯置换墩之间呈隆起状态, 夯击点呈逐渐向外扩散 (见图 1), 随着夯击深度加深夯锤亦容易出现偏孔现象, 造成强夯置换效果不理想, 且未严格按照设计文件要求施工, 导致垫层 2 米均按照强夯置换墩进行施工。

4.2.3. 现场检测及破检情况: 用材质较差的的中风化砂岩施工完强夯置换墩后, 利用超重型动力触探对 XX 号塘 2 根强夯置换墩进行了密实度检测, 置换墩含垫层应为 6-6.5 米。其中 1#置换墩在 3.7 米左右就达到了软塑层或夹层, 因检测前施工墩长未知, 故现场检测持续贯入到 6.4 米达到 42 击锤击数疑似到持力层后即停止了试验, 密实程度判定为稍密 (见图 2)。2#置换墩在 4.5 米后进入了软塑层或夹层, 其后一直到 6.7 米均未到持力层, 密实程度为松散 (见图 3)。因强夯置换墩未达到密实, 施工方开展了技术研讨, 为了对超重型动力触探试验结果进行验证, 选取了同场地一根置换

墩进行破检查看，从现场破检来看，在 4 米左右即达到了软塑土层，与超重型动力触探检测结果相吻合（见图 4）。

入土深度 $H$ (m)	贯入度 (cm)	校正后击数		地层名称	密实程度
		$N$ (击/10 cm)			
0.1	10	4		垫层	精密 ( $3 \leq N_{120} < 6$ )
...	...	...		...	
2.0	200	4		垫层	
2.1	210	5		强夯置换墩	精密 ( $3 \leq N_{120} < 6$ )
...	...	...		...	
3.6	360	5		强夯置换墩	
3.7	370	2		软塑土或夹层	软塑土或夹层
...	...	...		...	
6.0	600	2		软塑土或夹层	
6.1	610	2		疑似软塑土层到	/
...	...	...		硬质岩石或夹层	
6.3	630	7		...	
6.4	640	$\geq 7$		...	/

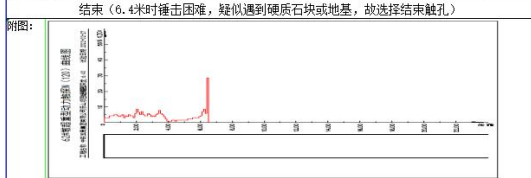


图 1 1#置换墩

入土深度 $H$ (m)	贯入度 (cm)	校正后击数		地层名称	密实程度
		$N$ (击/10 cm)			
0.1	10	4		垫层	精密 ( $3 \leq N_{120} < 6$ )
...	...	...		...	
2.0	200	4		垫层	
2.1	210	3		强夯置换墩	松散 ( $3 \leq N_{120}$ )
...	...	...		...	
6.5	650	3		强夯置换墩	
6.6	660	3		原地基	/
...	...	...		...	
6.8	680	3		原地基	
6.9	690	3		原地基	/

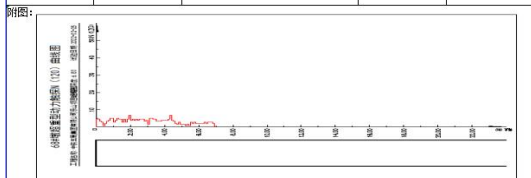


图 2 2#置换墩



图 4 1#置换墩开挖验证

4.3 综合分析情况:

4.3.1 现场强夯置换墩及垫层施工工艺均为强夯置换，且设计墩长为 6-6.5 米均需达到持力层，因试验检测仅需检测到施工墩长及墩底部 50cm 以评价着底情况，从数据分析不需考虑土层划分，只需考虑着底持力层情况，通过后期现场大量试验，基本判定锤击数从大到小下降后连续 3-5 个锤击数大于 3-5 击可以判定稳定处于硬塑土上，数据处理需对照 JGJ340-2015 及 GB50021-2001 (2009 版) 进行查表取值进行

杆长系数修正，进而综合判定密实程度及着底情况，同时根据相关规范要求在一定深度 (19 米以内) 可不考虑其他主要因素影响。

4.3.2 现场检测过程中遇到的问题及解决方法

4.3.2.1 落锤的高度无法保证, JGJ340-2015 要求锤击贯入应连续进行, 锤击速率为 15-30 击/min, 目前试验室采用的是半自动的超重型动力触探, 在试验初阶段为了保证探杆的垂直度, 需要 4 人人工保持探杆垂直度, 为了保证人员安全, 在第一节探杆贯入到 0.5 至 1m 后方可按照规范要求的锤击速率进行试验, 在试验开始阶段提升速率较慢可以控制好提升高度, 但为了保证规范要求的速率必然加快试验速率, 加快试验速率无法有效保持落锤落距, 如有条件可以采用全自动型触探仪确保落锤高度和试验速率。

4.3.2.2 刻度问题, 因探杆未标记有 10cm 刻度线, 因此要人工按照要求等分 10cm 进行画线, 进行本试验时需要保持一定的安全距离, 因此画线及读数记录人员应时刻保持高度精神做好记录工作, 特别是遇到软弱土层, 容易造成下沉量过大, 稍不留神容易造成计数错误, 影响检测数据。

4.3.2.3 触探孔 (杆) 的垂直度问题, 根据 TB10018-2018 条文说明 8.3.3 条, 重型、特重型动力触探在预钻孔内作业时, 实践经验表明, 随着预钻孔深度、孔径和触探土层密实程度的增加, 钻杆出现偏斜、弯曲变形也愈明显。在本次现场检测中, 因现场施工采用中风化砂岩且填料粒径未控制好超尺寸粒径, 导致现场试验开始或途中出现探杆倾斜现象, 探杆倾斜会增大侧壁阻力, 影响试验结果。如在试验过程中发现探杆倾斜明显, 如试验快结束可在记录中予以注明, 如试验处于开始和过程中应另选点进行试验。同时前文提到在对密实程度较高的土体中探杆倾斜问题是真实存在的, 故对于探孔 (杆) 垂直度的问题还应加以研究和采取相关措施。

5. 后续

动力触探是一种简单便捷易于操作的原位测试方面, 随着基础建设向大基础、深基坑方向发展, 对超重型动力触探的研究将进一步加强, 如何有效对地层进行划分, 有效评价土的承载力及相关因素对综合评价的影响将是下一步研究的重点, 同时随着环保、矿山资源的保护, 综合利用场地内的石材将对超重型动力触探的普及有着深刻影响。

[参考文献]

[1] 王孝健, 谢锦波. 超高能级强夯加固深厚抛石填海地基工艺试验研究[J]. 中国港湾建设, 2025, 45 (1): 55-61.  
 [2] 许凯蒂, 江巍, 聂礼齐, 等. 超重型动力触探在夹江卵石地基勘察中的应用[J]. 土工基础, 2020 (006): 034.  
 [3] 刘杰, 刘松, 张海阔, 等. 强夯置换碎石墩在机场跑道软基的应用研究[J]. 建筑结构, 2023, 53(S02): 2332-2337.  
 作者简介: 杨宗强, 1980 年 08 月 24 日, 男, 贵州省遵义市余庆县, 汉族, 本科, 工程师, 研究方向: 试验检测应用。