

施工振动安全监测方法和判定标准研究

何立军, 詹金林, 水伟厚

(上海现代建筑设计集团申元岩土工程有限公司, 上海 200011)

摘要: 在目前施工特别是地基基础施工时, 施工振动问题越来越受到重视, 并由此产生很多纠纷问题。本文以强夯施工引起的振动为例, 对施工振动监测方法和安全判定标准进行阐述, 并对施工振动监测方法和判定标准提出建议。本文同时列出了两个工程实例, 对振动检测有一定的借鉴意义, 以供类似工程参考。

关键字: 施工振动; 振动监测; 判定标准

作者简介: 何立军(1972—), 男, 河南信阳人, 工学硕士, 工程师, 上海现代建筑设计集团申元岩土工程有限公司, 从事岩土工程设计、咨询和测试工作。

0 引言

强夯法是一种经济高效的地基处理方法, 但其施工时产生的振动和噪音, 尤其是高能级强夯施工时产生的振动对建(构)筑物结构安全的影响亟待研究。强夯振动可能在一定范围内对其他的建(构)筑物和建筑物内安装和使用的设备、仪表仪器等产生不利影响, 这也是强夯法进一步发展的瓶颈。

目前, 由于强夯法在沿海、山区和湿陷性黄土地区地基处理中使用越来越广泛, 因强夯振动引起的建(构)筑物破坏也时有发生, 因此产生的纠纷也逐年增加, 随之强夯振动监测逐渐受到重视。但在目前状况下, 由于没有统一的振动监测标准和判定依据, 监测市场良莠不齐, 对监测结果的解释和认可出现不少问题。

本文通过强夯振动特性和判定依据研究, 并结合两个强夯振动监测工程实例分析, 建议采用现行《爆破安全规程》结合现场实际情况制定振动安全标准, 同时也对振动监测仪器要求提出建议。

1 强夯振动的特性及监测判定标准

在以往强夯振动监测中, 经常采用振动加速

度测试方法, 以《建筑抗震设计规范》中抗震设防烈度和设计基本地震加速度值作为依据, 判断强夯振动对建(构)筑物是否安全; 也有以《中国地震烈度表》(GB/T 17742—1999)为标准来判断强夯振动安全性的。总之, 对于强夯振动是否对建(构)筑物产生破坏, 没有一个统一的标准, 在实际操作中经常出现意见不一。

强夯振动与天然地震有很大区别的, 地震是一种连续振动, 持续时间较长。而强夯振动是一种持续时间很短的冲击振动。一定的振动加速度只有持续足够长的时间才能对建(构)筑物产生破坏, 而强夯振动持续时间很短, 且衰减极快, 仅是脉冲振动, 所以采用地震烈度和地震加速度标准来判定强夯是否对建(构)筑物产生破坏不甚合理。

国家环境保护局 1989 年颁布了《城市区域环境振动标准》(GB 10070—88)和《城市区域环境振动测量方法》(GB 10071—88)提出了城市环境振动标准和测量方法, 但这主要是针对人体安全的振动防护标准。

目前, 由于还没有关于强夯振动的安全标准, 对于建(构)筑物的保护, 可以参照的主要是《爆破安全规程》(GB 6722—2003), 本规范中采用国际通行的以质点振动速度和频率组合的振动限制标准(见表 1 爆破震动安全允许振速)。由于强夯振

动与爆破震动比较类似,采用此标准作为判断依据也已逐渐得到大众的接收和认可。此外《水利

水电工程爆破安全监测规程》(DL/T 5333—2005)对振动环境监测也采用了 GB 6722 标准。

表 1 爆破震动安全允许振速(引自《爆破安全规程》(GB 6722—2003))

序 号	保 护 对 象	安全允许振速(cm/s)		
		<10 Hz	10~50 Hz	50~100 Hz
1	土窑洞、土坯房、毛石房屋 ^a	0.5~1.0	0.7~1.2	1.1~1.5
2	一般砖房、非抗震的大型砌块建筑物 ^a	2.0~2.5	2.3~2.8	2.7~3.0
3	钢筋混凝土结构房屋 ^a	3.0~4.0	3.5~4.5	4.2~5.0
4	一般古建筑与古迹 ^b	0.1~0.3	0.2~0.4	0.3~0.5
5	水工隧道 ^c		7~15	
6	交通隧道 ^c		10~20	
7	矿山巷道 ^c		15~30	
8	水电站及发电厂控制设备 新浇大体积混凝土 ^d :		0.5	
9	龄期:初凝~3 d		2.0~3.0	
	龄期:3 d~7 d		3.0~7.0	
	龄期:7 d~28 d		7.0~12	

2 测试仪器和测试分析方法

目前,在国内强夯振动监测中,可以见到的测试仪器有两类:

第一类,测试手段是采用常规以振动的运动学量测试设备,加上振幅经标定的传感器进行测试,这种测试仪器就是常见的工程地震仪,因为地

震仪主要以测试地震波形特征为主,无法提供质点振动速度,需通过振幅-速度公式经手工换算获得质点振动速度。由于地震仪本身具有频率域计算功能,这类仪器测试结果中的频率误差不大,但速度普遍偏大数倍甚至几十倍,在实际工程中应禁止使用。

第二类,专业振动监测设备,这类设备属于动力学特征监测设备,测试量为以质点速度时程曲线,且具有自动频率域和加速度计算功能。这类仪器国内外均有厂家生产,以加拿大 InstanTel 公司生产的系列爆破速度监测仪器为代表。这类仪器设备测试结果比较准确可靠,且具有多分量高分辨率,可以同时监测以振动点为中心径向、环向和竖向速度,计算出其对应加速度和位移(图 1、图 2)。

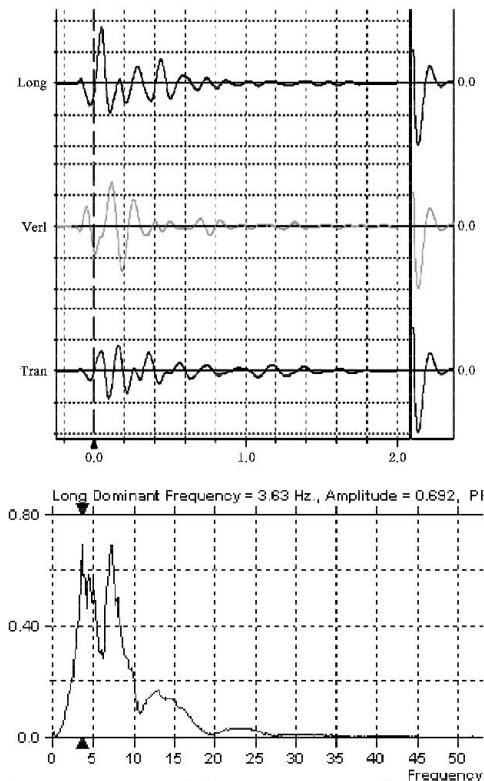


图 1 强夯振动速度时程和频率曲线

	Tran	Vert	Long
PPV	4.32	7.11	9.02
ZC Freq	9.0	6.3	7.1
Time (Rel. to Trig)	0.095	0.115	0.048
Peak Acceleration	0.0265	0.0398	0.0530
Peak Displacement	0.0797	0.169	0.188
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed
Frequency	7.6	7.5	7.5
Overswing Ratio	3.8	3.6	4.0

图 2 振动测试结果

3 强夯环境振动监测工程实例

3.1 某沿海油库工程地基强夯处理振动监测

该油库场地位于广东省某港口,其东、南两面

临海,北为开阔地,西侧紧邻已建成油库,占地面积约 47 690 m²,油库内已建成各种重型贮罐。

拟建场地地貌单元属滨海滩涂,后经人工填海堆积。场地毗邻海岸线,场地地下水类型属上层滞水-潜水类型,与海水具有一定的水力联系,地下水埋深为 1.50~4.00 m。场地各土层的工程特性见表 1。其中,碎石土②层的厚度分布不均,厚度最小处 2 m 左右,最大处 21 m;而白垩系凝灰质砂岩的埋深变化亦较大,在场区西北部埋深约 3 m 左右,南部则深达 21 m。

该场地地下水位较高,强夯施工还会产生较高的超孔隙水压力,引起土体的变形。这些都会影响邻近建(构)筑物的安全。

由于场地内淤泥质土层之上为厚度不等的人工碎石填土,极不均匀,故须进行地基加固处理,地基处理采用强夯法,地基强夯处理施工的基本参数如下:

东部油罐区夯击 4 遍,夯击能为(8 000+8 000+3 000+2 000) kN·m,西部化学品罐区夯击 4 遍,夯击能为(5 000+5 000+3 000+1 500) kN·m,其余附属设施(含综合楼等)区域夯击 3 遍,夯击能为(3 000+3 000+1 500) kN·m。

为了得到本场地强夯振动的传播规律,为后续靠近已建油库围墙及其他建(构)筑物的强夯施工提供指导,在 3 000 kN·m 施工区,对与夯点相距 2~30 m 不同点地面进行振动监测。图 3 为 3 000 kN·m 能级强夯时平均振动速度随距离衰

减曲线。

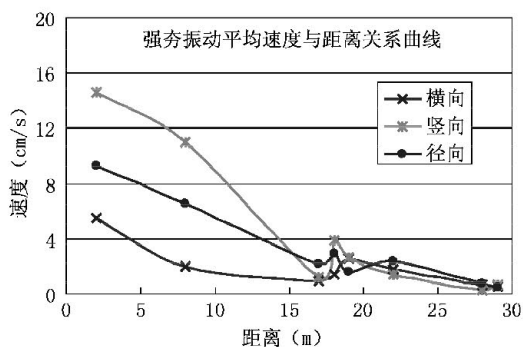


图 3 振动速度与夯、测点距离关系

由于本工程临近油库,油罐距离夯点距离较远,基本无影响;办公楼距离较近,但为钢筋混凝土结构的新建筑,影响也不大;而围墙为砖砌结果,夯能过大过近可能会对其产生破坏。根据场地振动测试情况、现场测试和观察,按振动速度 3 cm·s⁻¹ 作为标准调整施工,最后整个强夯施工未造成建(构)筑物损坏,达到了振动监测的目的。

3.2 某沿海化工储罐工程强夯地基处理振动监测

该工程位于珠海化学工业区,根据场地地质条件分为三个区域,Ⅰ区:位于南地块东部,由碎石土、砂土、基岩组成;Ⅱ区:位于北块地(除西端工棚区),由砂土、淤泥质土、黏土、残积土、基岩组成;Ⅲ区:位于南地块和北地块西端工棚区,由碎石土、淤泥/淤泥质土、砂土、黏土、基岩组成。



图 4 夯、测点关系示意图

该工程与已经建好的中南汇公司临近,且由中南汇围墙外一宽 4 m 深、深 4 m 的水沟隔开。

在本工程强夯振动监测中,先后采用了三种仪器、两次测试,其中第一次测试是进口振动监测仪器和地震仪器对比测试,第二次测试采用国产专业振动监测仪器复测。

进口仪器采用三向传感器进行测试,每次测试输出径向、环向和竖向三个方向的振动量;进口

仪器采用的三个独立传感器测量三个分量。

从表 2 可以看出,两种测试仪器的测试结果中,主频相差不大,基本上相差 3 Hz 左右;但二者测出的振波波速相差极其悬殊,最大相差 10 倍以上。同时,采用地震仪振幅换算方法测得的振动速度波动也较大,最小 8.17 mm/s,最大达到 101.73 mm/s。进口专业振动检测仪器测试结果比较稳定,最大不超过 25 mm/s,最小为 6.9 mm/s。

表 2 地震仪和进口振动监测仪器测试结果统计表
(各点三个分量依次为径向、环向和竖向)

测点 编号	夯、测点距 和能级	Blastseries III		地震仪	
		三向振速 (mm/s)	主频 (Hz)	三向振速 (mm/s)	主频 (Hz)
JC1	23 m, 6 000 kN·m	78.55	9.03	7.11	7.9
		101.73	9.46	14.1	6.9
		93.37	6.84	24.0	7.2
JC2	28 m, 6 000 kN·m	38.33	7.08	4.83	8.4
		25.94	6.64	7.87	6.6
		38.65	5.49	9.78	7.0
JC3	23 m, 3 000 kN·m	9.73	5.40	3.94	7.8
		10.09	5.37	6.98	6.8
		8.17	5.62	8.00	8.1
JC4	28 m, 3 000 kN·m	37.17	8.42	3.30	8.4
		28.73	6.90	6.98	8.4
		41.94	8.30	7.87	11.0

根据现场情况判断,无论是相距 28 m 还是 23 m,测点、夯点都与一条截面尺寸为 4 m×4 m 水沟相隔(沟中有水深 2.0 m),水沟起到了隔振作用。经过水沟隔振后,振动速度不可能有很大,且波动不至于相差 10 倍。从这些可以说明,采用地震仪这种方法测试振动数据不准确,而采用 Blast 仪器测试结果应该是可信的。

表 3 国产振动监测仪器测试结果

测点编号	夯、测点距 和能级	击次	最大振速 (mm/s)	主频 (Hz)
1	23 m, 6 000 kN·m	1	14.6	6.34
		2	15.6	6.35
		3	16.2	6.35
2	28 m, 3 000 kN·m	1	8.4	7.26
		2	8.1	7.26
		3	7.8	7.20
3	23 m, 3 000 kN·m	1	8.9	11.5
		2	9.1	11.8
		3	9.1	11.5
4	23 m, 6 000 kN·m	1	17.7	6.29
		2	18.8	6.28
		3	18.6	6.29
5	28 m, 6 000 kN·m	1	7.9	5.98
		2	8.2	5.98
		3	7.5	6.35
6	28 m, 3 000 kN·m	1	5.8	7.45
		2	5.6	7.35
		3	5.9	7.34

为了验证两种测试仪器结果的优劣,采用国产专门振动监测仪器对这次测试结果进行了复测。国产振动监测仪器测试结果见表 3,从表中可以看出,无论是波速还是主频,都与进口振动监测

仪器测试结果基本一致。

根据以上三种仪器、两次测试结果,最后判定判定本工程强夯施工,对临近的中南汇建(构)筑物不会产生不利影响。

从测试结果可以看出,采用普通地震仪和按振幅标定速度的传感器,测得的结果随机性和偏差太大,应禁止进行振动监测;而专业振动监测仪器之间,无论为国产仪器还是进口仪器,测试结果相差不大,可以认为基本一致。

4 结 论

通过本文分析,得到以下结论:

(1) 基于强夯与爆破的震动特性相同,在目前尚未颁布强夯振动监测相关标准规范情况下,参照现行的《爆破安全规程》(GB 6722—2003)作为强夯振动安全控制标准是可行的。

(2) 由于强夯振动与爆破震动仍有一定差异,在参照爆破规范时,可根据工程现场实际情况,制定工程的振动安全标准。

(3) 在强夯振动安全测试中,应选用专用振动测试仪器,严禁使用普通地震仪进行振动速度测试。

(4) 鉴于目前强夯振动引起的问题越来越多,建议在不断积累经验的基础上,尽快出台相关安全标准。

(5) 与强夯类似的施工振动,也可参照强夯振动测试方法执行。

参 考 文 献

[1] 中华人民共和国国家标准. GB 6722—2003 爆破安全规程[S].

[2] 中华人民共和国国家标准. GB 10070—88 城市区域环境振动标准[S]. 北京:中国标准出版社,1988

[3] 中华人民共和国国家标准. GB 10071—88 城市区域环境振动测量方法[M]. 北京:中国标准出版社,1988.

[4] 中华人民共和国电力行业标准. DL/T 5333—2005 水利水电工程爆破安全监测规程[M]. 北京:中国电力出版社.

[5] 中国建筑科学研究院. GB 50011—2001 建筑抗震设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2001.

[6] 何立军,水伟厚,刘波. 强夯施工引起的环境振动监测分析[J]. 岩土工程界,2006. 7.