

深水发电机组方形网格系固结构的动力响应研究

刘建 朱克强 包雄关 张大朋 揭晓侠

(宁波大学 海运学院 315211 宁波)

摘要:系泊系统在深海洋流发电的整体安全性方面占据着重要地位,其部分或全部损毁均有可能造成洋流发电机丢失。为验证两种不同系固方法的优劣,依据凝集质量法建立方形网格系固结构的力学模型,以台湾海峡实测水文参数为环境载荷,探究该方形系固结构的动力响应问题。研究表明:对照组复合缆末端的有效张力变化幅值小,在大幅度急变流条件下, line1 EndB 的有效张力随时间变化幅值仅为 2line7,5 的 1/10;沿缆长方向,方形网格系固条件下,相对于复合缆两端有效张力的差值来说,发电机模型系缆两端有效张力的差值较小。单根缆绳断裂情况下,采用网格系固法,能够有效分散断裂缆绳的有效张力,相比于对照组复合缆 line2 EndB 端有效张力增量为 4.94%,网格系固法未断裂缆绳 line11,1EndB 有效张力增量仅为 0.154%,这种方法表现出较强的应急能力。同时发现,网格系缆与网格基地的连接点沿边界对称分布时,系统整体的高频振动能够得到有效抑制。

关键词:凝集质量法; OrcaFlex; 黑潮; 网形系固结构; 动力响应

中图分类号: P754.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.11776/cjam.34.01.D102

1 引言

目前海洋能源开发中,大体上有波浪能发电、潮汐能发电、洋流发电三种形式。有关波浪能设备系固方面,文献[1-3]对锚泊链索的阻尼及性能进行了研究。文献[4]进行了锚泊系统的外形和尺寸对波浪能发电装置锚泊载荷的影响分析。文献[5]对合成材料在波浪能发电装置中的优点进行了研究。在潮汐能发电设备系固方面,文献[6]证明了加入高弹性索的锚线设计能够满足潮汐发电装置在恶劣环境下

对锚泊系统的要求。文献[7]通过在脐带缆上附加锚链,使二者以合理的方式连接在一起,使得脐带缆的运动幅度大大降低。洋流发电方面,国外尚无针对深海的洋流发电机,我国台湾地区针对深水洋流发电的研究尚处于起步阶段。

就海洋发电装置总体而言,固定形式有底座式、樁柱式、漂浮式或平台装置、锚固式四种。这四种放置方式均有其局限性,对于底座式、樁柱式发电机组来说,由于支座本身不具有可调性,故其抗台风能力较难改善;并且为保证发电功率,所安装机组均为大型机组,因此增大了海上维修难度。

基金项目: 国家自然科学基金(11272160); 国家自然科学基金青年项目(51309133); 浙江省自然科学基金(LY13A020006)

收稿日期: 2015-10-12

修回日期: 2016-10-31

第一作者简介: 刘建,男,1991年生,宁波大学,助研;研究方向——船舶与海洋工程结构物动态响应。E-mail: 275645569@qq.com

通讯作者: 朱克强,宁波大学,教授;研究方向——船舶与海洋工程结构物动态响应。E-mail: zhukeqiang@nbu.edu.cn

对于漂浮式或平台式装置来说, 锚固系统的强度可通过一定方式予以改善, 但由于其需漂浮在水面上, 故抗台风问题较难解决。

由于水下发电机组所处位置的特殊性, 其必须面对的问题主要有: 防止因单根系缆的断裂而造成的机身损毁; 防止因水流流向反转而造成的叶片倒旋问题; 避免台风干扰的同时, 尽可能降低所在海水深度以提高洋流发电机的效率等。因此在第四种放置方式——锚固式的基础上, 探讨水下发电机组在一种新型网状系固装置的固定下, 洋流发电系统的动力响应。

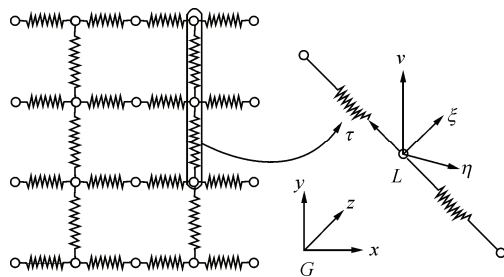


图1 网格凝集质量法示意图
Fig.1 Lumped mass method of mesh girde

2 基本理论

2.1 网状系泊结构物水动力载荷计算理论

如图1所示, 在该模型中网线由一系列集中的质量点以及连接这些点的无质量弹簧组成。每个凝集质量点分担其两端网线各1/2的质量, 质量点间的张力及扭转力由无质量弹簧计算。 $G-xyz$ 为全局坐标系, G 为全局坐标系原点, Gx 、 Gy 、 Gz 分别表示 x 轴、 y 轴、 z 轴, 风浪流等环境外载荷的方向是相对于 G 坐标系而言的。对于不同的网绳来说, 需要局部坐标系 $L-\eta\xi\tau$ 描述其运动, 其中 L 为各凝集质量点, τ 表示沿相应的网绳轴向, η 、 ξ 表示沿相应的网绳法向。力学模型采用凝集质量法^[8]计算, 具体方法详见OrcaFlex软件中的帮助文件^[9]。

在该模型中, 可以用Morison公式计算各局部坐标系的拖曳力大小, 针对网绳等柔性结构物来说, 在外加风浪流载荷的作用下, 结构物具有因形变而产生的位移, 以网绳轴向 τ 为例, 针对柔性圆柱体提出Morison公式的改正式为^[10]

$$F_{D\tau} = \frac{1}{2} \rho C_{D\tau} D l |u_{\tau} \pm \dot{s}_{\tau}| (u_{\tau} \pm \dot{s}_{\tau}) + C_{M1} \rho D^2 \frac{\pi}{4} (\ddot{u} \pm a_p) + C_{M2} \rho D^2 \frac{\pi}{4} (\ddot{u} \pm \ddot{s}) \quad (1)$$

其中: $C_{D\tau}$ 表示 τ 方向上拖曳力系数; C_M 为惯性力系数; D 为网线直径; l 为网绳长度; s 为柔性圆柱体微元在 τ 方向上的位移; $\dot{s}_{\tau}$ 为柔性圆柱体微元在 τ 方向上的速度; u_{τ} 为相对水流速度; a_p 为局部坐标系的对地加速度。对于 η 、 ξ 方向, 这种形式的公式依然适用, 只需要把相对应的字母更改即可, 需要注意的是, 在不同的方向上, 拖曳力系数的选取需要用到不同的公式^[11]。有关 η 、 ξ 、 τ 方向上拖曳力系数以及惯性力系数 C_M 的表达式详见参考文献[12]。

2.2 动力学基本方程

动态分析可以在指定时间段内对模型运动进行实时模拟, 其起始位置由静态分析推导出。

OrcaFlex在动态分析中使用的运动公式为

$$M(p, a) + C(p, v) + K(p) = F(p, v, t) \quad (2)$$

式中: $M(p, a)$ 为结构物惯性载荷; $C(p, v)$ 为结构阻尼力; $K(p)$ 为结构刚度载荷; $F(p, v, t)$ 为外载荷; p 、 v 、 a 分别表示结构的位置、速度、加速度矢量; t 表示模拟时间。

3 水文环境参数的选择

就中国沿海来说, 由于黑潮流速强劲稳定, 表层平均流速在1m/s以上, 流向固定往北, 从能源开发角度来看, 黑潮是一条能量密度极高的洋流, 故选用台湾东北部黑潮水文环境值作为本文的环境参数。

在众多观测资料中, WOCE PCM-1断面锚定观测数据跨越了黑潮的宽度和深度, 给出了台湾以东水道黑潮如流自表层至底层的完整结构, 而且观测时间长达20个月, 从中可以得到准确的流速流向数据, 按照文献[13-14]提供的的数据图表, 选取(24° 29'N-24° 33'N, 121° 50'E-122° 00'E)区域内的相关水流参数作为数值实验地区的环境载荷。

模型所在水深处, 波浪载荷可以忽略不计, 海流参数具体设置如下。

如表1所示, 最大流速条件下, 四种不同的流向改变模式: 128s~212s 小幅度缓变流阶段; 256s~300s 小幅度急变流阶段; 344s~428s 大幅度缓变流阶段; 472s~516s 大幅度急变流阶段; 90m和190m以外的水流速度参数在垂直方向上用线性内插法补足。

表 1 90m、190m 海流流速、流向参数
Tab.1 Current velocity and direction in 90m、190m water depth

时间(time)/s	90m 水深海流参数 (current velocity and direction in 90m)		190m 水深海流参数 (current velocity in 190m)
	流向(direction)/(°)	流速(velocity)/cm·s ⁻¹	流速(velocity) /cm·s ⁻¹
0~64	90	5~95.46	0.22~58.63
64~128	90	95.46	58.63
128~212	90~70	95.46	58.63
212~256	70	95.46	58.63
256~300	70~110	95.46	58.63
300~344	110	95.46	58.63
344~428	110~0	95.46	58.63
428~472	0	95.46	58.63
472~516	0~250	95.46	58.63
516~560	250	95.46	58.63

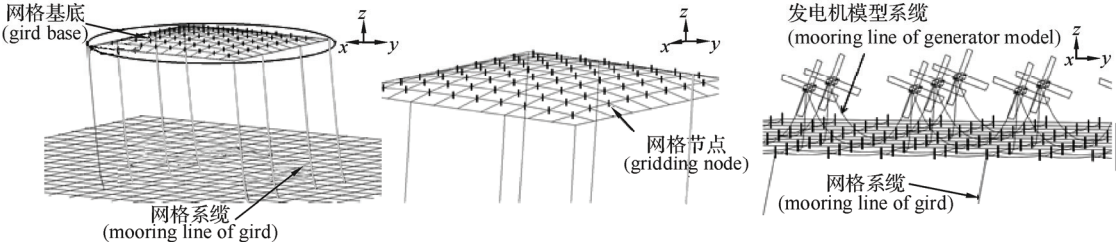


图 2 方形网格系固系统示意图
Fig.2 The diagram of square mesh gird mooring system

4 水下结构物系泊模型

4.1 方形网格系固结构模型

在国际上, 洋流发电虽有小部分投入到商业运营中, 但是大部分系固方式与传统系固方式并没有太大差别, 最常见的一种锚泊方式是利用三根缆绳系固在水下洋流发电机导缆孔处, 一旦其中一根缆绳发生断裂, 则发电机会受到相应影响从而无法继续正常工作。

本模型为 10×10 网格, 为保证该网格结构在海水中能够张紧, 在设计时, 沿 X、Y 方向的缆绳水中重量均为负值, 结构如图 2 所示。为简化计算, 发电机的机身部分采用 OrcaFlex 中的 6D 浮标凝集质量块来模拟, 并忽略水流与机身作用时产生的转矩。在方形网格系固方法中, 发电机模型系缆连接网格基底与发电机组, 网格系缆位于海床与网格基底之间, 叶片拖曳力和升力系数采用 OrcaFlex 中自带的一种 symmetrical 翼型参数^[9]。

网格节点编号: 每个节点的名称分别为: joint*i,j*(1≤*i*≤11,1≤*j*≤11)。其中 *i* 表示沿 X 方向的第 *i* 组节点,*j* 表示该 *i* 组节点沿 Y 方向的排序。

网格系缆编号: 网格系缆的编号将按照其所连接的节点来命名, 每根网格系缆的名称分别为: 1line*i,j*(其中 *i,j* 和所连接的网格节点相同)。

发电机模型系缆编号: 其命名规则与网格系缆相同, 三根发电机模型系缆的编号将根据其所系固的节点名称来表示, 每根发电机模型系缆的编号分别为: 2line*i,j* (其中 *i,j* 和所连接的网格节点相同)。

4.2 对照组系固模型图

为使设计满足行业内相关标准, 作为对照组的系固缆的具体参数取自 South West Mooring Test Facility(SWMTF)^[15], 如图 3 所示, 系固方式采用三条等长的尼龙-锚链复合缆形式, 洋流发电机通过三根复合缆索与海床直接相连, 为便于讨论, 三根缆索按照逆时针方向分别命名为 Line1, Line2, Line3, 为保证结果的合理性, 设置该对照组发电机与方形网格系固条件下的发电机组初始高度相等。

系固复合缆索的具体参数如表 2 所示。其中: *Cd_n*、*Cm_n* 分别为法向拖曳力和惯性力系数; *Cd_a*、*Cm_a* 分别为轴向拖曳力和惯性力系数。

5 数值仿真结果

仿真分为两个部分, 一为采用方形网格系固方法, 二为采用复合缆系固的传统方法。

根据上文对发电机模型系缆标记法的相关描述可知, 与图 3 中发电机 1 相连的三根缆绳编号分别为 2line7,5, 2line8,4, 2line8,6, 图 4 所示为缆绳 2line7,5 AB 两端有效张力时历曲线分析 (A 端为连

接发电机模型的一端)。

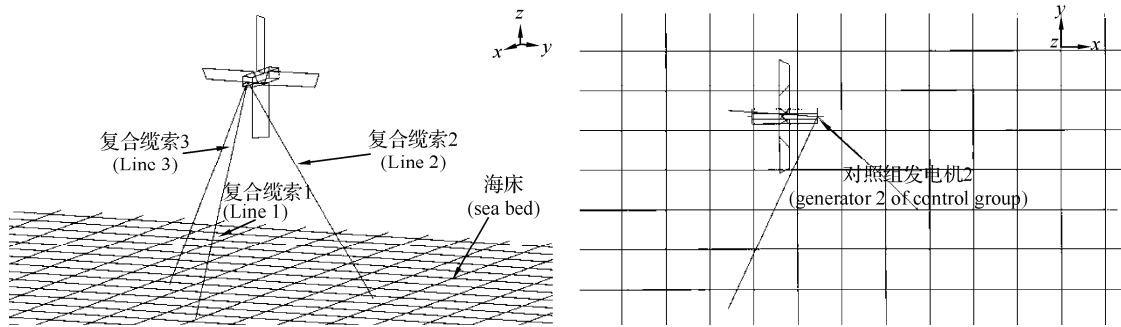


图 3 尼龙-锚链复合缆系固示意图
Fig.3 Nylon-chain compound cable mooring schematic

表 2 系固复合缆索参数

Tab.2 composite fastener cable parameters

复合缆分段 (segments of composite line)	各段材质 (material of each segment)	长度 (length)/m	法向直径 (diameter)/m	轴向刚度 (stiffness of axial)/kN	拖曳力系数 (drag coefficient)		惯性力系数 (inertia coefficient)	
					Cd_n	Cd_a	Cm_n	Cm_a
1	锚链 (anchor chain)	0.259	0.008	6464	1	0.4	1	0.07
2	尼龙绳 (nylon rope)	4.0	0.009	7.1	1.6	0	1	0
3	锚链 (anchor chain)	0.126	0.006	3.636×10^6	1	0.4	1	0.07
4	锚链 (anchor chain)	5.672	0.0049	2.0505×10^6	1	0.4	1	0.08

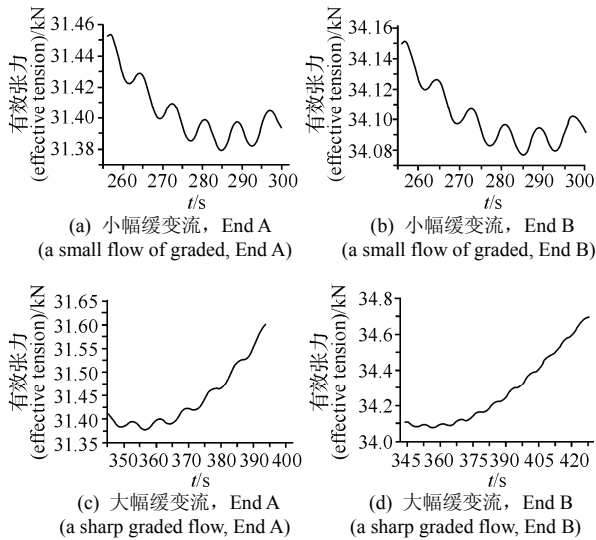


图 4 不同水流条件下 2line7,5 的 End A, End B 有效张力时历曲线
Fig.4 Time history effective tension curve of 2line7,5 End A and End B during different environment load

根据数值仿真结果，在小幅缓变流载荷条件下，三根系缆的张力变化幅值极小，以 2line7,5 B 端为例，在小幅急变流条件下，其最大和最小有效张力之间仅相差 0.0749kN，如图 4(b)所示。在大幅缓变流外加水流载荷条件下，末端张力变化值增大 10 倍，以 2line7,5B 端为例，其最大和最小张力之间相差 0.6125kN，如图 4(d)所示。

在采用复合三条等长的尼龙-锚链复合缆形式系固时所得到的结果如图 5 所示。在大幅度急变流外

载荷条件下，由于外载荷变化相对剧烈，系泊缆绳两端的张力变化也是四个阶段最强烈的时候，但是观察其 A 端有效张力变化，仅降低 0.0613kN，B 端有效张力仅增加 0.0642kN，与图 4 中的结果进行对比，可以发现在相对恶劣的环境下，这种形式的系泊缆能保持末端张力变化极小的特点。原因在于相比于方形网格的系固形式，在载荷发生变化的时候底部受到的扰动相对和缓，尤其对于 B 端，这种形式的系固缆绳有效张力变化幅度较小。

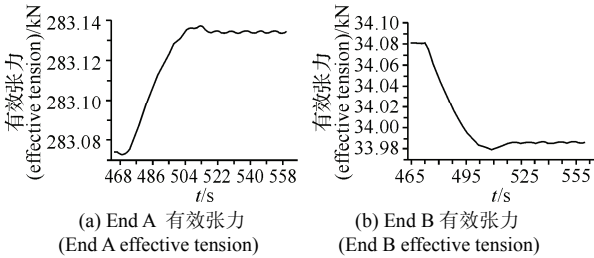


图 5 line1 A, B 两端有效张力时历曲线
Fig.5 Time history effective tension curve of line's End A and End B

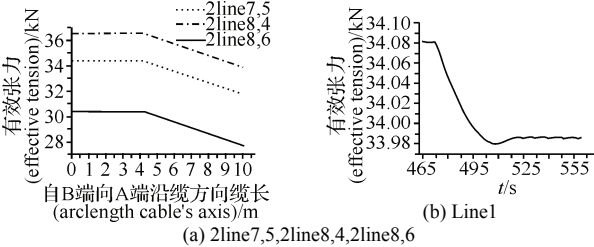


图 6 2line7,5,2line8,4,2line8,6,Line1 沿绳长方向的有效张力
Fig.6 Effective tension of 2line7,5, 2line8,4, 2line8,6, Line1 along the length direction(origin End B)

2line7,5、2line8,4、2line8,6 沿绳长方向的有效张力呈现出递减趋势,也就是说按照方形网格系固方法进行系固时,与发电机模型相连接的一端有效张力较大,与网格系统相连的一端张力较小,但是总体相差不大,以 2line8,4 为例,两端张力相差 2.48kN。图 6(b)所示为 Line1 沿绳长方向的有效张力变化曲线,由于 Line2, Line3 和 Line1 表现出基本一致的张力值和变化趋势,故在此仅列一例。通

过观察可以发现,其 A 端有效张力为 34.14kN, B 端张力为 283.1kN,两端张力相差 248.96kN。这种差异的原因在于,采用复合缆进行系固时,在工程实践中, B 端一般深埋于海底,此时这一部分的环境就会由海水变为海床泥沙等,这些改变不仅使得系固于底端的缆绳系泊张力大大增加,同时也加快了缆绳材质的腐蚀速度。

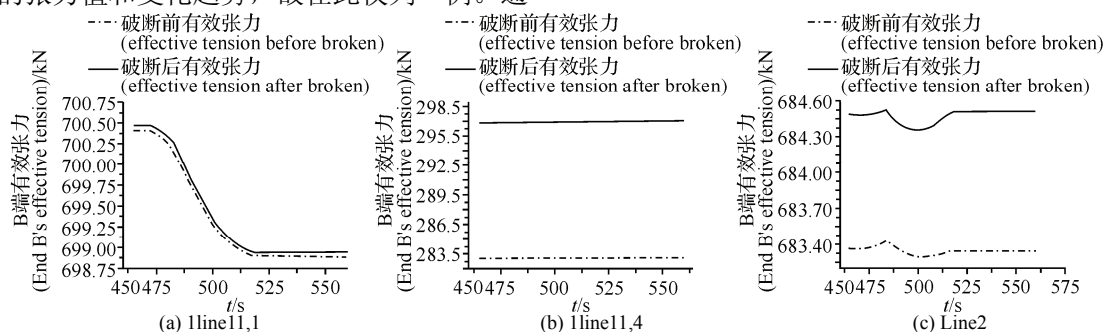


图7 1line11,1 & 1line11,4&Line2 End B 破断前后有效张力对比
Fig.7 Comparison of effective tension of 1line11,1 & 1line11,4&Line2 End B before and after broken

进行这组数值仿真计算的目的在于探究在系固缆索的某一根发生断裂的情况下,对其他系固缆索造成的影响。方形网格系固系统中, 1line11,11 发生断裂的情况下,随意寻找两组网格系统,观察其 B 端有效张力变化情况。观察图 7(a)、图 7(b)可知: 1line11,1 B 端在缆索破断前后,其有效张力增加约 0.065kN, 1line11,4 B 端在缆索破断前后,其有效张力增加约 1kN;采用 3 根复合缆进行系固的系统中, Line1 为破断缆绳, Line2 和 Line3 张力变化基本一致,在此仅列一例。观察图 7(c), Line2 B 端在缆绳破断前后其有效张力变化为 13.72kN。由此可以得出初步结论,在断裂相同缆绳的情况下,两种不同的系固方式对于其余的缆绳所增加的负荷是不同的。

在 470s~515s 阶段,水流流向自 0° 顺时针转向 250° ,流速沿 X 轴分量为正。在水流的带动下,发电机模型沿 X 轴正向运动,由图 8(a)可知,采用方形网格系固方法系固的发电机 1 位移改变量约为 1.39m,采用复合缆系固的发电机 2 位移改变量约为 0.913m。观察图 8(b)发现,在水流转向的大部分时间内,发电机 1 沿 X 轴正向的速度要大于发电机 2,这种特性使得发电机 1 在一定程度上减小了相对水流速度,故能在一定程度上减弱水流倒灌对机组的损伤,但因其对地速度最大仅为 0.068m/s,所以效果并不明显。

进行数值仿真期间,发现网格系缆在采用不同的排列形式时,有效张力的振动频率会受到很大影响。图 9 中涉及到两种不同的系缆排列方式,第一

种连接节点的编号如下: joint1,1, joint1,6, joint1,9, joint1,11, joint3,6, joint5,1, joint5,3, joint5,9, joint5,11, joint7,6, joint9,1, joint9,3, joint9,9, joint9,11, joint11,1, joint11,6, joint11,9, joint11,11。第二种排列方式的连接节点编号为: joint1,1, joint1,3, joint1,4, joint1,5, joint1,7, joint1,8, joint1,9, joint1,10, joint1,11, joint11,1, joint11,3, joint11,4, joint11,5, joint11,7, joint11,8, joint11,9, joint11,10, joint11,11。

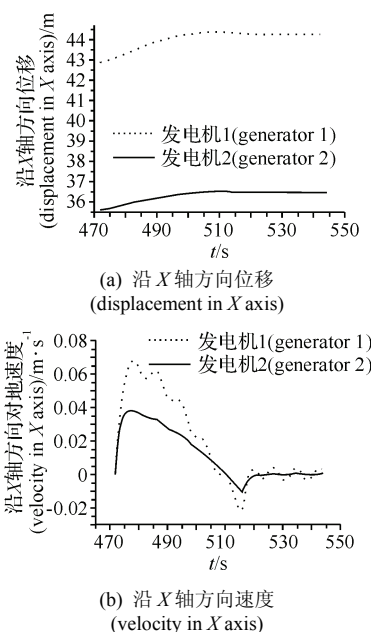


图8 采用不同系固方式时发电机模型沿 X 轴方向的位移和速度
Fig.8 Displacement & velocity in X axis of generator model with different mooring systems

图 9(a)所示为 1line11,2 B 端有效张力的变化曲线,图 9(c)所示为 2line8,4 B 端有效张力变化曲线,二者所在的网格系统采用排列方式二,可以观察到,在各种水流载荷变化的条件下,其有效张力变化都很平缓,但是相较于排列方式二来说,采用排列方式一所得的有效张力振动频率要高出很多,以 2line8,4 B 端有效张力为例,其振动幅值最高可达到 16kN。经初步分析,产生这种现象的原因是:不同

的网格系统排列方式在缓冲网格基底上面的缆绳所产生的振动效果不同,在排列方式一中,网格基底上面的缆绳在水流的作用下所产生的振动不能被有效地释放,只能借由其上面连接的发电机模型及其系固缆绳的高频振动来释放出去,因此可见网格系统的排列方式对于发电机模型的安全有重要影响,但是这部分研究的内容仅停留在初步阶段,更本质的原因仍待后续进一步研究。

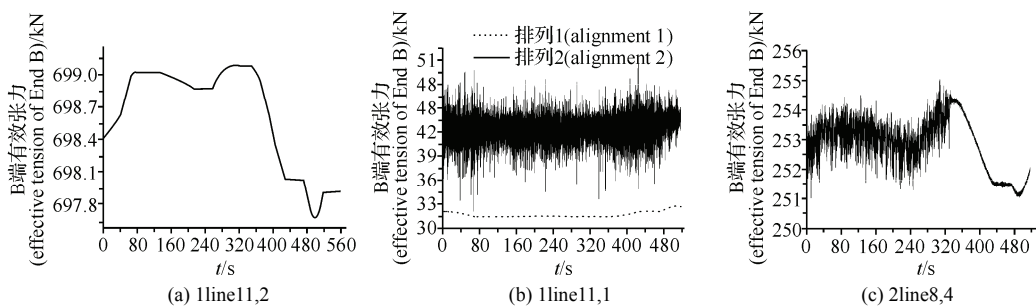


图 9 网格系统在不同的排列形式下对系泊缆绳高频振动的影响
Fig.9 Effect of grid mooring on the mooring lines of the high frequency vibration in different arrangement form

6 结 论

经过以上对数值仿真结果的分析可以得出以下结论。

- 1) 时域中, 对照组复合缆绳末端有效张力幅值较小, 但在沿缆长方向, 方形网格系固条件下, 相对于复合缆两端有效张力的差值来说, 发电机模型系缆两端有效张力的差值较小。
- 2) 对照组中复合缆绳的断裂会造成另外两根复合缆绳有效张力的大幅上升, 相比之下, 采用网格系固方法时, 由于网格系缆的数量远多于 3 根, 断裂缆绳的有效张力被有效分散, 某一网格系缆发生断裂时, 其余缆绳有效张力的增量远低于对照组。
- 3) 相比于发电机 1, 发电机 2 在 X 轴方向的运动速度和位移变化均维持在较小范围内, 在水流反向时, 由于网格基底相对水流速度较快, 这在一定程度上降低了发电机 1 的相对水流速度, 虽然对水流倒灌的改善并不明显, 但是其结果却优于采用复合缆系固方式。

不足之处: 在考虑流向流速问题时, 未考虑二者突变的可能性, 仅在连续变化的基础上进行了相关讨论, 且未涉及到在极端恶劣海况下网格系固系统的动态响应分析。

参 考 文 献 (References)

[1] Johanning L, Smith G, Wolfram. Measurements of static and

dynamic mooring line damping and their importance for floating WEC devices[J]. Ocean Engineering, 2007, 34(4/5): 1918-1934.

[2] Vickers A W, Johanning L. Comparison of damping properties for three different mooring arrangements[C]//The 8th European Wave and Tidal Energy Conference. Sweden: Landolt-Börnstein-Group III Condensed Matter, 2009: 637-645.

[3] Rodríguez A, Weller S D, Canedo J, et al. Performance comparison of marine renewable energy converter mooring lines subjected to real sea and accelerated loads[C]//The 11th European Wave and Tidal Energy Conference. France: EWTEC, 2015: 08B5-3-1-08B5-3-8.

[4] Vladimir K, Brian L, Harris R E. Effects of the shape and size of a mooring line surface buoy on the mooring load of wave energy converters[J]. Journal of Chongqing University: English Edition, 2012, 11(1): 1-4.

[5] Weller S D, Johanning L, Davies P, et al. Synthetic mooring ropes for marine renewable energy application[J]. Renewable Energy, 2015, 83: 1268-1278.

[6] 郭小天, 张亮. 潮流发电装置弹性锚泊设计[J]. 应用科技, 2013, 40(3): 6-9. (Guo Xiaotian, Zhang Liang. The elastic mooring design of tidal current generation power device[J]. Applied Science and Technology, 2013, 40(3): 6-9(in Chinese)).

[7] 朱艳杰. 斋堂岛潮汐能发电动态脐带缆线型设计与分析[J]. 海洋工程, 2014, 32(4): 104-109. (Zhu Yanjie. Zhai Tang Dao's tidal power dynamic umbilical cable's configuration design and analysis[J]. The Ocean Engineering, 2014, 32(4): 104-109(in Chinese)).

[8] Zhu Keqiang, Cai Ying, Yu Chunling, et al. Nonlinear hydrodynamic

- response of marine cable -body system undergoing random dynamic excitation[J]. Journal of Hydrodynamics, 2009, 21(6): 851-855.
- [9] Orcina Ltd.. OrcaFlex manual[Z/OL][2016-12-28]. [http : //www.orcina.com](http://www.orcina.com).
- [10] Xu Tiaojian, Dong Guohai, Zhao Yunpeng, et al. Analysis of hydrodynamic behaviors of gravity net cage in irregular waves[J]. Ocean Engineering, 2011, 38(13): 1545-1554.
- [11] Kristiansen T, Faltinsen O M. Modelling of current loads on aquaculture net cages[J]. Journal of Fluids and Structures, 2012, 34(4): 218-235.
- [12] Choo Y I, Casarella M J. Hydrodynamic resistance of towed cables[J]. Journal of Hydronautics, 1971, 5(4): 126-131.
- Johns W E, Lee T N, Zhang D, et al. The Kuroshio East of Taiwan: moored transport observations from the WOCE PCM-1 array[J]. Journal of Physical Oceanography, 2001, 31(4): 1031-1053.
- [13] 闫小梅. 东台湾水道黑潮如流的观测分析[D]. 台湾: 中国科学院海洋研究所, 2012: 1-121. (Yan Xiaomei. Observational analysis of the Kuroshio inflow at the East Taiwan Channel[D]. Taiwan: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2012: 1-121(in Chinese)).
- [14] Harnois V, Weller S D. Numerical model validation for mooring systems: method and application for wave energy converters[J]. Renewable Energy, 2015, 75: 869-887.

Temperature effects on nonlinear free vibration characteristics of suspended cables

Jin Bo¹ Zhao Yaobing^{1,2} Zhang Dingfang¹ Zhou Wang¹

(1 College of Civil Engineering, Hunan University, 411082, Changsha, China; 2 College of Civil Engineering,

Huaqiao University, 361021, Xiamen, China)

Abstract: Based on the incremental thermal field theory, the thermal stress state of the suspended cable is introduced in this paper, and then the nonlinear free vibration differential equations under temperature changes are derived. The Galerkin method is employed to discretize these equations and the linear analysis is conducted. The Lindstedt-Poincare method is adopted to obtain the approximate solutions of the nonlinear free vibration. The research on the temperature effects on the nonlinear free vibration of suspended cables is conducted by some numerical calculations. Numerical results show that the nonlinear free vibration equations of motion do not change with the temperature changing, but the coefficients of the linear, quadratic and cubic nonlinearity terms change with the temperature effects. As to the suspended cable with small sag-to-span ratio, with the increase of the temperature, the hard spring characteristic increases too. However, the suspended cable with large sag-to-span ratio, the temperature changes will alter the soft-hard spring characteristics of the nonlinear free vibration quantitatively, even qualitatively. The effects of the same degrees of warming and cooling on the free vibration properties of suspended cables are obviously not symmetric.

Keywords: *suspended cable, temperature changes, free vibration, frequency response curves, sag-to-span ratio.*

Research on dynamic response of net shape mooring lines in deep sea

Liu Jian Zhu Keqiang Bao Xiongguan Zhang Dapeng Jie Xiaoxia

(NB University Faculty of Maritime and Transportation, 315211, Ningbo, China)

Abstract: Mooring system occupies an important position in the overall safety of the deep ocean current power generation, in which some or all the damage are likely to make ocean current generator lost. Based on the lumped mass method and the environmental load measured hydrological parameters of Taiwan Strait, the mechanical model of net shape mooring lines for current power generation has been established to explore the different significance of two mooring methods and the dynamic response. The research focuses on the following aspects: in two different mooring methods, the mooring tension of the cable connected with the generator model directly at both ends; the mooring tension variation of the grid mooring anchor end; the effect of two different mooring methods for generator model along the X -axis direction movement velocity and displacement; in the case of any one cable breakage, the remaining impact on the mooring tension of the rest mooring lines; preliminary study of the influence of the arrangement mode of the grid lines on the high frequency vibration of the mooring line in a square grid system.

Keywords: *lumped mass method, net shape mooring lines, dynamic response.*