

# 滚装船横贯浸水装置的应用研究

郭冬雪, 赵 萌

(招商局金陵船舶(南京)有限公司, 江苏 南京 210000)

**摘要:** 滚装船重心较高, 不对称浸水对破舱稳性影响较大。在不改变原有分舱的基础上为提高其稳性, 多采用增加横贯浸水装置的方式, 改善不对称浸水对稳性的削弱。文章基于MSC362(92)的规范要求, 结合项目经验, 讨论了结构管计算公式的选取方法, 提出一种横贯浸水的简化算法和判断空气管头影响的方法, 为横贯浸水计算提供参考。

**关键词:** 货滚船; 客滚船; 横贯浸水; 结构连通管; 透气管

**中图分类号:** U662

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-1064(2022)03-046-03

**DOI:** 10.12310/j.issn.1674-1064.2022.03.016

横贯浸水是指将船舶的一个未破损处浸水, 以减少最终平衡状态下的横倾。为避免破损时不对称浸水对稳性的削弱, 常在左右对称舱室间设置连通管, 在一侧发生破损时, 能通过横贯浸水减少平衡时的横倾。如果横贯浸水平衡时间小于60 s, 则认为是瞬时浸水, 这两个舱可视为一个舱, 无须进一步计算。如平衡时间大于60 s, 则浸水中间阶段的生存概率应在概率破舱中考虑<sup>[1]</sup>。为减少中间状态对概率破舱稳性的削弱, 一般尽可能将横贯浸水过程控制在60 s内。文章结合笔者的项目经验, 在此讨论横贯浸水计算中的几处关键点, 以为后续计算提供参考。

## 1 应用概况

### 1.1 滚装货船

国内设计的货船鲜有使用横贯浸水装置, 但是在国外设计的船舶中, 此装置应用较多并集中在滚装货船上。滚装货船多布置多层全通货舱甲板, 以装载汽车等可以借助轮子装卸货物。其具有较高的型深, 露天甲板上装载多层集装箱或车辆, 满载后重心偏高, 不对称浸水对稳性的影响比普通货船更大。

对比一型分舱长度229.75 m的滚装货船, 典型剖面如图1所示, 要求分舱指数为0.67195, 实际达到的分舱指数为0.59214。不改变其他设置, 仅通过增加横贯浸水装置, 该船最终达到的分舱指数为0.67291, 其改善效果非常明显。

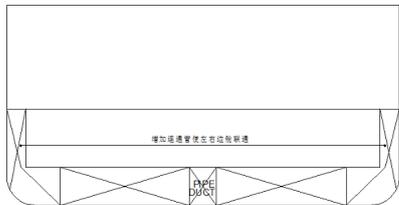


图1 货滚船典型横剖面

基于已有的布置设计, 破舱稳性略有不足, 方案很多, 大则可以修改分舱, 但是影响较大; 小则可以通过提高稳性高度(GM), 但是会限制船东的运营操作。如果是因为不对

称浸水影响稳性, 增加横贯浸水连通装置是一个行之有效的方案。

### 1.2 客滚船

因为客船破舱稳性要求更高, 破损平衡后允许的最大横倾角度明显降低, 对分舱指数影响较大, 因此横贯浸水装置在客船上应用比较普遍, 连通方式有两种: 管子和结构管道。结构管道连通的方式更为普遍, 文章都是基于结构连通阐述的; 在设计初期, 左右边舱多采用U形舱布置, 如图2所示。

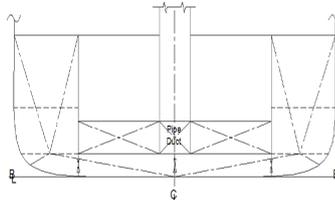


图2 某客滚船典型横剖面

这种布置可直接将左右边舱认定为一个舱, 无须额外计算横贯浸水。但是, 由于布置限制, U形舱底部往往还会设置其他舱室, 如图3所示。

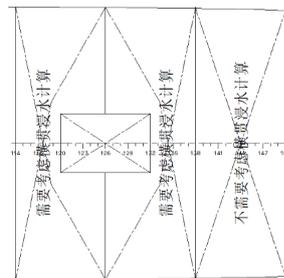


图3 某客滚船典型横剖面

这种布置将阻断左右舱水的流通, 因此, 要考虑横贯浸水计算。结构开孔布置时, 在强度允许范围内应尽量开大, 使横贯浸水的时间控制在60 s以内。但是, 受空间等因素限制, 有些舱室纵桁上开孔面积无法满足60 s瞬时浸水的要求, 这种布置也是可以接受的, 只是在概率破舱计算中要考虑中间浸水阶段的生存概率。

## 2 横贯浸水连通面积的要求

目前，横贯浸水计算主要依赖于NAPA软件，计算耗时长。文章基于已有的破舱计算结果，根据横贯浸水计算公式，归纳出简化算法，可在设计初期短时间内判断横贯浸水的平衡时间，确定横贯浸水装置的参数。

### 2.1 横贯浸水摩擦系数的选取

横贯浸水装置一般分为管子连通和结构管连通，因管子连通算法没有争议，文章在此主要阐述结构管连通的计算方法。

决议<sup>[2]</sup>中，结构管连通装置有两种摩擦系数计算公式，分别适用于带有一个减轻孔的结构管（下文简称“单孔”，如图4所示），以及带有两个/多个减轻孔的结构管（下文简称“双孔”，如图5所示），计算公式具体如下：

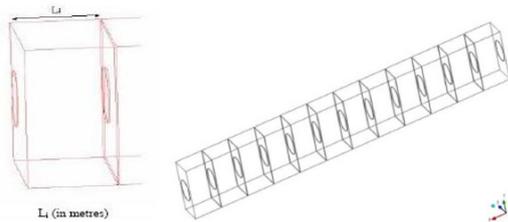


图4 带有一个减轻孔的结构管

单孔公式：

$$k=0.6718 \times L_1^{0.119} \quad (0 < L_1 < 12)$$

$$k=0.903 \quad (12 \leq L_1)$$

双孔公式：

$$k=1.7968 \times L_1^{-0.026} \quad (0 < L_1 < 12)$$

$$k=1.684 \quad (12 \leq L_1)$$

式中：

k：相邻桁材间的摩擦系数。

L<sub>1</sub>：单个结构管的长度，单位：m。

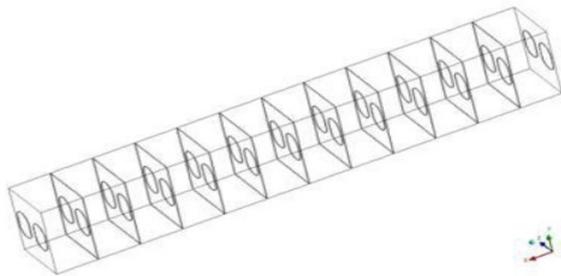


图5 带有两个/多个减轻孔的结构管

假设船宽30 m，横贯浸水结构管两端与舷侧距船中B/5的曲线上，即结构管总长度为18 m，纵桁等跨距布置，分别计算单孔和双孔系列结构管的摩擦系数，结果如表1所示。由计算结果可知：若保持横贯浸水时间一致，双孔结构管的连通面积更大；横贯浸水结构管中纵桁越多，摩擦系数越大，同浸水时间下的开孔面积越大；横贯浸水结构管中纵桁越少，同浸水时间下单、双孔的开孔面积比越小。

表1 单双孔结构管开孔面积对比表

纵桁数	纵桁跨距 (m)	单孔		双孔		同浸水时间下双孔与单孔开孔面积比
		Σ ki	F	Σ ki	F	
7	3.0	4.594	0.423	10.477	0.295	1.432
6	3.6	3.912	0.451	8.690	0.321	1.405
5	4.5	3.214	0.487	6.912	0.356	1.370
4	6.0	2.494	0.535	5.145	0.403	1.326
3	9.0	1.745	0.604	3.394	0.477	1.265

为使横贯浸水时间少于60 s，纵桁上的开孔往往较大，常见的横贯浸水开孔如图6所示。在我厂某客滚船项目上，设计院起初认为此类开孔较大，且有横框架结构，每道开孔可视为相互独立，应采用单孔公式计算摩擦系数。但是，笔者经与船级社多轮讨论后确认，这种布局应采用双孔公式计算。

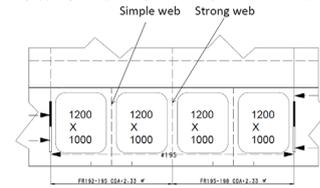


图6 结构管典型横贯浸水开孔图

### 2.2 横贯浸水平衡时间简化算法

概率破舱计算工况较多，需要较多的计算资源。为避免由于局部开孔修改而耗时重复计算，文章根据计算公式提出一种保守的简化算法，以提高计算效率。横贯浸水平衡时间的计算公式如下：

$$T_f = \frac{2W_f}{S * F} * \frac{1}{\sqrt{2gH_0}} * \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{h_f}{H_0}}} = \frac{2W_f}{S * F} * \frac{1}{\sqrt{2gH_0 + \sqrt{2gh_f}}}$$

式中：T<sub>f</sub>：平衡时间（s）；

W<sub>f</sub>：从开始到最终平衡的浸水量（m<sup>3</sup>）；

S：纵桁上横贯浸水开孔面积（m<sup>2</sup>）；

F：速度折减因子；

g：重力加速度9.81 m/s<sup>2</sup>；

H<sub>0</sub>：横贯浸水前的水压头（m）；

h<sub>f</sub>：横贯浸水后的水压头（m）；

基于上述公式可看出，当结构设计确定时，S、F参数也随之确定；g为常数；h<sub>f</sub>取0 m时，结果最为保守。

由此看来，W<sub>f</sub>和H<sub>0</sub>如何选取，成为本计算的关键点。对于W<sub>f</sub>，笔者拟取概率破舱计算中最终平衡水线以下的体积为浸水体积，W<sub>f</sub>为可能浸水的最大体积；H<sub>0</sub>取初始水线（DL，DP，DS）距横贯浸水开孔的中心点，此值也为H<sub>0</sub>可能达到的最大值；W<sub>f</sub>和H<sub>0</sub>的取值示意如图7所示。采用以上简化计算得到的平衡时间较为保守，可作为直接计算的替代方案，供读者参考。

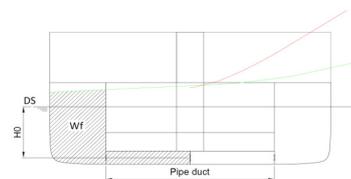


图7 连通舱横剖面

### 3 透气管面积的要求

按照规范要求<sup>[2]</sup>，总透气管横截面积大于等于横贯浸水横截面积的10%时，在横贯浸水计算中，空气背压对浸水的阻滞影响可以忽略。但由于不同的横贯浸水装置的摩擦系数是不一样的，为达到相同的平衡时间，横贯浸水装置摩擦系数越大，开孔面积也越大。因此，仅通过透气管的横截面积与横贯浸水装置的开孔面积比例判定空气背压影响，明显是不合理的。

对于可以判定为瞬时浸水的舱室，笔者认为该舱室透气管的横截面积应大于单孔计算的横贯浸水装置连通面积的10%。因为浸水量、压头及平衡时间一定，空气管头的流通效率相同，空气管横截面积满足单孔结构管，必然满足双孔结构管。如果一舱设置多根透气管，总横截面积通过累加获得。经讨论，上述观点得到船检认可。

此外，DNV-GL指南<sup>[3]</sup>中还有另一种方法判断是否需要考虑透气管对浸水阻滞的影响，具体如下：

当 $\sum S_{air,j} * F_{air,j} \geq 0.1 * \sum S_{water,i} * F_{water,i}$ 时，透气管对浸水的阻滞不需要考虑。式中：

S：开孔面积，air和water分别对应空气管头和横贯浸水装置。

F：速度折减因子，air和water分别对应空气管头和横贯浸水装置。

i, j：浸水装置和空气管序号。

不同的空气背压影响判断方法，将影响透气管的选型和布置，直接影响到成本和布置的难度。笔者将通过以下算例，对比不同判断方法对透气管横截面积的影响，供设计者参考。假设船宽30 m，双层底高1.5 m，连通装置长18 m，对于管子连通，采用DN1000管子并列布置的方式；对于结构孔连通，连通装置内假设有5道等间距纵桁，透气采用DN400的管子，空气管长2.5 m，45° 径向弯头2个，空气管头摩擦系数取默认值6。假设平衡时间相同，连通管上的开孔面积为1，不同连通装置对应的透气管横截面积对比如表2所示。

表2 判断方法对透气管横截面积的影响

	$\sum ki$	F	S	无背压影响的最小透气管横截面积	
连通管	2.147	0.564	1.000	按连通装置开孔面积判断	0.100
单孔结构管	3.214	0.487	1.157		0.116
双孔结构管	6.912	0.356	1.586		0.159
透气管	7.123	0.351	—	按0.1F*S判断	0.161

由表2的计算结果可见，按横截面积比选取透气管横截面积时，应尽可能降低连通装置的摩擦系数，以减小连通开口面积。对于结构管，在空间允许的情况下，可通过减小最外侧纵桁开孔面积，加大内侧纵桁开孔面积，得到更小的摩擦

系数。在连通装置摩擦系数大于透气管摩擦系数时，可向船检建议按 $0.1F*S$ 选取透气管横截面积，能减小透气管横截面积的要求。笔者在此提醒广大设计师，在设计初期一定要与船检沟通判断方法，以免后期修改延误工期、造成损失。

### 4 横贯浸水装置对滚装船破舱稳性的影响

#### 4.1 货滚船

货滚船通常要满足SOLAS概率破舱和双层底破损的要求，横贯浸水装置主要影响概率破舱的要求。通过改变船舶破损后的横倾，能够提高各破损工况的生存概率；设置横贯浸水装置，增加了船舶破损工况的中间阶段，导致计算量大幅增加，但是有助于提高分舱指标，并且效果显著。

#### 4.2 客滚船

客滚船要满足SOLAS的概率破舱，舷侧破损，双层底破损要求。此外，航行于波罗的海的客滚船，还要满足斯德哥尔摩协议。同货船一样设置横贯浸水装置，可以改善破舱稳性要求。此外，因客船本身破舱衡准要求高，横贯浸水装置的设计更为必要。值得注意的是，计算斯德哥尔摩协议要求时，不需要考虑横贯浸水中间阶段，即计算时直接定义两舱连通即可。斯德哥尔摩协议对于船舶横倾更为敏感，若取消横贯浸水装置，此协议要求将很难满足。

### 5 结语

文章针对滚装船结合项目经验，阐述了横贯浸水装置设置的必要性，讨论了不同形式横贯浸水结构管的摩擦系数计算公式，对横贯浸水计算结果的影响，提出了一种横贯浸水平衡时间的简化计算方法，对比了两种空气管头对横贯浸水阻滞的判断方法，希望能为读者在结构横贯开孔设计、横贯浸水平衡时间计算及空气管头选型和布置等方面提供帮助。

### 参考文献

- [1] SOLAS,国际海上人命安全公约[S].国际海事组织(IMO)海上安全委员会,2009.
- [2] Resolution MSC.362(92).Revised Recommendation on a standard Method for Evaluating Cross-Flooding Arrangements[S].国际海事组织(IMO)海上安全委员会,2013.
- [3] DNV GL.Draft of DNV GL recommended practice for application of IMO resolution MSC.362(92)[EB/OL].DNV GL规范,2019.