

doi: 10.7690/bgzdh.2019.11.013

基于对潜防御航母编队反潜舰阵位配置模型

朴成日

(海军大连舰艇学院舰船指挥系, 辽宁 大连 116018)

摘要: 基于航母编队对潜防御建立反潜舰阵位配置模型, 需要立足于拖曳线列阵声纳使用和航母编队作战特点。针对拖曳线列阵声纳使用, 提出相邻反潜舰最小间距确定方法和弥补盲区措施; 针对反潜舰在航渡和综合作战区中承担的任务, 运用解析法建立反潜舰阵位配置模型。在此基础上, 通过设定合理参数进行仿真分析验证模型。结果表明, 该模型能为航母编队反潜舰阵位配置提供理论参考。

关键词: 配置; 对潜防御; 航母编队

中图分类号: E925 **文献标志码:** A

Model of Anti-submarine Ships Disposition in Aircraft Carrier Formation in Submarine Defense Warfare

Piao Chengri

(Department of Surface Ship Command, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China)

Abstract: Anti-submarine ships disposition model of aircraft carrier formation should be built on the basis of the use of the towed linear array sonar and the operational characteristics of the aircraft carrier formation. Aiming at the use of the towed linear array sonar, this paper proposed method to determine the smallest distance between anti-submarine ships and measures to make up the dead zone of the towed linear array sonar. Then, model of anti-submarine ships disposition was advocated by using of the analytical method, taking the consideration of anti-submarine ships' missions during navigation and in combined operational areas. Based on this, the model was analyzed and proved through simulation with reasonable parameters designed. The results show that the model can provide anti-submarine ships disposition model of aircraft carrier formation with reference.

Keywords: disposition; submarine defense; aircraft carrier formation

0 引言

航母编队在大洋上遂行作战任务期间面临的潜艇威胁日益严峻, 科学合理配置反潜舰是航母编队对潜防御的前提和基础; 因此, 研究反潜舰阵位配置模型对提高航母编队对潜防御能力具有重要的军事意义。近年来, 航母编队反潜舰阵位配置问题成为军事领域中研究的热点。文献[1]针对掩护目标提出了反潜舰最小前出距离计算模型; 文献[2-3]针对航母编队航渡状态提出了反潜舰阵位配置方法; 文献[4]针对拖曳线列阵声纳盲区提出了三舰配置方法。

笔者旨在综合拖曳线列阵声纳运用和航母编队作战特点来考虑反潜舰阵位配置问题。反潜舰对敌方潜艇的观察警戒主要依靠拖曳线列阵声纳装备, 反潜舰阵位配置应该尽量弥补拖曳线列阵声纳装备上的不足, 做到扬长避短。另外, 着眼于航母编队作战特点, 反潜舰阵位配置需要针对航母编队在航

渡和综合作战区 2 种状态下担任的任务来考虑。

1 拖曳线列阵声纳运用反潜舰阵位配置

1.1 相邻反潜舰最小间距确定

反潜舰运用拖曳线列阵声纳搜索敌潜艇, 其阵位配置需要考虑 2 个因素: 1) 拖曳线列阵声纳的长度; 2) 其他舰产生的噪声对拖曳线列阵声纳的影响^[5]。当其他舰产生的噪声传播到拖曳线列阵声纳附近时, 噪声级比海洋环境噪声级低 6 dB, 可以认为对拖曳线列阵声纳已无影响, 该距离与拖曳线列阵声纳长度之和便是反潜舰阵位配置中的最小间距, 即相邻反潜舰之间的距离必须大于该数值。忽略了吸收损失, 根据被动声纳方程^[6], 存在关系式:

$$D_{ZJJ} = D_{CB} + L_{TY}; \quad (1)$$

$$NL - (SL - TL) = 6; \quad (2)$$

$$NL = 10 \lg f^{-1.7} + 6S + 55; \quad (3)$$

$$SL = 60 \lg v_{BD} + 19 \lg T - 20 \lg f - 47; \quad (4)$$

收稿日期: 2019-08-15; 修回日期: 2019-09-28

作者简介: 朴成日(1975—), 男, 辽宁人, 朝鲜族, 博士, 副教授, 从事战术学研究。E-mail: seaman1313@163.com。

$$TL = 20 \lg D_{CB}; \quad (5)$$

$$D_{ZXJJ} = 10^{\frac{60 \lg v_{BD} + 19 \lg T - 31 \lg f - 6S - 96}{20}} + L_{TY}. \quad (6)$$

其中： D_{ZXJJ} 为相邻舰配置时的最小间距； D_{CB} 为噪声传播距离； L_{TY} 为拖曳线列阵声纳长度； SL 为在反潜舰 1 m 处测得的噪声级； NL 为海洋环境噪声级； TL 为噪声传播损失； f 为拖曳线列阵声纳工作频率； S 为海况等级； v_{BD} 为编队航速； T 为舰艇排水量。

1.2 弥补盲区配置方法

如图 1 所示，反潜舰运用拖曳线列阵声纳搜索时，会在舰首方向存在一定角度 (θ) 扇面内的探测盲区。

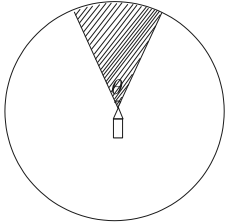


图 1 探测盲区

为消除盲区影响，可采取适当措施。

1) 配置反潜直升机。

反潜舰以编队航向航行，将反潜直升机配置在盲区前方，沿盲区弧线或弦线进行搜索警戒。

2) 曲折机动。

如图 2 所示，反潜舰以主航向为基准，有规律地向左右改变角度进行曲折机动。曲折机动时，航向改变角度 (α) 应大于舰首盲区角度 (θ)。

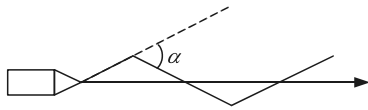


图 2 曲折机动

采取曲折机动时，反潜舰在一个航向上的航行时间不能过长，要求在发现敌方潜艇时，反潜舰与敌方潜艇之间的距离必须大于敌潜艇攻击距离，则有关系式：

$$D_{SNTCJL} - (v_{QT} + v_{BD})t_{max} > D_{QTGJ}; \quad (7)$$

$$t_{max} < \frac{D_{SNTCJL} - D_{QTGJ}}{v_{QT} + v_{BD}}. \quad (8)$$

式中： t_{max} 为反潜舰在一个航向上最长航行时间； D_{SNTCJL} 为拖曳线列阵声纳探测距离； v_{QT} 为敌潜艇突破航速； v_{BD} 为编队航速； D_{QTGJ} 为敌潜艇攻击距离。

3) 调整间距。

通过适当调整反潜舰的间距，利用相邻舰的有效探测扇面来弥补盲区^[4]。

如图 3 所示， D_{HDJJ} 为双舰横队间距，图中阴影部分为探测盲区。为了达到防潜需求，要求满足 $OA > D_{QTGJ}$ 和 $OB > D_{QTGJ}$ 。

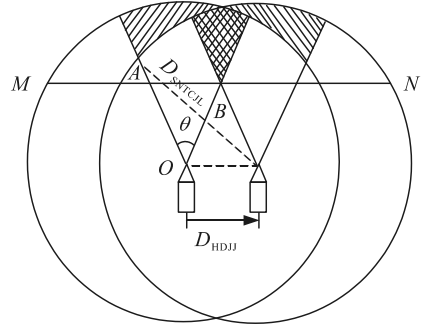


图 3 编队横队搜索

由 $OB > D_{QTGJ}$ ，得出

$$D_{HDJJ} > 2D_{QTGJ} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right). \quad (9)$$

由 $OA > D_{QTGJ}$ ，得出

$$\cos\left(90 + \frac{\theta}{2}\right) = \frac{OA^2 + D_{HDJJ}^2 - D_{SNTCJL}^2}{2OA \cdot D_{HDJJ}}; \quad (10)$$

$$OA = \sqrt{D_{SNTCJL}^2 - D_{HDJJ}^2 \cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right)} - D_{HDJJ} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right); \quad (11)$$

$$D_{HDJJ} < \sqrt{D_{SNTCJL}^2 - D_{QTGJ}^2 \cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right)} - D_{QTGJ} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right). \quad (12)$$

如果反潜舰间距满足关系式，可以认为探测盲区已经弥补；如果反潜舰间距小于下限值，敌方潜艇在图 3 所示的双阴影区域内机动，可能会对反潜舰先行发起攻击，为保证编队安全可以将反潜直升机配置在该区域。

为保证搜索的有效性， OA 与 OB 长度取小，假设 $OA > OB$ ，则通过 B 点直线 MN 长度便是双舰横队有效搜索宽度。根据图 3，存在关系式

$$D_{MN} = \sqrt{4D_{SNTCJL}^2 - D_{HDJJ}^2 \text{ctg}^2\left(\frac{\theta}{2}\right)} + D_{HDJJ}. \quad (13)$$

其中 D_{MN} 为双舰横队有效搜索宽度。

2 编队航渡状态下反潜舰阵位配置

航母编队在航渡期间，反潜舰的任务是运用拖曳线列阵声纳对水下实施警戒，及时发现并阻止敌方潜艇占领鱼雷攻击阵位对航母编队进行攻击^[7]。当反潜舰使用拖曳线列阵声纳时，不宜频繁转向机动，且要求与其他舰艇保持较大间距；因此，反潜舰不适合作为近程警戒舰配置在航母周围，而应配

置在近程警戒舰之外，两者间距要求保证内层警戒幕兵力的防御作战。反潜舰对敌方潜艇实施警戒，为编队提供一定的警戒纵深，原则上警戒纵深越大越好^[8]。反潜舰利用拖曳线列阵声纳作用距离远的优势，可为编队提供一定的警戒扇面角度。如图 4 所示，反潜舰前出距离、警戒纵深、警戒扇面角度和拖曳线列阵声纳作用距离构成了三角函数关系。

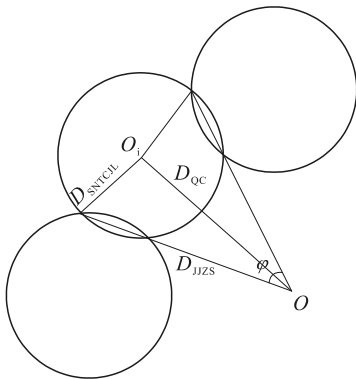


图 4 航渡中反潜舰配置

反潜舰前出距离、警戒纵深、警戒扇面角度等影响因素相互作用，要求反潜舰的阵位配置必须满足以下约束：前出距离不能影响内层警戒兵力防御作战，即要求二者之间的距离必须大于近程警戒舰拦截反舰导弹杀伤区远界及近程反潜武器射程；反潜舰能为编队提供一定的警戒纵深和警戒扇面角度。

反潜舰相对于航母的前出距离为

$$D_{QC} > D_{H-J} + D_{FYZS} \quad (14)$$

其中： D_{QC} 为反潜舰相对于航母的前出距离； D_{H-J} 为内层警戒兵力与航母之间的距离； D_{FYZS} 为内层警戒兵力防御作战纵深。

当反潜舰发现敌潜艇后，应立即上报编队，编队组织兵力进行防潜作战行动，对敌潜艇发动攻击时，要求敌潜艇与内层警戒兵力之间的距离必须大于敌潜艇攻击距离。因此，要求反潜舰为编队提供的警戒纵深必须满足：

$$D_{JJZS} > (v_{QT} + v_{BD})t_{FQGC} + D_{QTGJ} \quad (15)$$

其中： D_{JJZS} 为反潜舰为编队提供的警戒纵深； t_{FQGC} 为编队防潜行动持续时间。

根据图 4 所示，得出关系式：

$$\varphi = 2\arccos\left(\frac{D_{JJZS}^2 + D_{QC}^2 - D_{SNTCJL}^2}{2D_{JJZS}D_{QC}}\right); \quad (16)$$

$$D_{JJZS} = D_{QC} \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) + \sqrt{D_{SNTCJL}^2 - D_{QC}^2 \sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)}. \quad (17)$$

其中 φ 为单艘反潜舰提供的警戒扇面角度，即相邻两艘反潜舰方位间隔角度。

在航渡中，反潜舰阵位配置相对固定，可将反潜直升机配置在盲区或采取曲折机动来弥补。

3 编队综合作战区状态下反潜舰阵位配置

航母编队在综合作战区期间，反潜舰的任务是首先对综合作战区进行反潜清扫，然后转移到综合作战区之外进行巡逻警戒，保证编队在综合作战区的安全。

3.1 基于反潜清扫配置方法

在航母编队进入综合作战区前，反潜舰组成横队对综合作战区进行反潜清扫。如果综合作战区较小，可采取双舰横队进行搜索；如果综合作战区较大，可以双舰横队为一个战术编组，采取多组双舰横队进行搜索。如图 5 所示，采用多组双舰横队进行搜索时，要求相邻 2 个战术编组邻舰之间的间隔距离 (DD') 为 $1.4 \sim 1.6D_{SNTCJL}$ 。

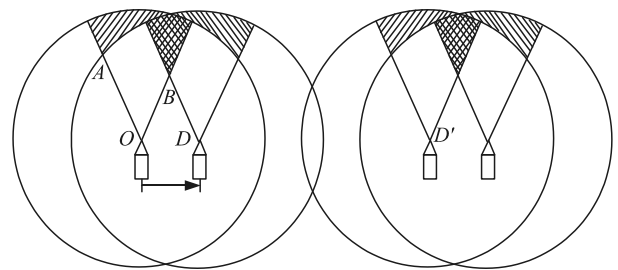


图 5 多组双舰横队配置

3.2 基于巡逻警戒配置方法

反潜舰在综合作战区外进行巡逻警戒，目的是为了阻止敌潜艇威胁综合作战区。

定义：为了保证反潜舰在敌潜艇占领攻击阵位前，对其及时发现、识别并实施攻击，要求反潜舰发现敌潜艇的界线称为防潜警戒线^[3]。防潜警戒线与综合作战区边界的距离必须满足：

$$D_{JJL} > v_{QT} \times t_{FQGC} + D_{QTGJ} \quad (18)$$

巡逻线配置如图 6 所示。其中， O 点为综合作战区中心，反潜舰在巡逻线 MN 上航行，反潜舰在巡逻线端点 M 处探测圆与相邻反潜舰在巡逻线端点 N 处探测圆相交于 DD' 。从最不利情况考虑：当反潜舰离开 N 点时，敌潜艇开始从 B' 点沿捷径 $B'B$ 突破，当反潜舰在巡逻线上往返航行再次回到 N 点时，敌潜艇处在 B 点，依然在反潜舰探测范围内。要求线段 AB 上的任意一点与综合作战区外圆的距离大于警戒距离，线段 AB 长度是单艘反潜舰提供

的有效遮拦宽度。为保证巡逻线的严密，要求 DD' 的长度不小于 BB' 的长度。则 DOE 是单艘反潜舰提供的有效警戒扇面。存在关系式

$$\frac{2D_{MN}}{v_{XL}} = \frac{D_{BB'}}{v_{QT}}; \quad (19)$$

$$\varphi = 2 \times (\alpha + \beta); \quad (20)$$

$$\alpha = \text{atg} \left(\frac{D_{MN}}{2(R_{ZZQ} + D_{JJL} + 0.5D_{BB'})} \right); \quad (21)$$

$$\beta = a \sin \left(\frac{\sqrt{D_{SNTCJL}^2 - (0.5D_{DD'})^2}}{\sqrt{(0.5D_{MN})^2 + (R_{ZZQ} + D_{JJL} + 0.5D_{BB'})^2}} \right). \quad (22)$$

其中： φ 为单艘反潜舰提供的有效警戒扇面角度； v_{XL} 为反潜舰巡逻航速； R_{ZZQ} 为综合作战区半径。

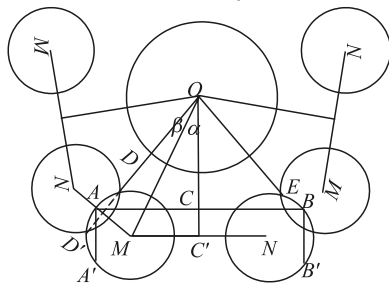


图 6 巡逻线配置

4 实例仿真分析

首先设定基本作战参数：航母编队内层警戒兵力防御作战纵深为 20 km，内层警戒兵力与航母之间的距离为 10 km，综合作战区半径为 20 km，编队航速为 18 kn，巡逻航速为 18 kn，反潜舰排水量为 7 000 t；拖曳线列阵声纳长度为 1 500 m，对敌潜艇的探测距离为 40 km，舰首盲区角度为 40°，工作频率为 1 kHz，海况等级为 3 级；敌潜艇突破航速为 6 kn，鱼雷最大有效射程为 15 km，航母编队防潜作战持续时间为 30 min。

根据式(1)–(6)进行计算仿真，为不影响拖曳线列阵声纳使用，相邻反潜舰之间的最小间距与编队航速关系如图 7 所示。

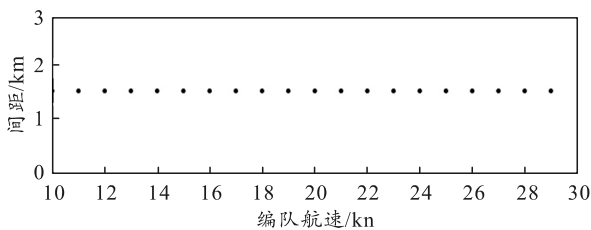


图 7 反潜舰间距随航速变化

根据式(7)和(8)进行计算，反潜舰在一个航向上

最长航行时间为 33 min。

根据式(9)–(12)进行计算，为弥补探测盲区反潜舰间距范围为(10.26 km, 32.3 km)。

根据式(13)进行仿真计算，双舰横队有效搜索宽度随间距变化如图 8 所示。从图可以看出，有效搜索宽度随间距增大而逐渐减小。

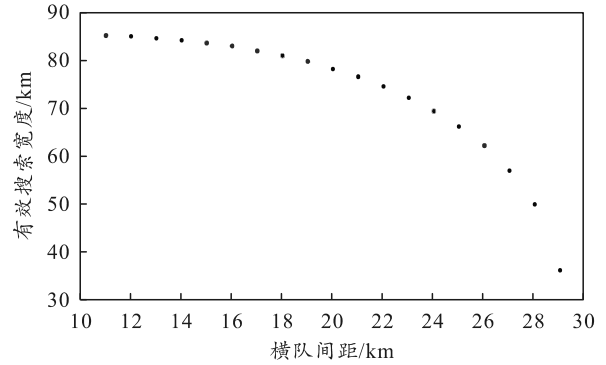


图 8 有效搜索宽度随间距变化

根据式(14)进行计算，航渡状态下反潜舰相对于航母的前出距离 $D_{QC} > 30$ km；根据式(15)进行计算，航渡状态下反潜舰为编队提供的警戒纵深必须满足 $D_{JZS} > 37.2$ km；根据式(16)和(17)，航渡状态下反潜舰相对于航母的前出距离为 30, 32, …, 48, 50 km，进行仿真计算，反潜舰为编队提供的警戒纵深与警戒扇面角度变化关系如图 9 所示。从图 9 可以看出，反潜舰前出距离越小，提供的防潜警戒纵深变化范围相对越小，而警戒扇面角度变化范围相对越大；反之，反潜舰前出距离越大，提供的防潜警戒纵深变化范围相对越大，而防潜警戒扇面角度变化范围相对越小。

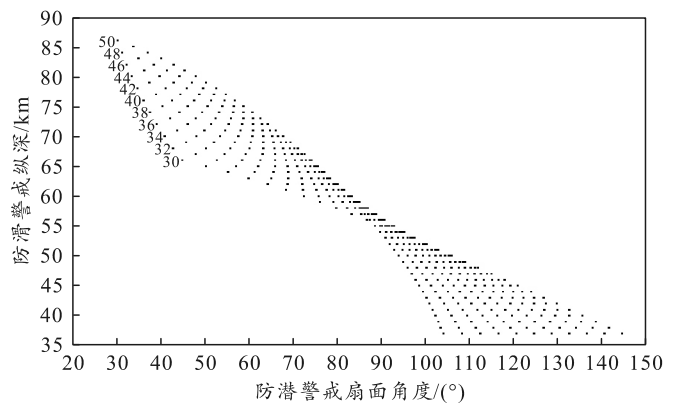


图 9 警戒纵深与警戒扇面角度变化关系

根据式(18)进行计算，防潜警戒线与综合作战区边界的距离必须满足 $D_{JJL} > 21$ km。单艘反潜舰提供的有效警戒扇面角度随巡逻线长度变化关系如图 10 所示。从图可以看出，有效警戒扇面角度随巡逻线长度增大而逐渐增大。

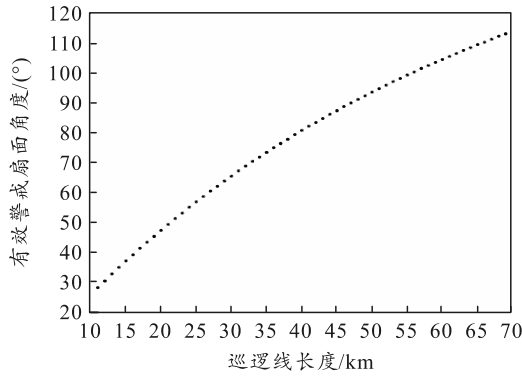


图 10 有效警戒扇面角度随巡逻线长度变化

5 结束语

航渡状态下，反潜舰阵位配置实质上是在前出距离、警戒纵深和警戒扇面角度等影响因素之间进行平衡。综合作战区状态下，反潜舰在执行反潜清扫任务时，阵位配置实质上是在有效搜索宽度与双舰横队间距之间进行平衡；反潜舰在执行巡逻警戒任务时，反潜舰阵位配置实质上是在巡逻线长度与警戒扇面角度之间进行平衡。为消除拖曳线列阵声纳盲区影响，可采取配置反潜直升机、曲折机动和

调整间距等措施。

参考文献：

[1] 吴福初, 徐辉, 王向阳, 等. 近程反潜警戒舰艇最小前出距离计算模型的建立[J]. 火力与指挥控制, 2014, 39(3): 120-122.

[2] 赵小龙, 吴晓锋. 航母编队反潜声纳舰阵位确定方法研究[J]. 指挥控制与仿真, 2007, 29(3): 45-48.

[3] 贺扬清, 沈治河. 大型水面舰艇编队航渡中直接反潜警戒舰阵位仿真研究[J]. 指挥控制与仿真, 2010, 32(4): 38-41.

[4] 丁红岩, 董晓明. 水面舰艇编队使用拖曳线列阵声纳对潜搜索问题研究[J]. 四川兵工学报, 2013, 32(8): 6-8.

[5] 郭传福, 王洪胜, 曲延明. 驱护舰编队使用拖曳声纳反潜的队形配置[J]. 舰船电子工程, 2015, 35(2): 46-48.

[6] WAITE A D. 实用声纳工程[M]. 王德石译. 北京: 电子工业出版社, 2004: 155-158.

[7] 孙涛, 郭岩. 拖曳声纳搜潜使用方法研究[J]. 舰船电子工程, 2009, 29(4): 152-154.

[8] 赵锐, 汪志强, 王海. 编队中层区域防潜配置研究[J]. 舰船电子工程, 2015, 35(4): 33-35.

(上接第 57 页)

[2] 白晓瑞, 沈如松, 姜甫川. 先导式减压阀的静动态特性仿真分析[J]. 机床与液压, 2014, 42(16): 97-100.

[3] 张宜波. 水压先导式无静差减压阀的设计与研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2013: 75-76.

[4] 贾一平, 黄运华. 基于 AMESim 的气动减压阀建模与仿真分析[J]. 机械工程与自动化, 2018, 47(2): 60-62.

[5] 顾存行, 毛虎平, 王强, 等. 基于 AMESim 的直动式减压阀动态特性仿真分析[J]. 机械设计与制造, 2017, 55(5): 234-237.

[6] 方亮, 刘林, 陶洋. 基于统计数据的高速风洞阀门系统可靠性研究[J]. 兵工自动化, 2018, 37(1): 15-18.

[7] 董建文, 马文琦, 关广丰. 基于 AMESim 的减压阀建模

仿真及动态特性分析[J]. 液压气动与密封, 2015, 35(11): 46-49.

[8] 吴榕, 唐雯, 林文祥. 减压阀动态性能仿真分析与测试[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2011, 50(5): 847-851.

[9] 祝新军, 李明, 李杨. 基于 AMESim 的先导式精密减压阀的建模与仿真研究[J]. 制造业自动化, 2018, 40(5): 82-84.

[10] 吴珊, 毛旭耀, 廖义德, 等. 先导式海水液压减压阀静态性能分析[J]. 武汉理工大学学报, 2011, 33(1): 134-138.

[11] 付永领, 齐海涛. LMS Imagine. Lab AMESim 系统建模和仿真参考手册[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011: 18-20.