



二十一世纪航空布雷

Twenty-First-Century Aerial Mining

迈克尔·皮鲁查, 美国空军后备役上校 (Col Michael W. Pietrucha, USAFR)



图 1: 2014 年 9 月 23 日, B-52H 轰炸机首次投放 Quickstrike-ER 快速打击增程水雷。

2014 年 9 月 23 日, 在关岛北方高空飞行的一架 B-52H 轰炸机投放了一枚带翼精确空投水雷 (图 1), 从而开启了航空布雷的新篇章。这枚橙色和白色相间的惰性装药 GBU-62B(v-1)/B Quickstrike-ER 快速打击增程水雷干净利落地脱离 B-52 之后, 翻滚了几下, 在投放后三秒钟展开 BSU-104 飞翼, 使得自由下落的弹药变成中程武器。在加装的联合直接攻击弹药尾部组件的指挥下, 这枚中程武器飞行了大约 40 海里, 然后碰撞水面。如果它是一枚真水雷投放到浅水区, 就会沉到水底, 静默潜伏, 等待目标靠近。这次试验是 1943 年以来航空布雷技术的首次突

TDD = (水雷的) 目标探测仪
Quickstrike-ER = 快速打击增程水雷
JDAM = 联合直接攻击弹药

破, 显著提升了向威胁环境中进行航空布雷的

巨大潜力。使用现成的组件和作战飞机, 航空布雷不动声色地进入了二十一世纪。

历史背景

水雷广泛用于海战, 最早始于美国内战期间。¹ 第二次世界大战中, 纳粹德国空军于 1939 年 11 月在泰晤士河河口布雷, 标志着空投水雷的首次使用。到 1940 年, 英国皇家空军开始航空布雷, 直至二战结束, 平均每个月投放 1,000 枚水雷。在有些区域, 例如内陆水道和多瑙河, 航空布雷是唯一可行的选择。² 在整个二战期间, 投放在港口入口航道和德国潜艇训练水域的空投水雷炸沉了 16 艘德国潜艇, 而盟军水雷摧毁的德国潜艇总数是 26 艘。³

美国海军在 1942 年下半年开始进攻性布雷，由 Thresher 号潜艇在暹罗湾实施。到 12 月，另一艘 Trigger 号潜艇潜入东京附近布雷，并在驶离目视范围之前看到有一艘船只触雷沉没。不过，潜艇投放的水雷只是少数，而且潜艇要冒很大的风险。海军鱼雷轰炸机“复仇者”（Avenger）对日本的外海岛屿基地实施的布雷行动，结合反舰攻击，则取得了良好的战果，但从未对日本本土岛屿这样做。总之，海军航空兵的航空布雷只占太平洋战区航空布雷总数的百分之三。⁴

美国第五航空军主要依赖英国皇家空军和澳大利亚皇家空军的布雷能力。⁵但是第十航空军对于航空布雷颇为积极，从 1943 年初起，使用英国水雷封锁了仰光河，直至二次大战结束。第十四航空军在中国境内的长江等河道实施航空布雷。第二十航空军于 1944 年 8 月在苏门答腊外海执行其首次航空布雷任务，随后又在新加坡海域、西贡海域和金兰湾布雷。⁶

1945 年 3 月，第 313 轰炸机联队（B-29 轰炸机）开始在日本本土水域布雷。⁷该次布雷任务称为“饥饿”（Starvation）行动，主要针对日本战时海上供应网络中尚未被美军控制的一个重要咽喉部位即关门海峡，同时还对东京、名古屋以及一些较小的日本和朝鲜港口实施了布雷。⁸尽管该次航空布雷持续时间不长，但是它有效地阻断了海上运输，摧毁的船舶数量几乎等于美国陆军航空队在整个战争期间实施陆基空中行动的战果；按航空布雷期间炸沉或毁损的船舶总数计算，该轰炸机联队摧毁的船舶占了一半。据威克利·弗兰克·克拉文（Wesley Frank Craven）和詹姆斯·李·凯特（James Lee Cate）说：

第 313 联队开始实施航空布雷比较晚，只有四个半月的时间，而且当时敌方的商船队吨位和活动范围都已经缩减。在那么短的时段内，该联队投放的水雷比任何其他武器都更具摧毁力，其摧毁的船舶吨位占总数的一半左右。为了完成该项任务，第 313 联队出动了 1,528 架次飞机，投放了 12,053 枚水雷，远远超出海军在 1944 年协商时提议的数量；实际上，到那时为止，是投放数量最大的航空布雷行动。⁹

在越南战争期间，美国再次实施大规模航空布雷行动。1967 年，约翰逊总统批准在红河、马江、Kien 以及 Cua Sot 等河道投放水雷。¹⁰在“滚雷”行动后期，舰载飞机实施了内陆道路和水道布雷。¹¹

1972 年 5 月 8 日，从“珊瑚海”号航母起飞的飞机对海防港布雷，投放了 36 枚 Mk-52 水雷，因而有人声称海防港是遭受美国在两场战争中布雷的唯一外国港口。¹²接着，鸿基、锦普以及海防港入口航道都被布雷，美军还对这些海区定期实施重新布雷。这些水雷封锁了海防港，直至 1973 年的“最终清扫”行动为止，该次行动清扫了越南港口的水雷，但是没有清扫河道。

在冷战时期，美国空军轰炸机和海军舰载飞机继续执行航空布雷任务，其主要目的是遏制苏联舰队，尤其是苏联潜艇的行动。在中东，“沙漠风暴”行动刚开始两天，从“游骑兵”号航母起飞的 A-6 飞机就在祖拜尔河投放了 42 枚水雷，但是效果如何不得而知，这也是美军最近一次空投水雷作战行动。¹³该次行动中损失了一架 Jackal 404 飞机及其机组人员，但是除此之外，实践证明航空布雷能够非常有效地对军舰和潜艇实施海上封锁。

水雷类型

在“饥饿”行动中，B-29飞机使用Mk-25（2,000磅）和Mk-26/36（1,000磅）空投水雷。这些钝头水雷采用降落伞减速，配备带压力或音响传感器的磁性引信，其敏感度设定可变，解除保险延迟时间为随机设定，并且装有计数为1-9的定次仪，使得有些水雷能够让一定数目的船只通过之后才引爆。这些水雷没有安装任何类型的停用装置，它们都是沉底水雷。¹⁴

越战时期使用的水雷大多是通用炸弹的变型，带有较高的尾翼。有一种系列称为“自毁水雷”（Destructor），包括Mk-36（500磅）、Mk-40（1,000磅）和Mk-41（2,000磅），它们配备解除保险延迟时间装置和自毁装置。这个系列的水雷采用磁性引信、震动引信、触发引信或复合引信，它们可用于陆地或浅水区。自毁水雷和通用炸弹之间的区别仅在于引信起爆方式以及（有时）安装在炸弹弹体上的尾翼组件。这个设计特点还延伸到从自毁水雷演变而来的“快速打击水雷”（Quickstrike）。

Quickstrike快速打击水雷（Mk-62/-63/-64/-65）是美国目前使用的空投沉底水雷，适用于水深40至200英尺的浅水区。¹⁵这种水雷包括一个通用炸弹弹体、安全/解除保险装置、尾翼组件、电池、适配器和目标探测仪（TDD）。在快速打击水雷系统中，只有Mk-65不是从通用炸弹演变而来。旧型号的Mk-57 TDD是磁性-震动触发型，而Mk-58则是磁性-震动-音响触发型。最新型号的TDD是微处理器驱动的可编程Mk-71，它将取代所有旧型号的TDD。

水雷投放

通常，水雷投放是低空飞行操作，主要是因为水雷需要借助降落伞减速飘移。在“饥饿”行动中，飞机通常是夜间布放雷场，利用雷达导航，飞行高度为200至30,000英尺。轰炸机沿直线把水雷投放到预定地点，有时个别水雷会落到海边的陆地上。¹⁶大约50%的水雷投放在离预定地点半英里以内的位置。¹⁷

今天使用的投放技术仍然未变，由于减速伞水雷的落点不准，飞机往往需要多次往返布雷。用B-52布雷，飞行高度为500英尺，航速为320节，但此速度对于空军战斗机或B-1B而言偏慢些，不甚安全，对海军F-18和P-3而言也是如此，如用于布雷，必须在低空慢速飞行，其航线很容易预测——这也导致我们在“沙漠风暴”行动的唯一一次布雷作业中损失了一架飞机及其机组人员。

二十一世纪的空投水雷

航空布雷技术自第二次世界大战以来并无发展，但是Quickstrike-ER快速打击增程水雷（图2）的面世彻底改变了局面，体现了精确度和防区外投放能力相结合的现代化水雷技术。现在，Mk-82/-83/-84系列炸弹弹体可以装备联合直接攻击弹药（JDAM）组件，使这些武器分别演变成GBU-38/-32/-31。

JDAM的射程较短，不具备防区外发射能力，但是添加飞翼之后，可弥补该缺陷。GBU-62B(V-1)/B Quickstrike-ER快速打击增程水雷是美国太平洋空军使用的武器名称，实际上是Mk-62 Quickstrike快速打击水雷加装BSU-104 JDAM-ER飞翼和GBU-38制导组件而成。从35,000英尺的高空发射时，该系统的射程可超过40海里。



图 2：第 36 弹药中队的官兵正在把一枚新近组装的 Quickstrike-ER 水雷装载到一辆弹药拖车上。

Mk-62 Quickstrike 配备这些组件之后，无论从中空或高空投放，都具有良好的精确度和防区外“一遍即成”布雷能力。¹⁸ 一架满载 Quickstrike-ER 制导水雷的轰炸机只要以单次投放顺序就能够有效布设一片雷场。配备制导组件的水雷可以按照无法预测的模式布放，以增加扫雷难度；此外，它们可以根据具体水道的特点调整其设置。

二十一世纪航空布雷飞机

Quickstrike-ER 水雷的优点不仅是精确度高，而且使得飞机能够远距离布雷。目前，只有 F-18、P-3、B-1 和 B-52 机组人员接受布雷训练。另一方面，JDAM 弹药投放训练却是普遍的。实际上，针对一个固定的地面目标投放 JDAM 与针对浅水下的一个固定地点投放 JDAM 并无区别，不需要接受额外的基本布雷训练。

今后，把低显性隐身飞机编入潜在的防区外布雷舰队后，将使混合舰队具有两项新的作战能力。第一，可以潜入目标国家防空

圈外沿以内布放雷场。第二，可以用隐蔽方式实施空中布雷。

水雷战

通常，航空布雷是进攻性水雷战，因为是在某个国家的本土水域内布雷。这项措施可有效地用于空海拦截作战（1945 年的“饥饿”行动）、港口封锁（1972 年对河内），甚至反水面舰艇作战（1944 年对帕劳）。对内陆水道实施进攻性布雷，则可切断当地航运，这种作战方式曾在德国、缅甸、中国和越南广泛实施。美国空军从来没有使用过防御性航空布雷，而英国皇家空军则曾经用过。

布雷的相关效应不只是单纯摧毁目标。对水雷的恐惧可能比实际引爆水雷能拦阻更多的船舶航行；《1907 年海牙公约》要求公布雷场危险区，实际上反而提升了恐惧效应。对越南河内航道布雷期间，尽管美国在雷场启动前提早 72 小时发出了通知，港口内的所有东方集团国家船只都滞留在原地。没有任何船只敢于穿越雷场或试图清扫雷场。对于

商船而言，若在公布的危险区域航行，其保险费会高涨到令人望而生畏的程度，从而导致船只完全避开布雷或可能布雷的区域。模棱两可可是上策；布雷区必须公布，但是并非所有公布的区域实际上都一定有水雷。

加装目标探测仪 TDD 之后，进一步改善了水雷的特定作战能力。新型 Mk-71 Mod 1 TDD 可用软件编程，对潜艇、微型潜艇、气垫船（腾空船）和快速巡逻艇等不同等级的船只应用不同的算法，使得水雷能够进行目标分类和选择需要攻击的目标。Mk-71 能够分辨真实目标和假目标或干扰装置。这种能力可用于量身定制式布雷，从而拦阻某个类型的船只，但放过另一个类型的船只。

航空布雷现在具有的精确执行度和防区外投放能力可谓史无前例。这些新能力的出现不仅将改善进攻性布雷的有效性和便捷性，而且有助于实施应急防御性布雷和新型反应性布雷。

进攻性布雷

进攻性布雷能够影响港口、航道、河口、运河、内陆水道、阻塞点、海峡或沿岸水域。它甚至可以演变为反应性进攻性布雷，即布放快速反应雷场，借以拦阻沿岸水域内的水面作战舰艇。

港口布雷

港口布雷可在源头拦阻船只，从而阻止敌方有效使用港口。对于缺乏海上补给能力的海军，阻止其作战舰艇返回港口进行燃料和弹药补给，可以有效地解除其作战能力，而无需对其直接攻击。敌方在没有港口可用的情况下，就失去投送海军力量的能力。布雷作战本身不产生即刻杀伤，至少在敌方试

图扫雷或穿越雷场之前是如此。布雷的效应可影响到商船、军舰和辅助船只，一旦港口出口被封锁，任何船只都无法通过。

港口布雷阻止船只出港和进港，或者炸沉船只，从而瘫痪航道、码头或卸载设施。海军基地的密集程度超过商业港口，因而更加容易封锁。驻守湛江、宁波（舟山）和青岛的中国海军舰队都易于被拦阻，其中湛江的舰队最容易被孤立，而宁波的舰队最难。中国海军在海南岛上的潜艇船坞只有为数不多的入口航道，容易遭受对方从防区外实施的围困。只要在航道里炸沉一艘船，就可以轻而易举地达成围困效果。

对越南河内港的布雷行动遭到强烈的抵抗。飞机按指定的间隔时间投放一连串水雷，而有些水雷实际上掉落在不起作用的地方。如果使用精确制导水雷，则可按精确定义的模式布放最适合具体水域的雷场。如果当初在越南港口布雷时有 Quickstrike-ER 水雷，能从防区外投放，飞机则可处于地空导弹的射程外。

我们把视线往西移动，可看到伊朗的阿巴斯军民两用港口非常适合布雷。长久以来，我们一直担忧伊朗海军的俄制基洛级柴电潜艇。阿巴斯港是伊朗革命卫队海军基地，里面停泊微型潜艇和为数众多的小型快艇。锚地水深 30-35 英尺，港口入口航道只有 800 英尺宽，前面一道防波堤，开口是 1,300 英尺，很容易封锁。

并非所有的港口都是理想的布雷目标。商业港口可能较为宽广，但是大型船只仍然需要依赖疏浚的航道。波士顿港不再是军港，但是自 1680 年代以来船运始终川流不息，而且多次遭到封锁。¹⁹ 波士顿港有两条平行的入口和出口航道，每条宽 1,200 英尺，平均

疏浚深度为 40 英尺。在迪尔岛东面，港口航道扩展成三条深水航道，通往开阔水域。如果在港口的高射炮防空圈外围使用传统的航空布雷方法，虽然可行，但要消耗大量弹药；而如果使用 Quickstrike-ER 水雷封锁洛根机场和独立堡之间的两条航道，大约只需要在港口入口航道布设所需水雷数目的十分之一。

还要指出，英国皇家空军和美国空军攻击和摧毁了利比亚海军的大部分舰艇，将它们葬身在港口，不能再用。如果当时有精确制导水雷，也许可以成功地把那些舰艇封锁在港口里，留给利比亚的新政府。

河道布雷

第二次世界大战期间，许多河道上曾发生作战行动，包括对德国的运河系统、中国的长江和缅甸的仰光河实施有效布雷。到 1944 年下半年，长江口经常有船只触雷沉没。²⁰ 在越南战争期间，北越和南越的内陆水道都被广泛布雷，借以阻断北越军队的供给和渗透路线，从而往往迫使他们重新依赖丛林小道输送人员和物资。在越南，就像二次大战期间的中国一样，对河道的航空布雷几乎很少遭遇敌方火力阻碍。

长江是一个理想的布雷目标。从长江口上溯，至少有 1,000 英里可以通航；长江的货运量占到中国全国内陆河道货运量的 40%，超过中国的任何其他河流。²¹ 上海是世界上最繁忙的港口，因而对长江口和长江沿线实施防区外航空布雷值得考虑。上海拥有严密的防空系统，对其实施防区外航空布雷有较大的风险——即便使用 Quickstrike-ER 水雷，有多少把握也很难说——惟有使用低显性隐身飞机，或许能行。如果避开上海，对长江上游投放水雷，则需要渗入中国内陆上空，

亦需隐身。当然，布雷绝对不是封锁水道的唯一方法。

在科索沃战争期间，北约“联盟力量”行动的空军作战摧毁了多瑙河上的若干桥梁，其中包括塞尔维亚诺维萨的所有桥梁。战后，花费了五年时间清除废墟和重建有些桥梁，而泽泽里桥的重建工程花费了十几年。桥梁废墟在四年后才开始清除，大约有 1,000 艘船只被困顿在多瑙河流域，无法通过诺维萨大桥。²² 显然，快速清除废墟是当务之急，而如果当初北约空军攻击桥梁时还同时对桥梁接近航道投放了水雷，则现在清除废墟的工作将远更艰难。²³ 至于说工程师们可以快速建造浮桥或水下桥梁，那么布雷也许会有效地阻止他们完成这类工程。

阻塞点布雷

航空布雷可以在世界上许多地方成功地封锁狭窄的阻塞点。海峡通常没有可靠的替代航道，因而封锁海峡也许可产生巨大的经济和军事影响。适合布雷的海峡必须是狭窄但船运繁忙的浅水海域。达达尼尔海峡长 35 海里，平均水深 180 英尺，最狭窄的地方只有 4,500 英尺宽，在第一次世界大战期间被由总共 370 枚水雷组成的 10 条锚雷线封锁，致使水面船只无法通过。²⁴

俄国人在一战期间以及德国人在二战期间都在赫尔辛基和圣彼得堡（列宁格勒）之间的芬兰湾布放了大量水雷。在亚洲，马六甲海峡、巽他海峡和龙目海峡都是重要的阻塞点，尤其对油轮更是如此。马六甲海峡的菲力普斯航道最狭窄处只有 1.6 海里宽，最浅处为 82 英尺，但是每年有 60,000 艘船只通过其间。²⁵ 新加坡海峡与马六甲海峡相连，二战期间，英国皇家海军曾在那里布雷。霍尔木兹海峡很浅，如果用 Quickstrike 水雷实

施封锁，可影响到波斯湾的一大部分（那里平均水深为 150 英尺）。Mk-71 TDD 水雷的选择性功能适合用于封锁海峡或波斯湾的一部分，拦阻柴电潜艇，但不影响商船的航行。有些海峡太深，例如直布罗陀海峡、龙目海峡和曼德海峡（红海），不适合使用沉底水雷。

沿海布雷

沿海布雷旨在拦阻起始地和目的地之间的船运，它在很大程度上依赖海洋地形测量。在有沿海水道的地方，布放水雷的可行性极大提升。在二战期间，B-29 飞机沿着朝鲜海岸线布雷，迫使船只远离海岸，以便更容易探测和攻击它们。沿海布雷的一大缺点是，需要做区域布雷，而不是在港口、河口或阻塞点附近的定点布雷——区域布雷很容易避开。值得注意的是，如果敌方无法确定沿海布雷地点，则不可能清扫。

1940 年，英国皇家空军开始在船运繁忙的区域进行大规模沿海布雷（戏称为“花园播种”），当时认为航空布雷比船舶布雷更有效。沿海布雷包括在英国沿海布放防御性雷场，以及在德国、丹麦、法国、荷兰和比利时沿海的布雷作业。1942 年至 1944 年期间，针对挪威沿海的铁矿石运输船，实施了一系列布雷作业；而在法国沿海的布雷作业一直持续到盟军在诺曼底登陆日之后。²⁶ 北欧水域是理想的布雷目标，因为沿海船只不能离开己方海岸线太远，否则会受到来自其他方面的攻击。英国皇家空军还在地中海实施了航空布雷，尤其在盟军登陆之前特别关注西西里周围水域。另外，在 1941 年年中之后，英国皇家空军几乎对地中海的每一个轴心国港口都实施了航空布雷，往往还是一边轰炸一边布雷。

防御性布雷

英国皇家空军和纳粹德国空军都进行了防御性航空布雷，但是美国空军没有这么做。英国人实施防御性布雷，是为阻扰德国潜艇和潜在的入侵舰队。²⁷

防御性布雷至今仍可用于对抗两栖攻击。但是，面临两栖攻击威胁的国家并不多，没有任何国家愿意在和平时期维持一个永久性雷场。而实际上，这样的不作为等于解除防御性布雷能力，因为防御性布雷需要持续努力和拥有专业化部队。另外，在敌方经过长期准备之后能够主动选择进攻时间和地点的情况下，试图用防御性布雷来抵抗攻击，实际上很可能收效甚微。

但是，如果使用 Quickstrike-ER 水雷，形势可能改观。在几乎没有战略预警的情况下，只要有一些及时的情报，就有可能布放防御性雷场，阻扰敌方建立滩头阵地。实际上，我们不能依赖及时的情报和战略预警，第一波两栖攻击部队很可能随时登陆。在这种情况下，现代化航空布雷的实用性显而易见。

两栖登陆的关键不在于初始攻击，而在于后续梯队。在二战期间太平洋战区的塔拉瓦岛战役中，如果第一天能够成功地拦阻后续梯队，那场攻击也许以失败而告终。在诺曼底登陆行动的奥马哈抢滩战中，如果没有后续梯队的支援，第一波攻击部队很可能连防波堤都无法突破。即使在几乎没有遭遇任何抵抗的登陆作战中（例如，意大利安济奥、朝鲜半岛仁川和埃及苏伊士战役），后续增援部队和物资的抵达也起着至关重要的作用。在敌方无法使用拥有压倒优势规模的入侵舰队的情况下，另一方如果能够拦阻后续梯队，也不失为有效抵抗两栖攻击的手段。

在入侵部队抵达之前，实际登陆地点是未知数。第一波攻击部队抵达后，防御方即可知道后续部队的登陆地点，并可轻易推断支援登陆攻击部队所必需的港口设施在哪里。同样，知道两栖运输船队的出发点之后，就有可能成功地孤立登陆海滩和后续部队上下船的港口。现在重温“哈士奇”行动（Operation Husky）——盟军入侵西西里战役——可以清楚地看到快速布放防御性雷场的潜在作用。

登陆舰队从大约 350 英里远的比塞大和突尼斯驶向西西里，出发港口几乎在登陆海滩的正西方。为了欺骗敌方，舰队朝着东南方向的马耳他行驶，在马耳他戈佐灯塔正西方 5 海里处掉头北上。后续梯队预定在 D+1 日（第一波部队登陆后一天）、D+3 日和 D+4 日登陆；卸空的登陆艇必须返回突尼斯。²⁸所有的英联邦登陆艇穿过马耳他海峡，那里是浅水区（水深不到 300 英尺），一直延伸到马耳他；美军师团则穿过较深的格拉海盆水域。敌方如果想布雷，美军航线的最后 10 海里可以很容易地成为理想雷区；而英联邦部队航线至少有 50 海里可以成为雷区。

美军登陆并建立了三个滩头阵地。第一波支援船只的卸载花费了 60-88 个小时才完成。头三天总共卸载了 22,554 名官兵、2,179 部车辆和 7,801 吨物资。帕勒莫港直到 D+18 日才启用，而且由于战争损毁，其运行能力只有 30%。在随后的 6 个星期里，总共有 736 个航次的船只支援登陆的美军部队，其中大多数是登陆艇。²⁹

值得庆幸的是，虽然当时盟军缺乏扫雷资产，也不曾进行夜间作业训练，德国人却没有在此航行区域布雷。如果纳粹德国空军能够在盟军入侵海滩或占领的港口布雷，那

么在内陆地带与装备精良的德国国防军激战的盟军官兵将可能陷入军粮、燃料和弹药补给不足的境地，后果可能很严重。盟军登陆后几小时之内，轴心国部队就获知盟军滩头阵地的位置，并且很容易地就识别了盟军部队必然会使用的附近港口。帕勒莫港在盟军登陆前已经遭到严重损毁，如果轴心国部队对其实施航空布雷，可以使港口完全丧失用途。

西西里岛地域宽广，因此“哈士奇”行动需要有庞大的后勤支援。在西西里岛内陆地带，盟军即使遭受很大的损失，但仍然拥有充裕的作战能力，应对处于胶着状态的消耗战还绰绰有余。倘若轴心国部队实施了布雷，战役的延续时间和代价都会增加，而且战况可能会像后来的意大利安济奥战役那样——盟军有足够的海运能力支援窄小的登陆立脚点，但是无力考虑发起大规模进攻。若是面积较小的岛屿，航空布雷也许能提供临时防御（防卫己方岛屿），或在攻占岛屿后用作孤立守岛要塞的一种方法。在发生挑衅行动时（例如 1994 年某国实际占领南沙美济礁），航空布雷可以用作应对手段，使双方对峙逐步升级，但不发生直接反击。

反应性布雷

反应性布雷是一种尚未经过实践尝试的布雷概念，它依赖从防区外布放“瞬时”雷场的能力。借助精确制导功能，可以在水雷发射前改变布放模式，就像发射任何其他 JDAM 弹药一样。反应性布雷的一个明显用途是封锁滩头阵地。在受限的沿岸水域，可对特遣舰队实施反应性布雷，在其前方布放瞬时雷场。反舰导弹攻击必须要穿过军舰的防空圈，但是，如果在特遣舰队前方 30 或 50 海里投放水雷，特遣舰队无法拦截，甚至

可能毫无察觉。如果水雷以某艘舰艇为目标，舰长也许不得不使用舰上为数有限的导弹进行防御。对于无法在海上再装弹的海军而言，这种情形无异于资源分配挑战。Quickstrike快速打击水雷不同于“鱼叉”导弹或其他巡航导弹，它们即使被击落，其危险性依然存在。击落一枚水雷，也许不会影响到水雷尾部组件里的目标探测仪或者炸弹弹体本身（弹体是半英寸厚的钢铸外壳）。溅落在目标舰艇附近水域的水雷，尽管没有击中舰艇，但是仍然可以引爆和构成威胁。

反应性布雷还可以有其他用途。海军“解救”被敌方追击的己方舰艇时，可以在敌方追击舰艇或潜艇的前方航道上布放雷场。这种技术还可用于诱敌行动：使用无人驾驶的水下船只冒充己方潜艇，引诱敌方舰艇前来追击，将它们引入反应性雷场。

动力驱动型防区外布雷

Quickstrike-ER水雷从中空或高空发射，然后滑翔到目的地。在远程地空导弹防空圈附近，只能用低显性隐身飞机投放这种水雷，或者必须与敌方的防空威胁保持一段距离，才可投放。在Quickstrike-ER水雷上装一台发动机，可扩大其布放范围，尤其对设防空域而言。雷神公司展示了这么做的可行性，他们把微型空射诱饵的一台TJ-150涡轮喷气发动机安装到AGM-154C1联合防区外攻击武器上，使后者的射程从70海里伸展到260海里。³⁰另外，波音公司对一枚使用小型涡轮喷气发动机的动力驱动型JDAM-ER联合直接攻击增程弹药进行了风洞试验。这个研制中的系统称为动力驱动型JDAM(P-JDAM)，预期从中空发射时其射程可显著超过100海里。具有这么长射程的动力驱动型Quickstrike快速打击水雷(Quickstrike-P)可

以从大多数远程地空导弹系统的射程极限外发射。

防区外射程延伸并非动力驱动型水雷的唯一优点。安装在水雷上的发动机使水雷能够保持40海里的低空至低空水平飞行状态，从而使布雷飞机和水雷在发射前都能保持在低于雷达水平线的高度，甚至贴近水面飞行。假定一台桅顶雷达（例如381型Sea Eagle海鹰雷达）离地高度为80英尺，一架在500英尺高度朝着雷达飞行的飞机在离雷达38海里之前将始终处于雷达地平线以下。至于水雷本身，如果它在贴近水面的50英尺高度飞行，在离那台雷达20海里之前不会被雷达探测到。³¹如果是舰面装载雷达，其探测水平线的边界为12海里或更小。动力驱动型Quickstrike-P快速打击水雷的这种低空飞行能力，使其能够避免拦截风险而抵达非常接近设防目标的布放位置——在某些情况下，甚至可以避免海面威胁的探测风险。

结语

航空布雷在太平洋战区发挥了很大的作用，其最显著的案例是二战期间针对日本实施的“饥饿”行动。随着时间的推移，水雷的特定作战能力不断增强，可以编程为针对特定目标引爆，从而提高了这种低成本、长效应武器系统的使用价值。加装现成的精确制导装置和新型飞翼组件之后，航空布雷的应用正不断创新，进一步增强了空中力量对抗滨海国家的价值。

防区外精确制导航空布雷能力的发展（尤其是对设防空域），可使航空布雷的影响力重新令人刮目相看。鉴于潜在敌方依赖或部分依赖海上运输进行贸易和支援军事作战行动，增强的布雷能力和布雷平台生存能力将使得

过去几十年实际上无法触及的区域有可能成为航空布雷的目标。在海运交通繁忙的航道布放量身定制的雷场已成为可能，彼时将增强海上拦阻、反潜战和反两栖战能力。实现期盼已久的精确投放能力和先进水下武器的

结合，将使得美国空军和海军拥有任何其他国家无法与之匹敌的低成本、非对称作战能力，并且将向美国总统和国防部长提供适合各种作战行动的更多的战略选项。♣

注释：

1. “该死的鱼雷；全速前进！”大卫·法拉古海军上将（Adm David Farragut）在莫比尔湾战役中说的这句话经常被错误引用，其实他指的是水雷，因为当时把水雷称为鱼雷。塞缪尔·科尔特（Samuel Colt）在1844年展示了指令引爆锚雷。
2. Maj John S. Chilstrom, Mines Away! The Significance of US Army Air Forces Minelaying in World War II [投放水雷！美国陆军航空队布雷作业在二战中的重要作用], (Maxwell AFB, AL: Air University Press, 1993), 13.
3. H. L. Thompson, New Zealanders with the Royal Air Force, vol. 2, European Theatre, January 1943-May 1945 [英国皇家空军中的新西兰人，第2卷，欧洲战区，1943年1月-1945年5月], (Wellington, New Zealand: War History Branch, Department of Internal Affairs, 1956), chap. 5, <http://nzetc.victoria.ac.nz/tm/scholarly/tei-WH2-2RAF-c5.html>.
4. 同注2，第25页。
5. 同注2，第21页。
6. 同注2，第22页。
7. 同注2，第29页。
8. Wesley Frank Craven and James Lee Cate, eds., The Army Air Forces in World War II, vol. 5, The Pacific: Matterhorn to Nagasaki, June 1944 to August 1945 [二战中的美国陆军航空队，第5卷，太平洋战区：从马特洪峰到长崎，1944年6月-1945年8月], (1953; new imprint, Washington, DC: Office of Air Force History, 1983), <http://www.ibiblio.org/hyperwar/AAF/V/AAF-V-21.html>; 另参看 CAPT Gerald A. Mason, USN, “Operation Starvation” [饥饿行动], AU/AWC/2002-02 (Maxwell AFB, AL: Air War College, 2002), 7, http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/awc/2002_mason.pdf.
9. Craven and Cate, Pacific: Matterhorn to Nagasaki [太平洋战区：从马特洪峰到长崎], 674.
10. 同注2，第43页。
11. Edward J. Marolda, “U.S. Mining and Mine Clearance in North Vietnam” [美国在北越的布雷和扫雷], 参看 Encyclopedia of the Vietnam War: A Political, Social, and Military History [越南战争百科全书：政治、社会和军事史], ed. Spencer C. Tucker (Santa Barbara, CA: ABC-CLIO, 1998), <http://www.history.navy.mil/wars/vietnam/minenorviet.htm>.
12. Sabrina R. Edlow, U.S. Employment of Naval Mines: A Chronology [美国海军水雷的使用：编年史], (Alexandria, VA: Center for Naval Analyses, 1997), 7.
13. 同上，第11页。
14. 同注8中Mason“饥饿行动”文，第12页。
15. 10-40英尺水深被视为极浅水域，不足10英尺水深被视为冲浪区。
16. 数据摘自“第21轰炸机司令部战术任务报告，第16号野战命令，第47号任务，第313轰炸机联队，1945年9月”，参看注8中Mason“饥饿行动”文，第18页。
17. 同注8中Mason“饥饿行动”文，第14页。
18. 库存 GBU-38 尾部组件无法安装到配备 Mk-71 TDD 目标探测仪的 Quickstrike 快速打击水雷上。Mk-57 TDD 略经修改后也许可以安装，但这种修改不能在作战现场完成。
19. 确切地说，以波士顿为母港的宪法号护卫舰（USS Constitution）仍是美国海军的现役军舰。它是一艘木壳帆船，没有任何磁性、音响或震动特征，因而不怕沉底水雷。

20. Joint Army-Navy Assessment Committee, Japanese Naval and Merchant Shipping Losses during World War II by All Causes [日本海军和商船队在二战期间因各种原因而导致的运输吨位损失], (Washington, DC: Joint Army-Navy Assessment Committee, 1947), <http://www.history.navy.mil/library/online/japaneseshiploss1.htm>.
21. “The Strategic Importance of the Yangtze River” [长江的战略重要性], (video transcript), Stratfor, 29 March 2013, <http://www.stratfor.com/video/strategic-importance-yangtze-river>.
22. Edgar Martin, “International Waterway in Crisis: The Case of the River Danube” [危机中的国际水道：多瑙河案例分析], (paper presented at the International Association of Maritime Economists 2002 Conference Proceedings, Panama, 13-15 November 2002), http://www.cepal.org/transporte/perfil/iame_papers/proceedings/Martin.doc.
23. 在“卡罗来纳之月行动”(Operation Carolina Moon)期间,美国空军在1966年使用一架C-130E飞机投放五枚各重3,750磅的降落伞减速磁性漂雷,试图摧毁含龙桥(清化桥)。其中有四枚在桥上引爆,但是并未摧毁桥梁,殊为奇怪。第二次布雷时,又损失了一架C-130飞机,于是空军取消了该次行动。
24. “Minefield in the Dardanelles (August 4, 1914-March 9, 1915)” [达达尼尔海峡中的雷场 1914年8月4日-1915年3月9日], Naval Operations in the Dardanelles, <http://www.navyingallipoli.com/teksty/mines.pdf>.
25. US Energy Information Administration, World Oil Transit Chokepoints [世界油运阻塞点], (Washington, DC: US Energy Information Administration, 10 November 2014), http://www.eia.gov/countries/analysisbriefs/World_Oil_Transit_Chokepoints/wotc.pdf.
26. LTCDR Geoffrey B. Mason, “Royal Navy Minelaying Operations, Part 1 of 2” [皇家海军的布雷行动, 第1部分, 共2个部分], World War II at Sea, <http://www.naval-history.net/xGM-Ops-Minelaying.htm>.
27. S. W. Roskill, The War at Sea, 1939-1945, vol. 1, The Defensive [海上战争, 1939年-1945年, 第1卷, 防御战], History of the Second World War, United Kingdom Military Series (London: Her Majesty's Stationery Office, 1954), <http://ibiblio.org/hyperwar/UN/UK/UK-RN-1/index.html>.
28. Historical Section, Bureau of Naval Personnel, The Sicilian Campaign: Operation “Husky,” July-August, 1943 [西西里战役：哈士奇行动, 1943年7-8月], Action Report, Western Naval Task Force (Washington, DC: Historical Section, Bureau of Naval Personnel, 1947), http://www.history.navy.mil/library/online/siciliancampaign_admhistory148c.htm.
29. 同上。
30. “Raytheon Completes Free Flight of Joint Standoff Weapon Extended Range” [雷神公司完成联合防区外增程武器自由飞行试验], Space War, 3 November 2009, http://www.spacewar.com/reports/Raytheon_Completes_Free_Flight_Of_Joint_Standoff_Weapon_Extended_Range_999.html.
31. 选用50英尺高度数据的理由是,美国空军无人驾驶靶机BQM-167能够在离地50英尺的低空飞行,而喷气发动机驱动的JDAM弹药也应该能够在这个高度飞行。



迈克尔·皮鲁查, 美国空军上校 (Col Michael W. Pietrucha, USAF), 宾夕法尼亚州立大学文学士, 美国军事大学文科硕士。现为夏威夷希卡姆基地太平洋空军总部 A5/8 后备役单兵动员员增补现役人员。他于1988年由空军预备役军官训练团毕业获授军官衔, 先后派驻德国潘达勒姆空军基地、内华达州内利斯空军基地(两次)、英国雷肯希思皇家空军基地、弗吉尼亚州兰利空军基地以及五角大楼服务。他曾担任F4G“野鼬鼠”及F15E的电子战作战教官, 历经十次作战出征, 积累了156次作战的经验, 此外曾在伊拉克和阿富汗随美国陆军步兵战地工程兵及宪兵部队参与过两次地面作战部署。