



见解报告

第13号 // 公元2025年2月

了解货物通风的必要指南

许多货损理赔案皆肇因于湿损，也就是形成冷凝水（亦称为「出汗」）而导致货物损坏。

适度通风有助于排除过多的湿气，并降低「出汗」形成的可能性，从而防止货物变质。

有些货物也需要通风，以消散货物所释放的有害气体，例如二氧化碳、一氧化碳和甲烷。



本期的合作伙伴

Triglav Maritime 针对风险管理、损失防阻，以及海事审查和保证事宜，为客户提供量身打造的全方位咨询服务。

创办人 Ostrowicki 船长拥有 34 年的船舶指挥与岸上相关事务之经验，驾驶过散装货船、杂货船及货柜船，并曾从事岸上相关事务，包括以营运经理、海事审查主管和损失防阻经理的身份，负责干货船、液体货船与气体运输船的船舶运作和海事审查。

Ostrowicki 船长提供了风险管理和安全管理流程方面的专业建议，并负责海事事故、索赔调查、管理审查、ISM 与 TMSA 稽核，同时透过数据分析进行深入风险评估。此外，他亦撰写了多本着作。

固体散装货物适用于《国际海事固体散装货物章程》(以下称「IMSBC章程」)的要求。

除了具体规范货物细则外, IMSBC章程第3节关于通风的一般要求还与下列有关:

- 应多加留意耗氧及释放有毒气体的货物
- 防止在货舱内形成爆炸性或易燃气体
- 防止在可能自行发热的货物内部进行通风(表面通风除外)
- 保护人员免于受到有害气体、蒸气或粉尘的伤害

货轮配置自然或机械通风系统。船长和船员必须对通风系统的设计和操作有彻底的了解, 才能正确地使用, 以使其发挥最大的效能。

自然通风系统是在没有机械动力下循环空气, 这是透过相对风力所产生的压力差, 或是藉由环境空气与货舱内部空气的热差而实现的。

典型的**机械通风系统**是采开放式回路, 由供应风扇将环境空气吸入货舱, 接着通过货物上方的顶部空间后, 从排气口排出货舱。

此外, 还有其他设计和配置可排除货舱内部的过多湿气。这类配置可能包括**除湿机**的使用(固定设备或便携设备)。通常在无法采用开放通风回路或是通风不足的情况下, 才会使用除湿机来防止货物受损, 例如, 船舶在冬季装载钢材货物, 驶往温暖的区域卸货。

湿度相关的主要用语

水蒸气是水的气态, 通常在空气中无法以肉眼看到。

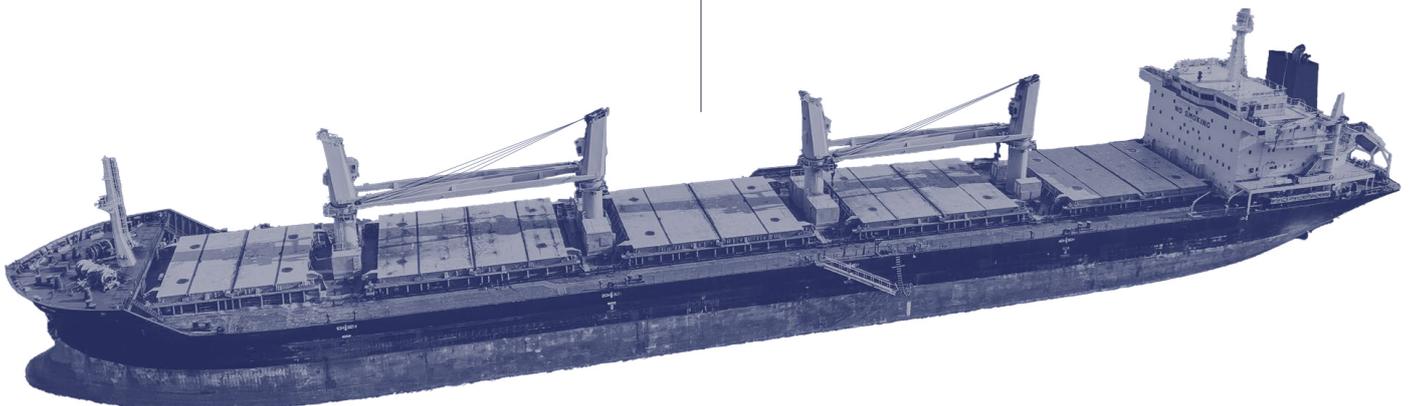
相对湿度(RH)以百分比(%)为表示单位, 系指空气中水蒸气含量与空气所能容纳之最大湿度的比值。当相对湿度为100%时, 空气中的水蒸气即达到**饱和**。

相较于冷空气, 暖空气可容纳更多的水蒸气。如果空气冷却下来, 其相对湿度最终会增加至100%, 并在周围表面或微粒上形成**冷凝水**(即「露水」)。**露点(DP)**是空气达到饱和时的温度。

■ 空气所含的湿气愈多, 露点就愈高。

举例来说, 在20°C的温度下, 相对湿度为90%的潮湿空气, 会在18.3°C以下的表面凝结(因此, 只要表面温度稍微冷一点就会发生凝结, 如同浴室里蒸气弥漫的镜子)。然而, 相对湿度为60%的干燥空气, 只会在温度为12.0°C以下的表面凝结。

露点是判断货舱内部是否有形成冷凝水之风险的关键指标。



测量露点(DP)

湿度计可以用来测量相对湿度和露点。干湿计是一种由两个温度计所构成的湿度计, 其中一个温度计的感温球包裹一层湿布以维持湿度。

湿球温度计会因为蒸发而显示较低的温度。代入两个温度计的温度读数, 便可从露点换算表取得露点值。

最常见的类型是手持式手摇(或旋转)干湿计。旋转干湿计的时候, 温度计周围会形成气流, 湿布所含的湿气会因此蒸发, 此时便可以读取正确的湿球读数。



图1: 旋转干湿计
数据源: Zeal Ltd

虽然手摇干湿计经济实惠又方便使用, 但仍有几个缺点:

- 手摇干湿计需要手动旋转, 因此必须直接进入货舱才能进行测量。若将干湿计降低至货舱的高度, 则无法获得准确的测量结果, 而且通常不太可能进入货舱。

- 温度计必须经过校准

- 读取任一感温球的温度时, 尽管仅是微小的误差都可能造成露点计算的极大错误。

通风干湿计可以解决其中的一些缺点, 其设计采用机械风扇(一般为弹簧式)产生气流。

通风干湿计不需要直接手动操作, 也可以放低至货舱内。这种干湿计通常比手摇式更准确, 价格也更昂贵, 一旦损坏也不易维修。



图2: 通风干湿计
数据源: Novalynx Corp

电子式湿度计具有显而易见的优点, 并有多重配置可供选择, 从独立手持式装置到有线探针, 还有可放在货舱内的远程传感器。电子式湿度计还可以记录测量结果与时间戳。



图3: 电子式湿度计
数据源: Senseca Germany GmbH

与任何装置一样, 电子式湿度计的精确度取决于传感器的质量和校正状况。质量优良的电子式湿度计通常比手摇干湿计更准确, 同时使用起来也更安全方便。

如何选择合适的湿度计, 取决于船舶与货物的作业与安全需求, 例如是否能够进入货舱。

露点和相对湿度的测量值将记载于通风日志, 这些纪录有可能成为日后货物索赔之抗辩的重要证据。因此, 这些仪器有必要进行验证、校正及适当维护, 同时妥善保存其纪录。用户在进行测量和纪录之前, 应先接受适当的训练。



货物出汗与船舶出汗

如果周围表面或货物的温度低于货舱内部空气的露点，就会出现冷凝水。

货物出汗系指冷凝水直接形成于货物上。如果湿度较高的暖空气进入装载低温货物的货舱，就可能产生冷凝水。

这种情况大多符合「从冷到热—不通风」的经验法则。若以露点高于货物温度的空气对低温货物进行通风，有可能导致货物出汗，进而造成货物损坏。

船舶出汗是指在货物周围的表面上形成的冷凝水，例如船上的钢结构。当这些表面的温度低于货舱内部空气的温度时，就会出现冷凝现象。通常情况下，在温暖气候下装船的货物，若运到低温气候的地区卸货时，就会出现船舶出汗的现象。由于湿气和热量会从货物传到舱顶空间的空气，因此会在任何邻近较低温的钢结构上出现冷凝现象。在这种情况下，货物可能会因钢结构滴下的水而受到损坏。

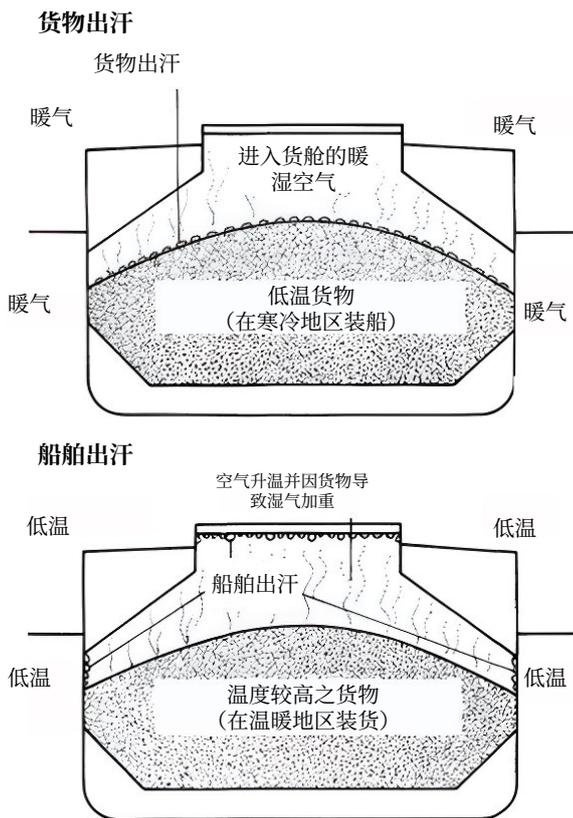


图4： 货物出汗和船舶出汗
 数据来源： J. ISBESTER船长：《散装货轮操作实务》(BULK CARRIER PRACTICE)，公元1993年

谷物等本身具含水量的货物，会释放出相对大量的湿气。举例来说，当靠近货物表面的500吨谷物含水量从14%降低至13.5%时，会释放出2.5吨的水蒸气。如此大量的湿气在货物上方的顶部空间循环，可能会不断地形成局部冷凝现象，并导致货物严重损害。

应采取适当的通风措施以防范船舶出汗的情况，即以低湿度的环境空气(露点低于货舱内部露点)替换货物上方的大量潮湿温暖空气。由于货物会持续散发湿气，应持续进行通风。此处的相应经验法则是「从热到冷—积极通风」。

货物损坏与通风

根据货物的具体特性，造成货物损坏的可能因素众多：

生物降解

农产品货物含有霉菌孢子、酵母和细菌，只有在货物温度和含水量(MC)足够低的情况下，这些霉菌孢子、酵母和细菌才会保持不活跃。否则，当货物中的微生物活动达到足够的强度时，将导致货物因霉菌生长、腐败和/或发酵而受损。正确的通风可以降低货物的含水量，从而预防或减缓这些过程。然而，需要注意的是，谷物和其他散装货物的通风通常无法深入渗透至货物内部，而主要仅限于货物表面。

请一并参照《Britannia损害防阻见解报告》有关[谷物和油籽货物运输](#)的内容。

自热

货物内的生物和化学反应，结合谷物、油籽和煤炭等货物的绝缘特性，可能导致自持续反应而产生热量，从而造成严重货损，甚至引发火灾风险。这些过程都需要氧气，所以当自热现象发生时，持续通风可能使情况恶化。

请一并参阅Britannia有关[农产品货物之热损及其预防措施](#)以及[煤炭货物运输指南](#)的专文。

锈损

通常影响钢制品货物的情况包括货物本身产生冷凝水(出汗现象)或货物暴露于船体冷凝水(例如水滴滴落在货物上)。对于此类货物,通风的目的在于防止冷凝水的形成,以避免生锈损害。

请一并参照《Britannia损害防阻见解报告》有关**钢材处理和运送**的内容。

染色或褪色

在通风不良的情况下,染色通常是由于冷凝水将铁锈颗粒或污垢冲刷至货物内部所致。货物染色可能造成货物遭到拒收或引发损害索赔。

结块与黏结

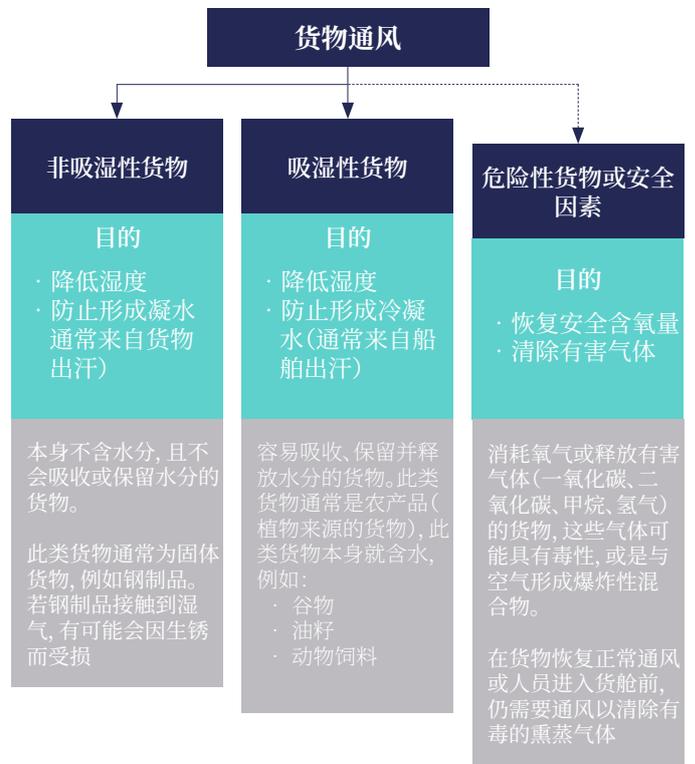
有些吸湿性货物(例如:肥料)是采颗粒形式装运。若货物的含水量高或受潮,可能导致颗粒黏结并形成结块。这种情况可能在卸货时造成作业问题,并导致损害索赔,因为无法自由流动的货物可能不适用于预期用途。

包装或装载材料损坏

除了外观上的损害之外,受到冷凝影响的包装可能会失去其保护性和机械特性,这也会导致货物倒塌和进一步的损坏。

吸湿性是决定通风需求和因应对策的主要货物特性(从邻近空气获取或传递湿气的能力,后续将详细解释)。

由于货物的危险性或考虑安全因素,通风可能有其必要:



对于除谷物以外的固体散装货物,应始终密切关注货物的IMSBC章程细则,该细则是识别危险和确保安全运输的主要管理参考法规。**IMSBC章程**细则可能包含有关通风的非常具体要求(例如:油粕),通风不良可能导致自热或其他危害。

除了有关货物安全运输的法规要求外,亦应仔细检视航程指令和/或租佣船契约提出的通风指示。

如果这些指示和法规要求,或是船舶的技术能力和程序之间有任何抵触,应提前澄清和处理。



通风的时间点

在决定是否通风之前, 应考虑下列各项:

- 货物特性和安全运送的要求
- 环境空气的温度、露点和相对湿度
- 货物的温度与含水量, 和/或
- 货舱内部空气的温度、露点和相对湿度(请参照下列有关通风规则的进一步说明)
- 海水温度, 特别是在开放框架式货舱内部, 因为此处很容易形成船舶出汗
- 压舱水的温度(若满载压舱水的舱体与货物相邻时)
- 通风系统接触到雨水、潮汐和海浪

由于通风系统会直接影响货物的安全运送, 因此安全管理系统(SMS)应提供船员万无一失的指南。虽然安全管理系统可能重申一般的业界惯例, 但该系统和操作程序也应反映出公司在考虑其贸易和营运模式时的要求(例如: 冬季地区的钢材贸易)。

通风规则

有两项基本通风规则可协助船员判断环境空气是否适合安全的货物通风:

露点规则

三度规则

开始或停止通风的决定, 应详实记载在通风日志中。

露点规则

「如果外部空气的露点低于货舱内部的空气, 则进行通风。」

露点规则直接指的是在决定通风时的测量结果: 如果环境空气的露点较低, 其湿度会低于货舱内的空气。这个规则易懂, 但应用起来可能较为困难。

首先, 在因熏蒸、安全考虑、或封闭空间进入规范而限制进入的空间中, 需要进行准确的露点测量。当货舱之货物装满至舱口缘围的高度时, 想在货舱内进行露点测量在实务上可能无法执行, 这是因为货物与舱盖之间的顶部空间遭到缘围封住。在这种情况下, 货舱末端(可透过人孔进入)的气穴与货物上方的主要顶部空间并不连通, 因此无法提供具有代表性的露点测量值。

舱口缘围遭到货物封住

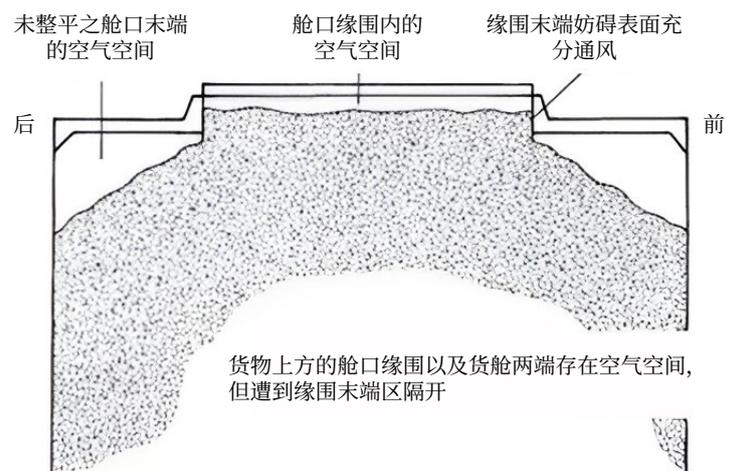


图5 舱口缘围遭到货物封住
数据源 J. ISBESTER船长:《散装货轮操作实务》(BULK CARRIER PRACTICE) 公元1993年

其次, 可能缺乏足够的人员进行所需频率的测量(建议至少每四小时或每次当值测量)——在每个货舱内进行测量(良好的实务做法是建议在各测量点进行两次测量, 藉此验证读数)。此外, 应停止通风一段时间, 以免测量作业受到外部空气所影响。

上述提到的困难通常也是通风日志有失精准或出现明显错误的原因, 特别是在货物索赔时回溯审查时发现的。

三度规则

「如果外部空气的温度比货物的温度低了至少3°C，应进行通风」。

三度规则适用于吸湿性货物，且无需反复进入货舱或停止通风以进行测量的情况。由于货物质量大且具有热惯性，因此假设货物温度在航行过程中维持不变。环境空气温度可以频繁、轻松且准确地测量。

然而，了解三度规则的要求和限制是很重要的：

此规则适用于吸湿性货物，主要是谷物等农产品货物为主，且其假设不完全适用于非吸湿性货物。

此规则要求在装船时，对货物进行可靠的温度测量。为此，可能需要指派一名公证人，因为船舶可能没有足够的进出通道或缺乏适当的设备。不同批次的货物可能具有不同的温度，因此需要进行精确的取样。

如果货物的温度在航行期间下降，例如使用极冷空气进行密集通风，或在寒冷气候中延宕航程，则原先对货物的规则假设可能失效。再次测量货物温度可能无法执行或不安全。

三度规则说明

农产品货物在装船前会先烘干至可进行运送的含水量，以减缓生物过程并防止变质。一旦装船后，货物将影响货舱内所接触的空气，直至达到平衡。一般而言，舱内空气的温度会接近货物温度，且相对湿度(RH)约为70%。当空气的相对湿度为70%时，其露点将比干球(空气)温度低约6°C。海平面上的外部空气相对湿度通常约为80%。在大多数的温度下，当相对湿度为80%时，露点至少比干球(空气)温度低3°C¹。

综合上述近似值，这意味着如果环境空气的温度比货物温度至少低3°C，则环境空气的露点将低于货舱内的露点。

三度规则的实际验证

接着使用相对湿度表和平衡相对湿度的规则假设，可以针对特定温度逐步验证该规则三度规则：

货舱内部的空气在相对湿度为20°C(同于货物)及70%时的露点为14.36°C

外部空气温度为17°C(低于货物温度3°C)，相对湿度为80%时，其露点温度为13.52°C，低于货舱内的露点温度。因此允许通风

货物在潮湿环境中的反应

尽管这项指引力求简单易懂，但下列术语对于理解货物特性和通风方面相当重要。

吸湿性货物

吸湿性货物具有天然的含水量，可以从邻近的空气吸收水分(吸附)，或是将水分释放到邻近的空气(脱附)。每一种货物都有特定的吸附行为。

在装载之散装货物上方不通风的狭小空间内，其空气湿度和温度会受到货物的显著影响²。由于存在船舶出汗的风险(详见上述「船舶出汗」章节)，谷物等吸湿性货物通常需尽可能进行通风。这是因为与货舱顶部空间的残留空气体积相比，货物会逐渐释放源源不绝的水分。如果不进行通风，顶部空间的空气可能会持续将水分带往冷凝处，导致船舶出汗所形成的冷凝水不断地滴落在货物上，进而造成货物局部受潮，并损坏/变质。

在固体散装货物和谷物货物中，通风可能只影响到货物表面较薄的一层。如果谷物或农产品等货物在运送时的含水量过高，即使进行适当的通风，也可能无法防止其在航行过程中变质。然而，无论如何，都应进行适当通风，并且如实记录，以便船舶/运送人能够证明其已尽应有的注意义务，这将有助于在货物索赔诉讼中抗辩。

1 维基百科:「露点:简单近似值」, [线上内容]。提供网址 https://en.wikipedia.org/wiki/Dew_point#Simple_approximation, [西元2024年存取]。

2 TIS GDV: 德國保險協會運輸資訊服務:「吸濕性/吸附行為」[线上内容]。提供网址: https://www.tis-gdv.de/tis_e/misc/hygro.htm [西元2024年存取]。

平衡相对湿度 (ERH)

吸湿性货物会从邻近空气中吸收水分(吸附)或向其释放水分(脱附)。在货舱内部货物上方的密闭空间中,水分会持续转移,直至达到平衡为止,货物邻近的空气将达到平衡相对湿度(ERH)。每一种货物都有特定的平衡相对湿度。

最大平衡含水量

当货舱内的空气达到平衡相对湿度时,邻近货物的含水量(MC)也会达到平衡。不过,如果平衡相对湿度过高,可能会导致货物损坏(例如:在含有真菌孢子的谷物货物中,如果货物含水量够高,霉菌就会活化且生长)。

最大平衡含水量(MC)是货物变质或损坏可能发生的阈值,因此,这是谷物等货物的关键特性之一。

请一并参照《Britannia损害防阻见解报告》有关[谷物和油籽货物运输](#)的内容。

临界相对湿度(CRH)

临界相对湿度(CRH)与尿素、硫酸铵等吸湿性货物息息相关。如果环境空气的相对湿度达到临界相对湿度,货物可能会迅速吸收水分,导致结块、黏结或其他形式的变质。

具有临界相对湿度的货物通常具有非常低的固有含水量,而且在航行过程中不进行通风。然而,如果货物在装船作业中暴露于湿气(尤其是装货时温度较高的情况),仍然可能发生结块现象。因此,有必要了解货物/温度的特定临界相对湿度,并确保货物在适当的条件下装船。

非吸湿性货物

非吸湿性货物没有固有的含水量,也不会吸收/脱附水分。然而,若货物接触到冷凝水,也可能容易因生锈或染色而损坏。非吸湿货物可能包括垫材、包装材料和其他具吸湿性或对湿气敏感的物质。

在寒冷天气下装船的非吸湿性货物,如果运送至气候温暖的地区,通常不需要通风,进行通风反而可能导致货物出汗(符合先前提到的「从冷到热—不通风」经验法则)。

从温暖气候地区运往寒冷气候地区的非吸湿性货物,可能仅需偶尔通风,以防止货物出汗。

如果船舶配备除湿机,则可使用除湿机去除货舱内的过多水分,例如,货物上方的湿垫材或积雪。

吸湿性和非吸湿性货物混装

若将混装的吸湿性和非吸湿性货物堆放在同一货舱内,由于装船时的温度可能不同,这些货物可能会有不同的通风需求。因此,此时可能无法同时为两种货物提供适当的通风,而且在吸湿性货物进行通风期间,非吸湿性货物可能会出现货物出汗。因此,应尽量避免将这两种货物混装在一起。

货物通风的实际操作方面

租佣船人/托运人指示和业界实务做法

应注意优良业界实务做法和船舶的操作/技术能力,以及航程指令或租佣船人/托运人指示内容之间可能存在的差异。若有任何不一致之处,应主动处理解决。

举例来说,如果指示中规定了通风规则(露点/三度规则),应考虑其是否适用于该货物。如果无法遵循通风规则,则不应接受。



在夜间或雨天进行通风

通风日志的分析结果通常显示,通风只在白天进行。然而,只在白天进行通风可能会大幅缩短可用的通风时间,尤其是对于应尽可能进行通风的货物。

尽管晴朗宜人的天气通常在直观上被认为是「良好天气」,但仅在这样的天气下通风可能略嫌不足。最佳的通风时间可能是在夜间,也就是气温最低的时候。然而,若需要在夜间进入甲板,应充分考虑到船员人力是否充足等实际挑战,并确保安全无虞。

只要符合相关规则的要求,且船上通风系统能够防止雨水进入,通风也可以在雨天持续进行。

通风和熏蒸

熏蒸一般用于运送易受虫害货物的船舶。货物在港口或航行途中进行熏蒸,会将有毒气体释放到货舱中。货舱在规定的时间内必须保持密闭状态。货物在这段时间内亦不能进行通风。一旦熏蒸结束且证明货舱内的气体已完全排除后,便可恢复正常的通风作业。

因此,熏蒸之规定禁止货物在货舱保持密闭状态下进行通风—这将导致从货物(例如:谷物)释放出的水分无法透过通风去除,从而可能导致货物因船舶出汗而损坏。

由于前述的熏蒸和通风要求明显相互冲突,包括可能导致货物受损的风险,租佣船人和/或托运人应向船舶方提供明确的指示。同意暂停通风的前提条件是,船舶方无须对由此造成的货物损害负责。然而,欲区分熏蒸期间造成的货损以及后期因通风不当造成的货损,可能并非易事。因此,建议在熏蒸期间评估货物损坏的风险,并考虑货物特性、实际温度和含水量,以及预计的航程时间。

小型个案研究

一艘船舶从巴西运送大豆到中国。货物在装船后以磷化铝进行熏蒸。船舶方接获指示将舱门封闭十天,期间不得进行通风。十天后,货舱根据三度规则进行通风。尽管有进行通风,但货物仍因船舶出汗而受损。长时间的局部船舶出汗导致货物内部严重受损。

随后提出的货物索赔指控通风不足。尽管无法确实证明货物损坏是否发生于熏蒸作业禁止通风期间,但船舶方可以出示通风日志,证明在获准通风时,已经进行适当的通风。

请一并参照《Britannia损害防阻见解报告》有关[熏蒸](#)和[谷物和油籽货物运送](#)的内容。

通风限制条件

在某些情况下,虽然船舶方已尽其所能进行适当的通风,但仍不足以防止货物损坏的问题,例如谷物含水量过高时,尽管持续进行通风,谷物仍可能发生生物变质。此外,对于固体散装货物或谷物货物,通风主要影响的是货物上方的顶部空间,仅对一小部分货物产生直接影响。

上述情况并没有改变运送人对适当通风的责任,并要求其务必尽力在通风日志如实记录,同时需要主动与租佣船人/托运人解决任何问题,例如:货物状况看似在进行通风后仍可能导致货物变质。

吸湿性袋装货物

稻米一类的袋装货物有特定的运送要求, 而且有可能引发巨额货物索赔。袋装稻米货物的主要问题是发霉或结块, 其中的一个原因就是通风不足。

对于吸湿性袋装货物(织袋并非密封, 货物仍可以吸收/脱附湿气), 建议采用三度规则。需要使用适量的垫材以降低出汗损坏的风险。租佣船人/托运人亦可指示并要求在装船时, 于堆放货物内部提供通风通道。

请一并参照《Britannia损害防阻见解报告》有关[稻米运送](#)的内容。

通风日志的重要性

船舶(运送人)有责任根据所有适用要求进行货物通风: 遵循法规、租佣船人/托运人指示及优良业界实务做法。

谨慎保管通风日志, 若发生货物索赔时, 才能证明已符合这些要求。

下列要点应在日志中如实记录:

- 航行期间采用的通风规则
- 对于三度规则, 装船时的货物温度
- 每次当值至少测量一次:
 - 露点规则: 测量环境空气露点和各货舱空气的露点, 以及干湿球温度
 - 三度规则: 环境空气温度
 - 是否需要通风
 - 海水温度
- 每个货舱开始和暂停通风的时间, 包括暂停原因及无法通风的详细情况

即使无法进行通风, 亦应继续在日志中详细记载(作为无法进行通风的证据)。如有可能, 应提供当时天气状况的照片证据, 特别是采用甲板运输时的海水或海浪状况。

请一并参照《Britannia损害防阻见解报告》[有关货物通风日志的专文内容](#)。



免责声明

本损害防阻见解报告系由BRITANNIA STEAM SHIP INSURANCE ASSOCIATION EUROPE出版。截至出版日期为止的收录内容据信正确无误, 但本协会对于信息的完整性或正确性不承担任何责任。本出版品内容不视为法律建议, 会员可随时联络本协会, 针对特定事项寻求专业建议。