

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.02.004

陈宇, 吕杨, 齐广政, 等. 船舶撞击荷载作用下高桩墩的破坏分析[J]. 水利水运工程学报, 2019(2): 25-32. (CHEN Yu, LÜ Yang, QI Guangzheng, et al. Damage analysis of high-pile cleat under ship's impact load[J]. Hydro-Science and Engineering, 2019(2): 25-32. (in Chinese))

# 船舶撞击荷载作用下高桩墩的破坏分析

陈宇<sup>1</sup>, 吕杨<sup>2</sup>, 齐广政<sup>3</sup>, 孙熙平<sup>3</sup>

(1. 中国民航大学 机场学院, 天津 300300; 2. 天津城建大学 土木工程学院, 天津 300384; 3. 交通运输部天津水运工程科学研究所, 天津 300456)

**摘要:** 提出了以动量守恒定律为基础, 试算输入不同简化撞击力-时间荷载曲线, 计算结构的动力响应与现场检测结果一致为准则, 基于有限元模型分析船撞结构损伤破坏的数值分析方法。以中泉石化船撞高桩系缆墩事故为背景, 运用通用有限元显示动力分析软件 LS-DYNA, 建立了高桩系缆墩的三维有限元模型, 采用所提出的方法计算分析了受撞系缆墩的破坏过程。数值分析结果表明, 当撞击时间为 13.75 s 时, 系缆墩残余位移与现场检测结果一致, 系缆墩在船舶撞击作用下墩台发生剪切破坏的现象与事故现场相符; 同时数值模拟结果表明系缆墩灌注桩混凝土在嵌岩端上部发生不同程度破坏, 钢套筒进入屈服阶段; 对系缆墩结构整体进行损伤等级评估, 属于中等破坏。

**关键词:** 高桩系缆墩; 撞击; 损伤; 破坏模式

**中图分类号:** TU473

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-640X(2019)02-0025-08

截至 2015 年底, 我国沿海港口拥有生产性泊位超过 7 000 多个。码头供船舶停靠, 是水运与公路和铁路网中的枢纽工程, 其安全状态直接影响到整个运输网络的运营效率和安全。在船舶停靠过程中, 船舶失控撞击码头事件频繁发生, 撞击后码头结构发生损伤破坏导致其功能失效影响生产运输, 从而产生巨大的经济损失。

在国内, 高桩码头是应用广泛的码头结构型式, 基桩作为高桩码头唯一的抗侧力构件, 在船舶偶然撞击作用下往往发生不同程度的破坏。然而, 由于基桩位于水中, 发生船撞事故后采用现有检测技术很难检测到其损伤破坏的程度, 这对事故后期高桩码头的评估和修复工作带来严峻挑战。

近年来, 随着计算机仿真技术的飞速发展, 国内外学者研究应用有限元法进行船与结构碰撞过程的数值模拟分析。Yuan 等<sup>[1]</sup>研究了单艘驳船和驳船队撞击方形、圆形桥墩的撞击力和船艏撞深, 并讨论了船舶速度对撞击的影响, 被撞桥墩混凝土采用刚性模型。Manuel 等<sup>[2]</sup>利用数值方法模拟了单墩在驳船撞击作用下的撞击力和应力分布, 并讨论了船舶撞击速度和桥墩有限元网格划分密度对撞击力时程的影响。王君杰等<sup>[3]</sup>提出两种可用于船桥碰撞动力分析和进行船-桥碰撞动力设计的简化力学模型, 通过不同吨位船舶以不同速度与刚性墙进行碰撞分析, 标定所提出模型的参数。欧碧峰<sup>[4]</sup>根据 4 艘船舶的数值模拟计算结果, 以受撞刚体为基准, 给出了 3 种简化的动力曲线。现有的成果主要以受撞体为刚体或弹性体为基准, 然而为了能够评估船撞码头事故后结构的性能状态, 数值仿真分析需考虑结构的材料非线性和几何非线性。同

**收稿日期:** 2018-05-22

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(51808270, 51808380, 51508373, 51809132); 国家重点研发计划资助项目(2016YFC0802204-1, 2016YFC0802209, 2016YFC0701100); 天津市自然科学基金资助项目(2017917AO); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(TKS170109)

**作者简介:** 陈宇(1987—), 男, 天津人, 讲师, 主要从事工程结构动力计算与防灾减灾研究。E-mail: tjucy@tju.edu.cn  
**通信作者:** 吕杨(E-mail: lvyangtju@163.com)

时,在船撞结构数值仿真分析中需已知结构所受的撞击力和撞击时间,但实际船撞事故中很难获得这两个变量。

为解决上述问题,本文提出以动量守恒定律为基础,试算输入不同简化撞击力-时间荷载曲线,计算结构的动力响应与现场检测结果一致为准则,基于有限元模型分析船撞结构损伤破坏的数值分析方法。以船撞中泉石化系缆墩事故为背景,建立系缆墩的有限元模型,对其船撞事故进行模拟,分析结构的损伤破坏情况。

## 1 船撞系缆墩事故背景

2017年5月马绍尔群岛籍“CTI CONDOTTI”号出口汽油船(6.6万t)在靠泊于泉州中泉石化码头作业区过程中由于船员操作失误,船舶以0.86 m/s的船速撞击在系缆墩墩台侧面上,撞击面积约为 $2.5\text{ m} \times 2.3\text{ m}$ (见图1);船舶撞击作用导致系缆墩墩台发生剪切破坏,墩台底部混凝土大面积开裂(见图1)。对受损高桩墩进行现场检测,并绘制墩台破坏示意图(见图2)。通过现场检测可知,墩台的 $x$ 向残余位移为657 mm, $y$ 向残余位移为30 mm。经检测,泥面以上部分混凝土灌注桩钢套筒未发生明显的屈服现象,但由于现有检测技术手段限制,无法检测到灌注桩钢套筒内部的混凝土和土层以下钢套筒的损伤破坏情况。



图1 墩台撞击照片

Fig. 1 Impact surface of abutment

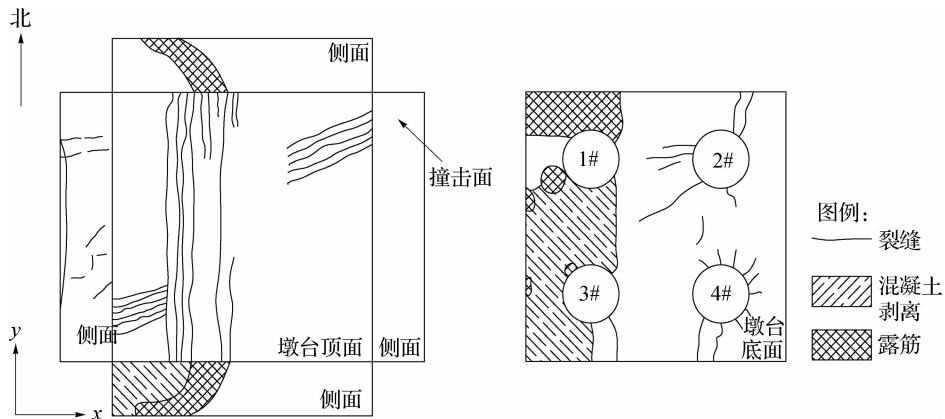


图2 墩台破坏示意

Fig. 2 Schematic diagram of damaged cleat

## 2 船撞结构简化分析方法

船舶撞击结构涉及能量转移、消散等复杂过程,导致真实模拟船撞码头过程相当困难。为了简化船撞

结构过程,可在有限元结构模型中输入撞击力-时间荷载曲线进行简化计算模拟结构的动力响应。然而,实际工况中船撞结构属于偶然事故,无法直接获得撞击过程中的撞击力-时间荷载曲线,可通过撞击过程中的动量守恒求解撞击力-时间荷载曲线。根据文献[5]给出的船舶撞击结构的三角形荷载简化模型,如图3所示。船舶撞击力产生的冲量*I*的表达式为:

$$I = \frac{1}{2}P(t_2 - t_1) = \frac{1}{2}PT \quad (1)$$

式中:*P*为最大撞击力;*t*<sub>1</sub>为撞击开始时刻;*t*<sub>2</sub>为撞击结束时刻;*T*为撞击持续时间。

船舶撞击结构过程满足动量守恒定律,即撞击力产生的冲量与船舶动量相等,可得:

$$I = M(V - V_0) = MV \quad (2)$$

式中:*I*为船舶撞击力产生的冲量;*M*为船舶质量;*V*为船舶发生碰撞前的速度;*V*<sub>0</sub>为船舶碰撞结束后的速度,取0。

根据式(1)和(2)可得:

$$P = 2MV/T \quad (3)$$

船撞事故发生时船舶质量和船舶速度可通过船上固有设备获得,由此可确定式(3)中的2*MV*为固定值,但由于撞击持续时间*T*未知,无法获得撞击力-时间荷载曲线,因此先假定时间*T*<sub>1</sub>后根据式(3)计算获得撞击力-时间荷载曲线,输入至有限元模型中进行计算,计算完成后提取墩台位移时程曲线,获得墩台残余位移与撞击事故发生后结构的实际残余位移进行比对。若比对结果一致则认定数值仿真结果与实际情况一致,再分析结构的动力响应和破坏模式。若不一致,重复上述步骤假定撞击持续时间*T*<sub>2</sub>,*T*<sub>3</sub>,...,*T*<sub>*n*</sub>,根据式(3)计算获得撞击力-时间荷载曲线,输入至有限元程序进行计算,直至数值仿真结果与实际情况一致时停止计算。

### 3 有限元模型的建立

#### 3.1 结构模型

系缆墩由墩台和4根带有钢套筒的钢筋混凝土灌注桩组成,灌注桩打入基岩,灌注桩顶部伸入墩台中通过现浇混凝土固结为整体。墩台的长宽高为12.0 m × 12.0 m × 2.5 m,采用C40混凝土,钢筋采用HRB400,钢筋体积配筋率为0.30%;钢筋混凝土灌注桩直径为2.6 m,桩顶到基岩顶部长37.0 m,桩位布置如图4所示。灌注桩的钢套筒采用Q345钢,壁厚为20 mm,混凝土采用C30,钢筋采用HRB400,钢筋体积配筋率为0.98%。根据地质资料显示,从泥面到基岩土层主要分两层,其土层参数如表1所示。

采用通用有限元动力分析软件LS-DYNA建立系缆墩分离式有限元模型,如图5(a)所示。混凝土采用常应力实体单元,钢筋采用杆单元,钢套筒采用壳单元,钢筋、混凝土和钢套筒之间采用共节点的方式模拟,土体采用实体单元模拟,其系缆墩和土体模型如图5(b)所示。

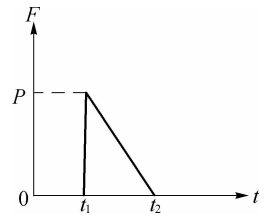


图3 撞击力简化模型

Fig.3 Simplified model of impact force

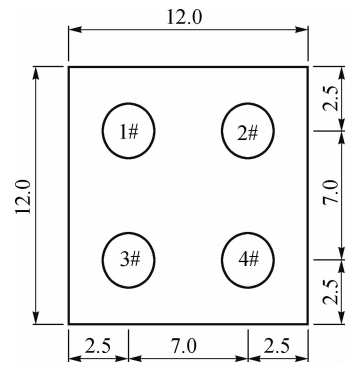


图4 桩位布置(单位: m)

Fig.4 Arrangement plan of pile (unit: m)

表1 土层参数

Tab.1 Soil parameters

土层	名称	厚度/ m	压缩模量/ MPa	内摩擦 角/°	黏聚力/ kPa
第1层	砂混淤泥	7.0	2.0	10.0	10.0
第2层	粉质黏土	5.5	5.2	22.0	20.5



图 5 系缆墩有限元模型

Fig. 5 FE model of cleat and soil

### 3.2 材料模型

系缆墩模型中混凝土材料采用 K&C 模型进行模拟,其在 LS-DYNA 中可通过定义 MAT\_CONCRETE\_DAMAGE\_REL3 实现,该模型仅需定义混凝土密度和抗压强度即可模拟混凝土的力学性能<sup>[6]</sup>。钢筋采用 LS-DYNA 中 MAT\_PLASTIC\_KINEMATIC 模型,可模拟钢筋从弹性到塑性强化过程。土体采用 LS-DYNA 中 MAT\_MOHR\_COULOMB 模型,可模拟土体在荷载作用下的非线性力学行为。模型参数见表 2。

表 2 材料参数

Tab. 2 Material parameters

材料	LS-DYNA 中模型	模型参数	数值
墩台混凝土	MAT_CONCRETE_DAMAGE_REL3	密度	2 500 kg/m <sup>3</sup>
		抗压强度	40 MPa
灌注桩混凝土	MAT_CONCRETE_DAMAGE_REL3	密度	2 500 kg/m <sup>3</sup>
		抗压强度	30 MPa
钢筋	MAT_PLASTIC_KINEMATIC	密度	7 850 kg/m <sup>3</sup>
		弹性模量	206 GPa
		泊松比	0.3
		屈服强度	400 MPa
钢套筒	MAT_PLASTIC_KINEMATIC	强化模量	20.6 GPa
		密度	7 850 kg/m <sup>3</sup>
		弹性模量	206 GPa
		泊松比	0.3
砂混淤泥	MAT_MOHR_COULOMB	屈服强度	345 MPa
		强化模量	20.6 GPa
		压缩模量	2.0 MPa
粉质黏土	MAT_MOHR_COULOMB	内摩擦角	10.0°
		黏聚力	10.0 kPa
		压缩模量	5.2 MPa
		内摩擦角	22.0°
		黏聚力	20.5 kPa

### 3.3 材料的应变率效应

结构在冲击荷载作用下的应变率效应对结构的动力响应具有显著的影响<sup>[7]</sup>,本文采用的混凝土和钢筋

材料均考虑材料的应变率效应,材料的应变率效应一般通过动力增强系数  $R_{DIF}$  来考虑。

混凝土强度的  $R_{DIF}$  采用 K & C 模型,其抗拉强度  $T_{DIF}$  定义<sup>[8]</sup>为

$$T_{DIF} = f_{id}/f_{ts} = (\dot{\epsilon}_d/\dot{\epsilon}_{ts})^\delta, \dot{\epsilon}_d \leq 1 \text{ s}^{-1} \quad (4)$$

$$T_{DIF} = f_{id}/f_{ts} = \beta (\dot{\epsilon}_d/\dot{\epsilon}_{ts})^{\frac{1}{3}}, \dot{\epsilon}_d > 1 \text{ s}^{-1} \quad (5)$$

式中: $f_{id}$ 为应变率为  $\dot{\epsilon}_d$  时混凝土动力抗拉强度; $f_{ts}$ 为应变率为  $\dot{\epsilon}_{ts} = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  时混凝土的静抗拉强度; $\lg \beta = 6\delta - 2$ ,其中  $\delta = 1/(1 + 8f'_c/f'_{co})$ ,  $f'_{co} = 10 \text{ MPa}$ , $f'_c$ 为混凝土静单轴抗拉强度。

混凝土抗压强度的  $C_{DIF}$  定义<sup>[8]</sup>为:

$$C_{DIF} = f_{cd}/f_{cs} = (\dot{\epsilon}_d/\dot{\epsilon}_{cs})^{1.026\alpha}, \dot{\epsilon}_d \leq 30 \text{ s}^{-1} \quad (6)$$

$$C_{DIF} = f_{cd}/f_{cs} = \gamma (\dot{\epsilon}_d)^{\frac{1}{3}}, \dot{\epsilon}_d > 30 \text{ s}^{-1} \quad (7)$$

式中: $f_{cd}$ 为应变率为  $\dot{\epsilon}_d$  时混凝土动力抗压强度; $f_{cs}$ 为应变率为  $\dot{\epsilon}_{cs} = 30 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  时混凝土的静抗压强度; $\lg \gamma = 6.125\alpha - 0.49$ ,其中  $\alpha = (5 + 3f_{cu}/4)^{-1}$ , $f_{cu}$ 为混凝土静单轴抗压强度。

钢筋强度的  $F_{DIF}$  定义<sup>[8]</sup>为:

$$F_{DIF} = (\dot{\epsilon}/10^{-4})^\alpha \quad (8)$$

$$\alpha = 0.074 - 0.040 f_y/414 \quad (9)$$

式中: $f_y$ 为钢筋的屈服强度(MPa)。

### 4 数值模拟分析

采用逐步逼近法试算了不同撞击时间 ( $T = 15.00, 13.00, 14.00, 13.50$  和  $13.75 \text{ s}$ ) 对应的最大撞击力 (为  $7.568, 8.732, 8.109, 8.409$  和  $8.256 \text{ MN}$ ) 作用下的系缆墩动力响应。图6给出了不同撞击时间下的系缆墩墩台的位移时程曲线。从图6可以看出,不同撞击时间  $T = 15.00, 13.00, 14.00, 13.50$  和  $13.75 \text{ s}$  计算得到的墩台  $x$  向残余位移分别为  $0.466, 0.858, 0.601, 0.709$  和  $0.641 \text{ m}$ ,墩台  $y$  向残余位移分别为  $0.017, 0.038, 0.027, 0.033$  和  $0.028 \text{ m}$ ,现场检测得到的墩台  $x$  向残余位移为  $0.657 \text{ m}$ , $y$  向残余位移为  $0.030 \text{ m}$ 。当  $T = 13.75 \text{ s}$  时,计算得到的墩台残余位移与现场实测相比, $x$  向误差为  $2.4\%$ , $y$  向误差为  $7\%$ ,因此可以认为当撞击时间为  $13.75 \text{ s}$ ,最大撞击力为  $8.256 \text{ MN}$  时,数值模拟的船撞系缆墩的撞击过程与实际过程相近。

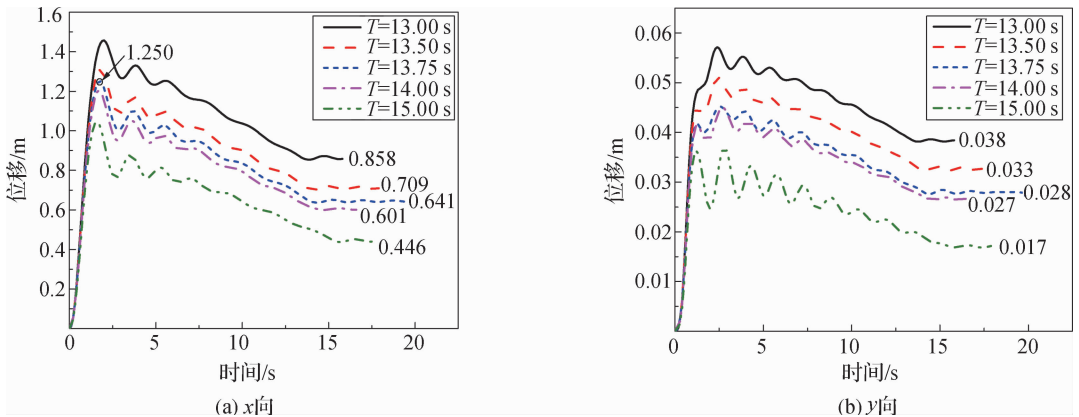


图6 不同撞击时间下的墩台位移时程曲线

Fig.6 History curve of abutment displacements with various impact time

提取数值模拟结果,图7给出了墩台的混凝土损伤云图。从图7(a)可以看出,墩台发生剪切破坏,墩台侧面发生不同程度损伤;从图7(b)可以看出墩台底部在4根灌注桩附近的混凝土发生不同程度的损伤破坏,其破损现象与现场检测情况相符,因此进一步说明数值模拟结果与实际情况相吻合。

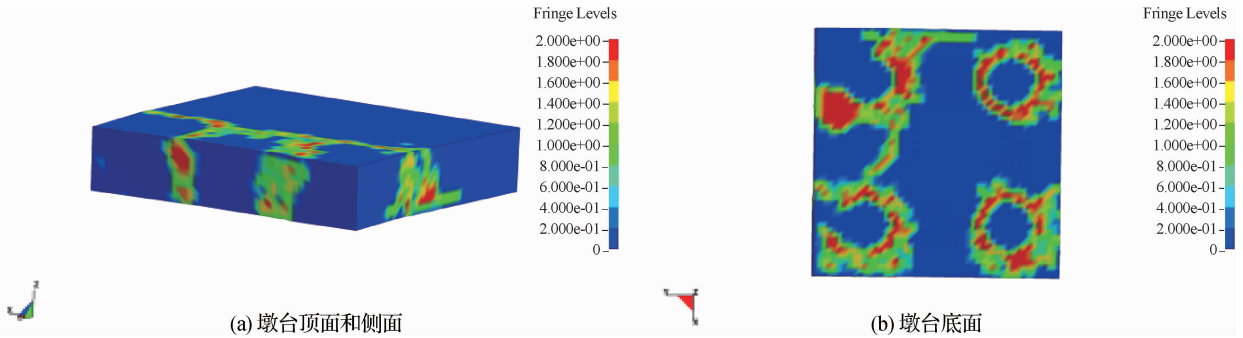


图7 墩台的混凝土损伤云图

Fig. 7 Damage of abutment

进一步分析桩基在隐蔽部位的损伤破坏情况,图8给出了灌注桩的混凝土损伤破坏云图。从图8(a)中可见,4根灌注桩保护层混凝土在撞击侧发生明显的损伤;1#和4#基桩在桩顶部背离撞击侧发生明显损伤破坏,这是由于墩台约束所致;同时可以看出4根基桩在嵌岩端上部的保护层混凝土周围均发生严重破坏。从图8(b)可以看出,4根基桩核心混凝土也发生了不同程度的破坏,但较保护层混凝土损伤程度轻。图9给出了背离撞击侧灌注桩嵌岩端上部混凝土应力时程曲线。从图9(a)可以看出,4根灌注桩底部保护层混凝土在船撞过程中最大应力达38.9 MPa,达到混凝土抗压强度。从图9(b)可以看出,4根灌注桩底部核心混凝土在船撞过程中最大应力达31.3 MPa,核心混凝土较保护层混凝土应力小。图10给出了背离撞击侧灌注桩嵌岩端上部钢筋应力时程曲线。从图10可以看出,4根灌注桩底部钢筋最大应力352.7 MPa,未达到钢筋屈服应力400 MPa,钢筋未发生屈服现象。

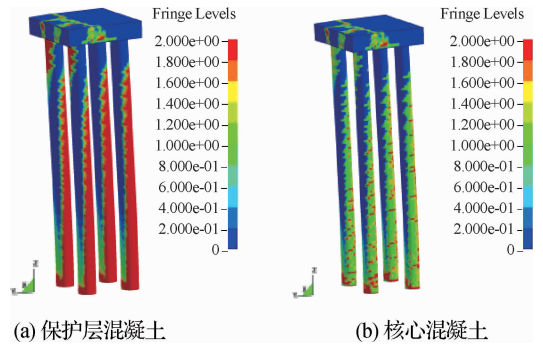


图8 灌注桩的混凝土损伤云图

Fig. 8 Damage of concrete of filling piles

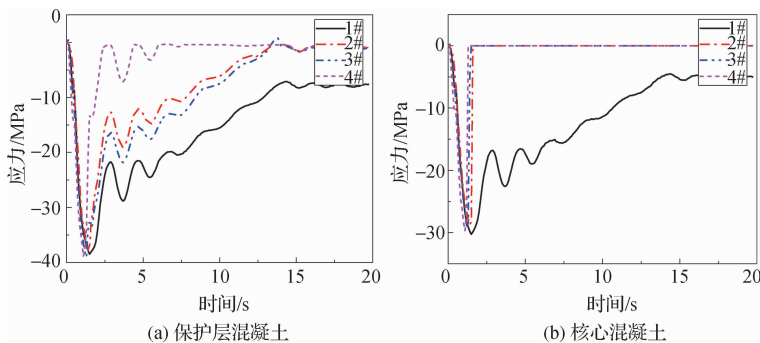


图9 灌注桩的混凝土应力时程曲线

Fig. 9 Stress history curve of concrete of filling piles

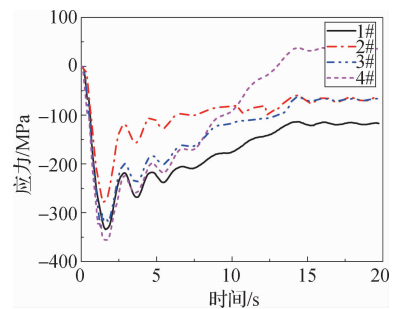


图10 灌注桩的钢筋应力时程曲线

Fig. 10 Stress history curve of steel bar of filling piles

图11给出了4根灌注桩的钢套筒塑性应变云图,可见4根灌注桩的钢套筒底部在嵌岩端上部发生屈服,最大塑性应变为0.024。同时图12给出了4根灌注桩的钢套筒应力时程曲线,可以看出4根灌注桩钢套筒底

部钢筋在船撞过程中最大应力达 352.3 MPa,大于钢套筒屈服应力 345 MPa,因此钢套筒在嵌岩端部发生屈服。

上述从材料层面分析了船舶撞击荷载作用下系缆墩的损伤破坏情况,从上述分析可知系缆墩的混凝土灌注桩发生了不同程度的破损,灌注桩内钢筋未发生屈服,钢套筒在嵌岩端上部发生屈服。然而,为了更好地服务工程实际,需从结构层面分析系缆墩的力学性能。在墩台撞击的侧面施加  $x$  方向水平荷载,计算系缆墩的荷载-位移关系曲线,然后根据系缆墩在船舶撞击过程中所达到的最大位移评估受撞结构的力学性能状态。图 13 给出系缆墩的荷载-位移关系曲线。从图中可见,系缆墩的屈服位移为 0.6 m,极限位移为 3.1 m。

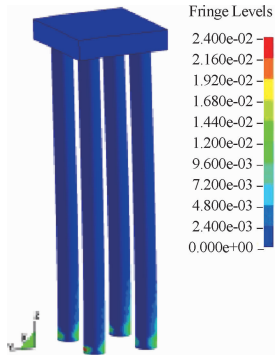


图 11 灌注桩钢套筒塑性应变云图

Fig. 11 Plastic strain of steel sleeve of filling piles

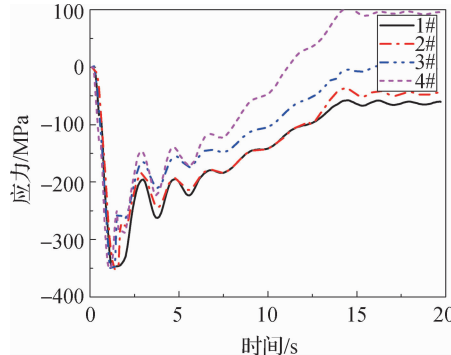


图 12 灌注桩钢套筒应力时程曲线

Fig. 12 Stress history curve of steel sleeves of filling piles

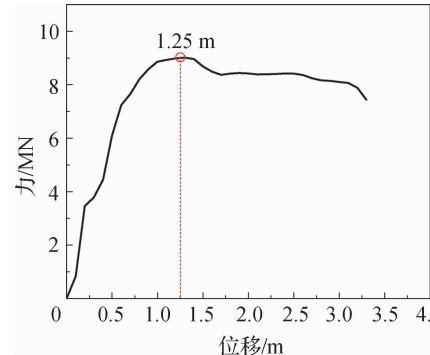


图 13 系缆墩的  $F-S$  曲线

Fig. 13  $F-S$  curve of cleat

文献[9]对柔性结构定义了延性损伤指数:

$$D = \frac{d_p - d_{py}}{d_{pu} - d_{py}} \quad (10)$$

式中: $d_p$  为荷载作用下的最大位移; $d_{py}$  和  $d_{pu}$  分别为单调荷载作用下的屈服位移和极限位移。文献[10]根据延性损伤指数定义了结构的损伤等级,各等级所对应的延性损伤指数分别为:轻微破坏, $D = 0 \sim 0.20$ ;中等破坏, $D = 0.20 \sim 0.55$ ;严重破坏, $D = 0.55 \sim 1.00$ ;完全破坏, $D \geq 1.00$ 。根据图 13 可知,系缆墩在船撞过程中  $x$  向的最大位移为 1.25 m,根据式(10)计算其延性损伤指数为 0.26,属于中等破坏范围,因此在工程中需对系缆墩的基桩进行加固处理。

## 5 结 语

本文提出了以动量守恒定律为基础,试算输入不同简化撞击力-时间荷载曲线,计算结构的动力响应与现场检测结果一致为准则,基于有限元模型分析船撞结构损伤破坏的数值分析方法。采用该方法对中泉石化船撞高桩系缆墩事故进行了分析计算,结果表明,通过数值计算可以观测到系缆墩隐蔽部位基桩的损伤破坏情况,在灌注桩嵌岩端上部的混凝土发生了不同程度的破损,钢套筒进入了屈服阶段,系缆墩结构整体属于中等破坏程度。因此,所提出的船撞高桩系缆墩简化分析方法可预测基桩隐蔽部位的破损情况和评估结构的整体性能状态,可为后续的修复工程提供参考。

## 参 考 文 献:

[1] YUAN P, HARIK I E, DAVIDSON M T. Multi-barge flotilla impact forces on bridges[J]. Collisions, 2008.  
 [2] MANUEL L, KALLIVOKAS L F, WILLIAMSON E B, et al. A probabilistic analysis of the frequency of bridge collapses due to



vessel impact[J]. Bridge Design, 2006.

- [3] 王君杰, 卜令涛, 孟德巍. 船桥碰撞简化动力分析方法: 简化动力模型[J]. 计算机辅助工程, 2011, 20(1): 70-75. (WANG Junjie, BU Lingtao, MENG Dewei. Simplified dynamic analysis method of ship-bridge collision: simplified models[J]. Computer Aided Engineering, 2011, 20(1): 70-75. (in Chinese))
- [4] 欧碧峰. 基于微平面模型的桥梁船撞数值模拟与简化动力分析[D]. 上海: 同济大学, 2008. (OU Bifeng. The ship-pounding numerical simulation and simplified dynamic analysis of bridges based on the micro-plane model[D]. Shanghai: Tongji University, 2008. (in Chinese))
- [5] SHA Y, HAO H. Laboratory tests and numerical simulations of barge impact on circular reinforced concrete piers[J]. Engineering Structures, 2013, 46(1): 593-605.
- [6] LS-DYNA. LS-DYNA user manual[M]. Livermore Software Technology Corporation, 2007.
- [7] 田力, 黄飞. 考虑流体效应的船-桥碰撞数值模拟法研究[J]. 工程力学, 2015, 32(8): 120-128. (TIAN Li, HUANG Fei. Numerical simulation method for ship-bridge collision considering fluid effect[J]. Engineering Mechanics, 2015, 32(8): 120-128. (in Chinese))
- [8] 陈宇, 孙熙平, 李越松. 施工期台风浪作用下沉箱碰撞破坏分析[J]. 水利水运工程学报, 2018(4): 112-118. (CHEN Yu, SUN Xiping, LI Yuesong. Pounding damage analysis of caissons during construction under action of storm wave[J]. Hydro-Science and Engineering, 2018(4): 112-118. (in Chinese))
- [9] SHARIFI A, BANAN M R, BANAN M R. A strain-consistent approach for determination of bounds of ductility damage index for different performance levels for seismic design of RC frame members[J]. Engineering Structures, 2012, 37(4): 143-151.
- [10] LI Z X, CHEN Y, SHI Y D. Seismic damage control of nonlinear continuous reinforced concrete bridges under extreme earthquakes using MR dampers[J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2016, 88: 386-398.

## Damage analysis of high-pile cleat under ship's impact load

CHEN Yu<sup>1</sup>, LÜ Yang<sup>2</sup>, QI Guangzheng<sup>3</sup>, SUN Xiping<sup>3</sup>

(1. School of Airport Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China; 2. School of Civil Engineering, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China; 3. Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, MOT, Tianjin 300456, China)

**Abstract:** A new method for the numerical analysis of structures is proposed, based on momentum conservation laws to calculate the dynamic responses of the structure with different input simplified force-time curves using finite element model, and it stops until the numerical result is consistent with the actual value. Based on the background of the “Zhong Quan” Sinopec accident, a three dimensional model of high-pile cleat is established with explicit dynamic analytical software LS-DYNA, and the failure process of the cleat under ship's impact load is analyzed by the proposed method. The results show that the residual displacements of the cleat are consistent with the actual values when the impact time is 13.75 s, and the shear failure mode of the abutment is consistent with the situation. Also, they show that the concrete of the filling piles is damaged in various degrees at the fixed end, the steel sleeves enter the yield stage, and the cleat is evaluated as medium damage.

**Key words:** high-pile cleat; impact; damage; damage mode