

水下钻孔爆破振动 对在建码头及周边建筑的影响分析

权刚, 田道森

(长江南京航道工程局, 江苏南京 210000)

摘要: 近年来, 公司承接的工程多涉及炸礁工程, 本文结合青岛港前湾港区泛亚码头疏浚工程炸礁施工实施过程中的现场监测资料, 对水下钻孔爆破产生的振动进行分析, 确定安全药量, 为类似工程提供借鉴。

关键词: 炸礁施工; 单段药量; 爆破振动; 质点振速峰值

中图分类号: U655 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 01—0075—03

1 工程概况

本工程位于青岛港前湾港区南侧区域。工程施工区南侧为在建前湾港泛亚码头, 距在建泛亚码头最近 80m; 东南向为融创维多利亚湾小区, 距离维多利亚湾小区最近 150 米; 西侧为迪拜自动化码头, 距离迪拜自动化码头最近 140m。爆破岩质为强风化和中风化花岗岩, 为中硬度岩石。

2 建筑物受到振动破坏的理论分析

炸药起爆时, 会释放出巨大的能量, 并按照波的形式传递。与炸药直接接触的岩石在能量最大的冲击波作用下, 受到巨大的压力, 产生破碎。剩余能量在向远处传递过程中, 使得岩石拉伸、开裂, 这一过程衰减为应力波。当应力波传播距离 400~500 倍的装药半径时, 岩石仅产生弹性振动, 衰减为地震波。地震波从岩层向上传递, 加载到建筑物上, 造成建筑物的动态响应, 产生拉应力, 当应力足够大时, 对建筑物造成破坏。

根据弹性力学理论, 当结构受到爆破振动扰动时, 产生的应力为:

$$\sigma = \frac{E\nu}{c}$$

式中: E—结构体的弹性模量; c—爆破振动波的传递速度; ν —质点振动速度。

由此可见, 爆破所产生的振动对特定的结构体某一质点所产生的应力与该质点的振动速度成正比。当质点的振动速度峰值超过安全允许振速时, 才会对建筑物造成振动破坏。

3 安全允许质点振动速度

根据《水运工程爆破技术规范 (JTS204-2008)》,

可根据下表选取安全允许振速:

表 1

爆破振动安全允许标准		
保护对象类别	主振频率 F (Hz)	允许安全振速 (m/s)
土窑洞、土坯房、毛石房屋	F < 10	0.5~1.0
	10 ≤ F < 50	0.7~1.2
	50 ≤ F < 100	1.1~1.5
一般砖房、非抗震的大型砌块建筑物	F < 10	2.0~2.5
	10 ≤ F < 50	2.3~2.8
	50 ≤ F < 100	2.7~3.0
钢筋混凝土结构房屋	F < 10	3.0~4.0
	10 ≤ F < 50	3.5~4.5
	50 ≤ F < 100	4.2~5.0
一般古建筑与古迹	F < 10	0.1~0.3
	10 ≤ F < 50	0.2~0.4
	50 ≤ F < 100	0.3~0.5
重力式码头	—	5.0~8.0
水下隧道	—	7.0~15.0
交通隧道	—	10.0~20.0
矿山巷道	—	15.0~30.0
水电站及发电厂中心控制室设备	—	0.5
新浇大体积混凝土	初凝~3天	2.0~3.0
	3~7天	3.0~7.0
	7~28天	7.0~12.0

注: ①主振频率根据现场实测波形选取, 深孔爆破的主振频率可选 10~60Hz; 浅孔爆破可选 40~100Hz;
②选取建筑物安全允许振速时, 应综合考虑建筑物的重要性、结构型式、受力情况、建筑质量、新旧程度、自振频率和地基条件等因素;
③省级及省级以上重点保护古建筑与古迹的安全允许振速, 应经专家论证选取;
④选取隧道、巷道安全允许振速时, 应综合考虑建筑物的重要性、围岩状况、断面大小、深埋大小、爆源方向和地震震动频率等因素;
⑤非挡水新浇大体积混凝土上的安全允许振速, 可按本表的上限值选取。

4 爆破振动作用下的理论装药量计算

本工程距离在建泛亚码头 80m, 距离迪拜自动化码头 140m, 距离维多利亚湾小区最近 150 米, 爆破采用微差起爆。由于迪拜自动化码头距离大于泛亚在建泛亚码头, 爆破震动验算重点控制对在建泛亚码头和维多利亚湾小区的影响。

根据《水运工程爆破技术规范》中爆破地震作用对建筑影响的安全距离用下式估算:

$$R = \left(\frac{K}{\nu}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \times Q^{\frac{1}{3}}$$

式中: Q—延期爆破的最大一段炸药量 (kg);

R—爆破地震安全距离 (m);

ν —安全振动速度 (cm/s), 钢筋混凝土结构房屋 = 3.0cm/s, 重力式码头取 = 5cm/s, 新浇大体积混凝土 (初凝 ~ 3 天) 取 = 2cm/s, 新浇大体积混凝土 (3~7 天) 取 ν = 3cm/s, 新浇大体积混凝土 (7 天以上) 取 ν = 7cm/s。

K, α —分别为与爆破点地形、地质条件有关的系

数和衰减指数；

K：本工程炸岩石主要为不同风化程度的花岗岩，按照中等硬度岩石计取，K取250， α 取1.5。

根据以上取值计算出不同距离对应的允许单段最大药量如下所示。

表2 爆破震动安全不同距离允许的最大单段药量计算表

泛亚码头沉箱		现浇砼(初凝~3天)		现浇砼(3~7天)		维多利亚小区	
R(m)	单段药量(kg)	R(m)	单段药量(kg)	R(m)	单段药量(kg)	R(m)	单段药量(kg)
80	204.8	80	32.7	80	73.7	150	486.0
85	245.7	85	39.3	85	88.4	155	536.2
90	291.6	90	46.6	90	105.0	160	589.8
100	343.0	100	64.0	100	144.0	170	707.5
120	400.0	120	110.5	120	248.8	180	839.8
150	691.2	150	216.0	150	486.0	200	1152.0
200	1350.0	200	512.0	200	1152.0	250	2250.0

结合上表计算结果：最大单段药量取200kg即能满足泛亚码头已完工的主体、维多利亚小区以及150m以外新浇混凝土的安全距离验算。

注：对于距离新浇混凝土胸墙80-150m范围的爆破，优先采取措施使爆破区域远离现浇混凝土区，等待新浇混凝土龄期达到7天以上再进行爆破。

5 理论装药量下的实际监测数据

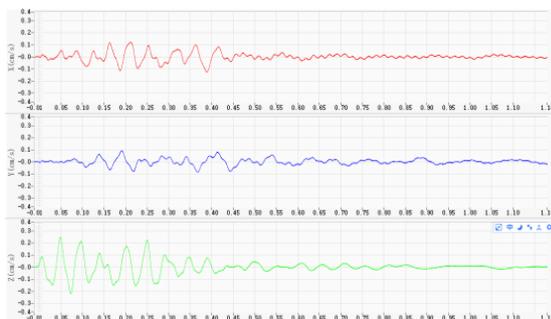
5.1 测点数据

通过上述理论分析，我部选取单段最大药量200kg，在不同起爆距离下，监测码头前沿区域的振动数据，如下表所示：

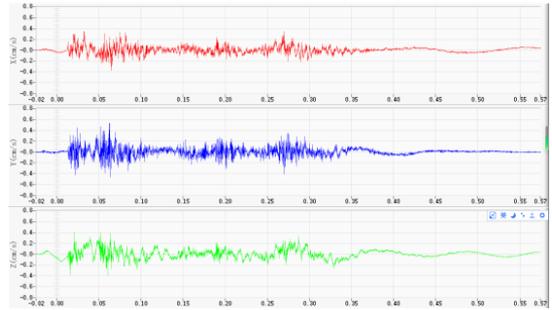
表3 不同爆破距离下的码头质点振动速度值

测点编号	测点位置	起爆距离(m)	单段药量(kg)	垂直(z)		径向(x)		切向(y)	
				峰值速度(cm/s)	主频(Hz)	峰值速度(cm/s)	主频(Hz)	峰值速度(cm/s)	主频(Hz)
A1	码头区域	80	200	0.574	400	0.667	258.065	0.357	1142.862
A2		85	200	0.403	200	0.373	400	0.537	800.001
A3		90	200	0.454	499.999	0.177	210.526	0.201	235.295
A4		100	200	0.188	307.692	0.147	19.417	0.286	800.001
A5		120	200	0.237	23.529	0.104	17.621	0.166	17.021
A6		150	200	0.248	24.169	0.126	17.857	0.094	18.223
A7		200	200	0.228	24.242	0.135	17.094	0.157	18.443
A8		250	200	0.154	59.702	0.158	1000.013	0.171	1000.013

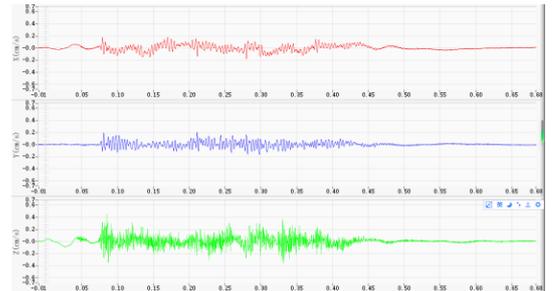
5.2 振速时程曲线图



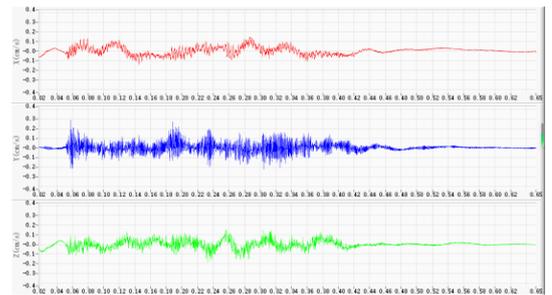
A1 振速时程曲线图



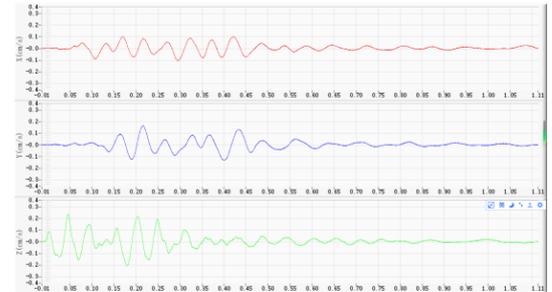
A2 振速时程曲线图



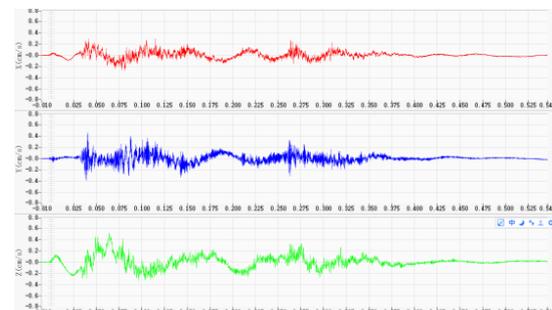
A3 振速时程曲线图



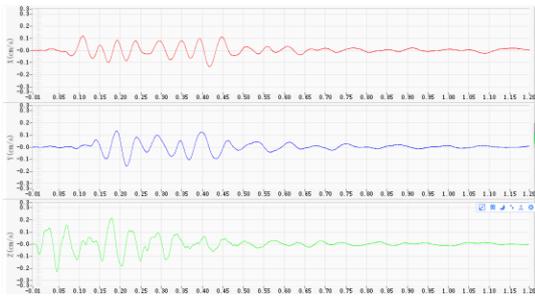
A4 振速时程曲线图



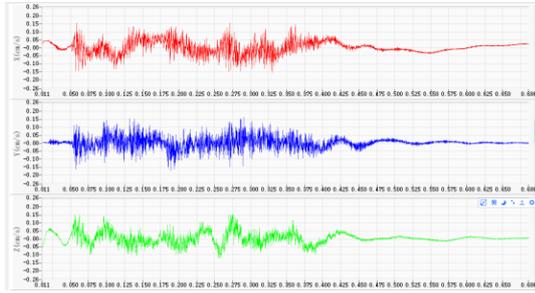
A5 振速时程曲线图



A6 振速时程曲线图



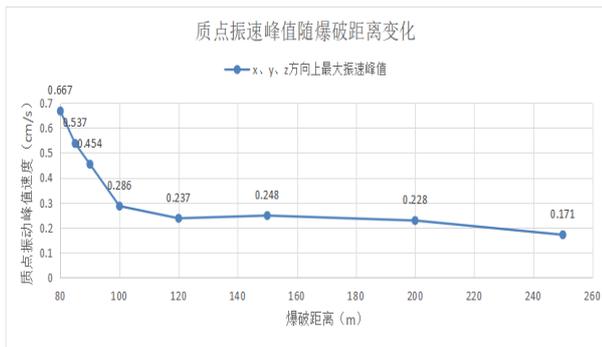
A7 振速时程曲线图



A8 振速时程曲线图

5.4 测点数据分析

(1) 且各方向振动速度峰值随着水平距离的增大而降低；垂直 z 方向上和切向 x 方向上的振速峰值数值较径向 y 方向上普遍较大，垂直 z 方向上出现最大值的频率较切向 x 和径向 y 方向高，说明爆炸产生的冲击波在垂直 z 方向较水平方向 (x、y) 传播速度更快。



(2) 从各个测点的振速时程曲线图可以看出，各方向的速度响应均持续至 0.45s，作用时间很短，并且很快衰减，在距离码头 80m 处，速度响应峰值为 0.667cm/s，完全满足重力式码头的安全允许标准；当距离超过 100m 时，速度响应峰值衰减的较慢，到 150m 处衰减为 0.248cm/s，远小于钢筋混凝土房屋的安全允许振速 3cm/s，不会对临近小区房屋造成影响。

6 爆破水中冲击波对人员及施工船舶安全距离计算

根据上述测点数据分析，爆炸产生的冲击波在垂

直 z 方向较水平方向 (x、y) 传播速度更快。故需针对单段 200kg 起爆药量这一工况分析对水面人员及船舶影响。

根据《爆破安全规程 (GB6722-2014)》的规定，在水深不大于 30 米的水域进行爆破，水中冲击波对人员及施工船舶的安全距离如下表：

表 4 水中冲击波对人员及施工船舶的安全距离

安全距离 (m)		炸药量 (kg)		
		Q ≤ 50	50 < Q ≤ 200	200 < Q ≤ 1000
人员	游泳	500	700	1100
	潜水	600	900	1400
施工船	木船	100	150	250
	铁船	70	100	150

根据上表及本工程单段最大药量 200kg，该施工区域内与附近海域内均无海水浴场、养殖、渔场等场所，也没有游泳或潜水人员，故对人员均无影响；距离最近的迪拜自动化码头爆破距离最小 140m，完全满足铁船 100m 的安全距离。

7 结论

本工程通过理论计算和实际监测爆破数据，确定了选取单段最大药量 200kg 这一工况的可行性和安全性。

同时通过实测数据对比，爆点径向方向上的振速响应出现最大值的频次远低于水平切向和垂向。这是因为冲击波在传递过程中，由于介质阻隔以及水平距离的增大，在该方向上耗散的能量较多。故在实际监测中，水平切向和垂向上的振速响应出现最大值的频次较高，后续工程中应重点关注切向和垂向上的振动破坏。

参考文献：

- [1] 长江重庆航道工程局. 水运工程爆破技术规范 (JTS204-2008) [S]. 人民交通出版社. 2008.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 爆破安全规程 (GB6722-2014) [S]. 中国标准出版社. 2014.