

# 某轮海损及修理检验情况介绍

## 一、 船舶基本信息

LOA×LBP×B×D: 214.00×202.10×32.20×16.50(m)  
总吨位: 27800  
船型: 集装箱船  
建造年份: 2006年

## 二、 事故简要经过

2007年4月23日，标题船船在某航行途中，发生集装箱丢失及海损事故。

根据大副的陈述，该事故起因是在航行当中，船尾左舷紧靠居住区后舱壁最下层的集装箱立柱断裂，直接导致左舷部分箱子落海及其它集装箱立柱的倒塌断裂，在临时性的绑扎和加固后，由于恶劣海况，船舶横倾达到35度以上，导致右舷部分集装箱也落海，部分集装箱立柱倒塌及甲板撕裂。当时遭遇的海况和气候条件为：西风7级，海浪7级，涌浪5级，船舶横摇角度达到20°，并突遭一大涌，造成船舶左横摇达35°，横摇周期18.35s，纵摇角度约3°，纵摇周期约4s。后经进一步了解，船上并没有严格按我社批准的装载手册进行配载，在船尾将重箱放在最高层。初步判断，由于恶劣海况横摇加剧时，加上集装箱配载的不恰当致使集装箱绑扎装置局部动载荷过大，从而使局部绑扎装置失效，集装箱落海，部分集装箱立柱断裂倒塌以及附连甲板的撕裂。

## 三、 主要损坏情况

经现场勘查，船上损坏部位均已按要求进行了临时性的修补和加固，主要情况如下：

1. 14#—32#集装箱立柱上的应急操舵控制电缆套管弯曲部位已进行了临时性加固。
2. 主甲板左舷15#—31#以及船尾A甲板左舷破损的扶手已用钢丝绳和临时性的支柱替代。

3. 右舷 31#—32#（两处）以及右舷 22#—24#（一处）破损的甲板均附上了厚为 19.5mm 的覆板，甲板下横梁及防倾肘板变形处进行临时性加固。
4. 左舷 31#—32# 集装箱支柱端部撕开，该处甲板轻微变形。  
详细情况见图 1—图 4。



#### 四、 修理情况介绍

根据现场勘验，并详细考查了损坏区域甲板下构件的损坏情况，通过参考损坏检验报告所述的修理建议，验船师针对损坏区域的修理方案与船东代表及航修队进行了技术磋商，确定如下的修理方案：

1. 左舷 31#—32# 甲板割换 14mm×600mm×1300mm×1pc，右舷 30#—32# 及 21#—25# 甲板割换各为：14mm×1300mm×3200mm×1pc，14mm×3000mm×3300mm×1pc，通过查阅结构图纸，要求所用钢板钢级均为 CCSA36，注意利用原甲板对接焊缝布置换板位置，如若不能，则钢板需

要导圆角，焊接材料为低氢焊条，焊后应对甲板对接焊缝进行煤油试验和无损探伤，同时相应的甲板横梁及附连的防倾肘板进行割换。由于该主甲板区域下部为尾部机舱，所以要提醒施工人员注意动火的安全性，并要求船员进行配合，临时增加防火设备，加强防火巡查。

2. 14#—32#的应急操舵控制电缆管、尾绞缆机冷却水管及油压管路按原样恢复，并固定在集装箱支柱上。
3. 左舷淡水舱进水管及截止阀按原样恢复。
4. 主甲板左舷 15#—31# 以及船尾 A 甲板左舷的栏杆及扶手按原样恢复。
5. 所有破损的集装箱支柱及集装箱基座按原样恢复，同时要保证基座的相对位置及平面度满足要求。



图 5 勘察机舱位置损坏甲板下构件

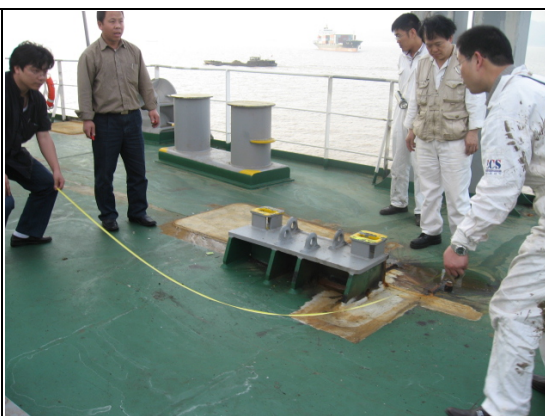


图 6 确定换板范围

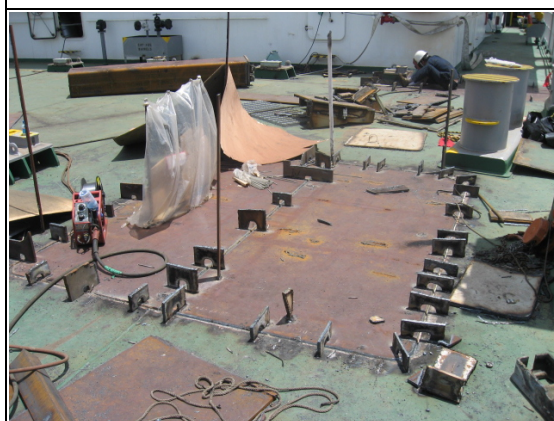


图 7 右舷 21#—25# 甲板焊前



图 8 尾部甲板区域修理后全景图

## 五、 计算分析

1. 该航次出港装载情况

GM: 1.3m



吃水：10.36m

## 2. 装载绑扎布置情况

BAY41/42 在船舶上的具体位置见图 9：

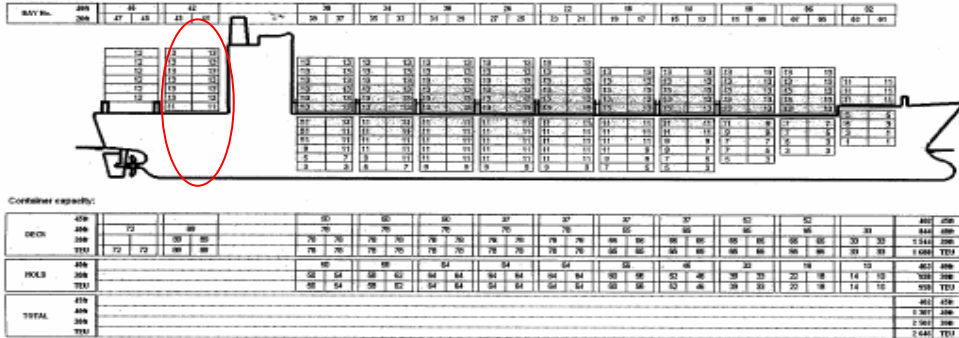


图 9 BAY41/42 位置

BAY41/42 集装箱釜山出港时配载的详细资料见图 10：

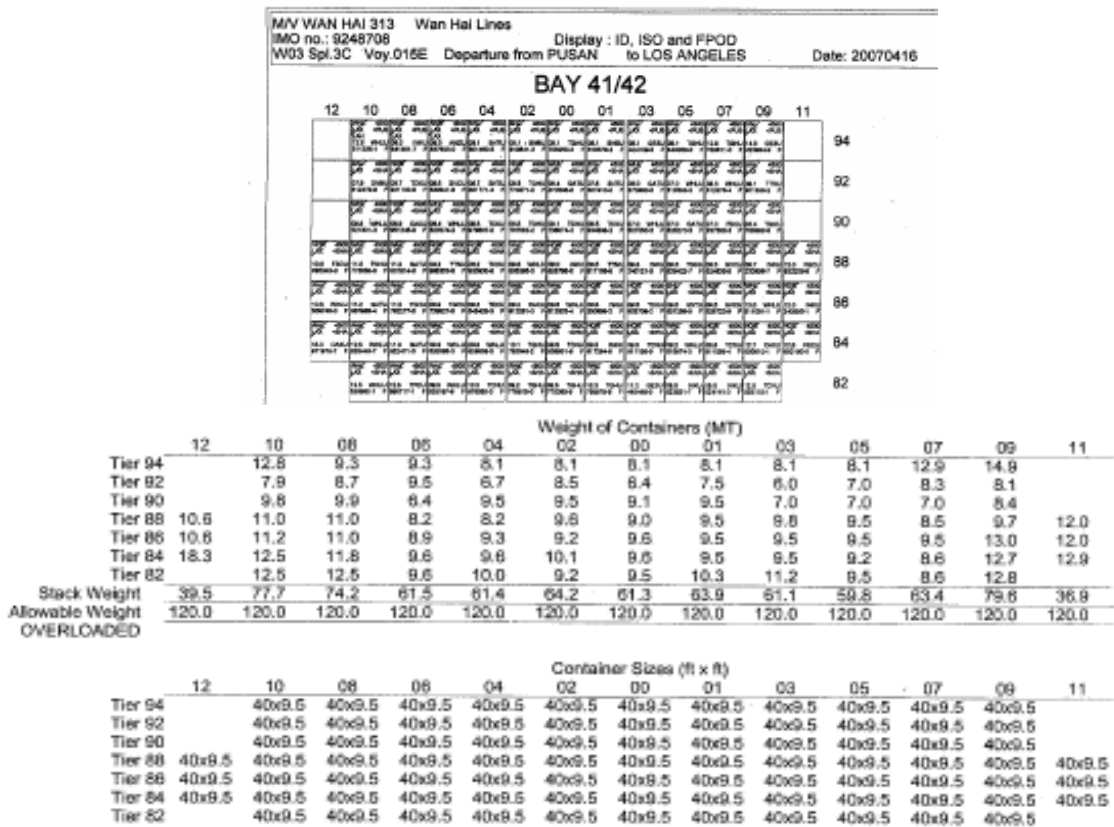


图 10 BAY41/42 集装箱配载明细

### 3. BAY41/42 系固手册要求的绑扎布置

按提供的货物系固手册的资料显示，BAY42 最外侧箱堆（11、12 堆垛）典型绑扎型式应为第 1 层为双层绑扎。第 2 层为单层绑扎。其余堆垛（00—10 堆垛）均为单层绑扎。绑扎型式见下图 11 所示。

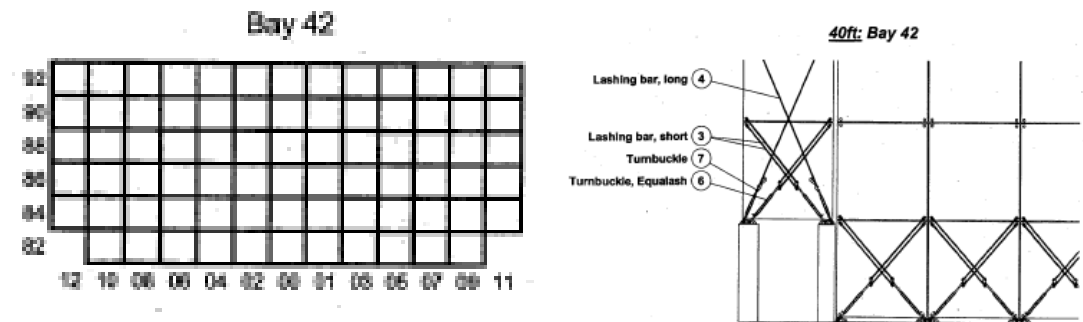


图 11 系固手册上 BAY41/42 集装箱绑扎布置

### 4. BAY41/42 该航次实际绑扎布置

根据该船绑扎件供应商 ALLSET 公司的分析计算的输入数据，可以了解到该船实际开航前 BAY41/42 具体绑扎方式均为在最底层使用双层绑扎的型式。由于船东尚未能提供准确的绑扎布置的资料，以下分析的数据均以 ALLSET 公司校核计算的数据作为输入参数。

### 5. 计算输出数据

#### A. CCS 的 COMPASS 软件计算结果

根据上述输入数据，运用 CCS 的 COMPASS 系统中 SR36 货物系固系统软件对 BAY42 的计算结果汇总见表 1：

表 1 CCS 货物系固系统软件的计算结果汇总（横摇角 24.9°，横摇周期 19.77s）

	12	10	08	06	04	02	00	01	03	05	07	09	11
R 最大扭变力	74	234	171	145	143	153	144	150	138	140	156	239	80
许用值的比值	-0.51	0.56	0.14	-0.03	-0.05	0.02	-0.04	0	-0.08	-0.07	0.04	0.59	-0.47
P1 箱柱压力	174	1104	781	685	656	707	656	687	625	639	755	1134	192
许用值的比值	-0.8	0.28	-0.1	-0.21	-0.24	-0.18	-0.24	-0.2	-0.28	-0.26	-0.13	0.31	-0.78
P1* 箱堆最底层压力	255	1190	856	745	717	767	716	750	690	698	813	1222	256
许用值的比值	-0.74	0.22	-0.12	-0.23	-0.26	-0.21	-0.26	-0.23	-0.29	-0.28	-0.16	0.26	-0.74
P2 箱堆最底层分离力	3	694	383	353	326	358	325	343	300	317	409	714	21
P2MAX 箱堆最大分离力	39	694	388	354	328	358	326	345	307	318	409	714	39
许用值的比值	-0.84	1.78	0.55	0.42	0.31	0.43	0.3	0.38	0.23	0.27	0.64	1.86	-0.84
S 箱堆底角件承受的水平力	31	33	28	22	23	23	22	23	23	22	22	34	27
许用值的比值	-0.94	-0.93	-0.94	-0.96	-0.95	-0.95	-0.96	-0.95	-0.95	-0.96	-0.96	-0.93	-0.95
SF 绑扎件受力	165	332	253	212	210	223	211	219	207	205	222	339	166
许用值的比值	-0.73	-0.45	-0.58	-0.65	-0.65	-0.63	-0.65	-0.64	-0.66	-0.66	-0.63	-0.44	-0.72

SFV 绑扎件受力的垂向分力	120	242	185	155	153	162	154	160	151	150	162	247	121
许用值的比值	-0.8	-0.6	-0.69	-0.74	-0.75	-0.73	-0.74	-0.73	-0.75	-0.75	-0.73	-0.59	-0.8
SFH 绑扎件受力的垂向分力	113	227	173	145	144	152	144	150	141	140	151	231	113
许用值的比值	-0.62	-0.24	-0.42	-0.52	-0.52	-0.49	-0.52	-0.5	-0.53	-0.53	-0.5	-0.23	-0.62

注：表 1 中“许用值的比值”为（计算值－许用值）/许用值。表列比值超出许用值以红色显示，如 10 堆垛的最大扭变力 R 与许用值的比值为 0.56，则表示超出许用值 0.56 倍或 56 %。表 1 显示 09、10 堆垛的扭变力、箱柱压力、箱柱分离力均超出许用值，其中分离力超出许用值 180%左右。另外表 1 还显示 00—10 堆垛的箱柱分离力都超出许用值，其中 00—08 堆垛的箱柱分离力超出许用值 30%—64%。

## B. 考虑实际运动状态的手算结果

货物系固系统软件对绑扎校核计算的船舶运动都有设定的限制范围，如船舶的最大横摇角度不超过 30° 等，而从实际遭遇海况时船舶运动状态的描述所反映船舶实际横摇角度达到 35°，因此以船员提供的运动参数横摇角度 35°，横摇周期 18.35s 代入规范计算公式，以手算求出的集装箱系固系统的受力情况汇总见表 2。

表 2 根据船员提供运动参数的计算结果汇总（横摇角 24.9°，横摇周期 19.77s）

	12	10	08	06	04	02	00	01	03	05	07	09	11
R 最大扭变力	74	234	171	145	143	153	144	150	138	140	156	239	80
许用值的比值	-0.51	0.56	0.14	-0.03	-0.05	0.02	-0.04	0	-0.08	-0.07	0.04	0.59	-0.47
P1 箱柱压力	174	1104	781	685	656	707	656	687	625	639	755	1134	192
许用值的比值	-0.8	0.28	-0.1	-0.21	-0.24	-0.18	-0.24	-0.2	-0.28	-0.26	-0.13	0.31	-0.78
P1' 箱堆最底层压力	298	1275	922	800	772	825	770	807	743	751	871	1309	299
许用值的比值	-0.69	0.31	-0.05	-0.18	-0.21	-0.15	-0.21	-0.17	-0.24	-0.23	-0.1	0.35	-0.69
P2 箱堆最底层分离力	46	780	449	408	380	415	379	399	354	370	466	802	64
P2MAX 箱堆最大分离力	46	780	449	408	380	415	379	399	354	370	466	802	64
许用值的比值	-0.82	2.12	0.8	0.63	0.52	0.66	0.52	0.6	0.42	0.48	0.86	2.21	-0.74
S 箱堆底角件承受的水平力	53	78	61	51	51	52	50	53	51	49	52	79	49
许用值的比值	-0.89	-0.84	-0.88	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	-0.89	-0.9	-0.9	-0.9	-0.84	-0.9
SF 绑扎件受力	107	215	164	137	136	144	136	142	133	133	143	219	107
许用值的比值	-0.82	-0.64	-0.73	-0.77	-0.77	-0.76	-0.77	-0.76	-0.78	-0.78	-0.76	-0.64	-0.82
SFV 绑扎件受力的垂向分力	78	157	119	100	99	105	99	103	97	97	104	160	78
许用值的比值	-0.87	-0.74	-0.8	-0.83	-0.84	-0.83	-0.84	-0.83	-0.84	-0.84	-0.83	-0.73	-0.87
SFH 绑扎件受力的垂向分力	73	147	112	93	93	98	93	97	91	90	98	150	73
许用值的比值	-0.76	-0.51	-0.63	-0.69	-0.69	-0.67	-0.69	-0.68	-0.7	-0.7	-0.67	-0.5	-0.76

注：表 2 中“许用值的比值”计算方法同表 1。与表 1 相比，发生的位置相同，但最主要的分离力的过载值比表 1 大 20-30%，09—10 堆垛的分离力超出许用值 220%左右。

## C. ALLSET 公司的软件计算结果

ALLSET 公司的校核计算结果见表 3，该计算评估未计入船舶超过规范软件的设定最大值，如计算最大横摇角度为 25.3°。

ALLSET 公司的计算结果显示的过载情况及集装箱堆垛位置与 COMPASS 的结果接近。

表 3 ALLSET 公司的校核计算结果（计算最大横摇角度为 25.3°）

Bay No. 42: FORE and AFT ends, acceleration and wind force from both PS and STB													
Bay X Coordinate = 17.34 m													
Basic Hydrostatics													
LCF = 92.95 m, KM = 15.30 m, GM = 1.30 m, Draught = 10.36 m													
Roll Angle and Wind Factor													
Roll Angle = 25.30 deg, Wind Factor = 1.0													
	Forces In Lashings And In Container Structure (kN)												
	12	10	08	06	04	02	00	01	03	05	07	09	11
Lash (T3C1) Tension	50.24												73.12
Lash (T3C2) Tension	68.60												54.76
Lash (T2C1) Tension	40.79	121.32	115.17	96.39	95.66	101.20	95.90	99.68	93.96	93.36	100.82	145.48	53.43
Lash (T2C2) Tension	54.15	142.43	115.17	96.39	95.66	101.20	95.90	99.68	93.96	93.36	100.82	124.37	40.07
Lash (T1C4) Tension	40.79	121.32	115.17	96.39	95.66	101.20	95.90	99.68	93.96	93.36	100.82	145.48	53.43
Lash (T1C3) Tension	54.15	142.43	115.17	96.39	95.66	101.20	95.90	99.68	93.96	93.36	100.82	124.37	40.07
Racking (T_Max)	60.21	197.74	154.57	130.84	129.14	138.48	130.17	135.39	124.97	126.59	140.63	202.02	60.20
Racking (T2)	49.15	197.74	154.57	130.84	129.14	138.48	130.17	135.39	124.97	126.59	140.63	202.02	54.36
Racking (T1)	60.21	136.52	110.39	92.39	91.69	97.00	91.92	95.54	90.06	89.48	96.64	139.44	60.20
Racking (L1)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Lifting Force (Max)	-70.89	-732.88	-485.73	-438.98	-410.45	-444.23	-408.12	-430.75	-385.97	-398.37	-497.84	-756.04	-86.42
Lifting Force (LFT1)	-70.89	-877.96	-597.22	-534.36	-603.98	-546.54	-503.16	-528.50	-474.45	-490.28	-601.14	-904.13	-86.42
Corner Post Compression	297.26	1334.02	1017.39	884.21	850.65	912.02	848.67	888.55	815.35	829.77	967.35	1371.11	315.77
Bottom Corner Compression	383.34	1406.41	1082.33	935.98	903.14	963.58	899.44	942.67	870.63	880.48	1017.72	1445.14	366.60
	Percentage of Permissible Forces (%)												
	12	10	08	06	04	02	00	01	03	05	07	09	11
Lash (T3C1) Tension	23.7												34.5
Lash (T3C2) Tension	32.4												25.6
Lash (T2C1) Tension	21.3	63.4	60.1	50.3	50.0	52.8	50.1	52.1	49.1	48.8	52.6	76.0	27.9
Lash (T2C2) Tension	28.3	74.4	60.1	50.3	50.0	52.8	50.1	52.1	49.1	48.8	52.6	64.9	20.9
Lash (T1C4) Tension	21.3	63.4	60.1	50.3	50.0	52.8	50.1	52.1	49.1	48.8	52.6	76.0	27.9
Lash (T1C3) Tension	28.3	74.4	60.1	50.3	50.0	52.8	50.1	52.1	49.1	48.8	52.6	64.9	20.9
Racking (T_Max)	40.4	132.6	103.7	87.6	86.6	92.9	87.3	90.8	83.8	84.9	94.3	135.5	40.4
Racking (T2)	33.0	132.6	103.7	87.6	86.6	92.9	87.3	90.8	83.8	84.9	94.3	135.5	36.5
Racking (T1)	40.4	91.6	74.0	62.0	61.3	65.1	61.6	64.1	60.4	60.0	64.8	93.5	40.4
Racking (L1)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Lifting Force (Max)	28.5	368.1	244.0	220.5	206.2	223.1	206.0	216.3	193.9	200.1	250.0	379.7	34.7
Lifting Force (LFT1)	28.5	352.5	239.8	214.5	202.3	219.4	202.0	212.2	190.5	196.8	241.3	363.0	34.7
Corner Post Compression	35.1	157.3	120.0	104.3	100.3	107.5	100.1	104.6	96.1	97.8	114.1	161.7	37.2
Bottom Corner Compression	38.1	147.4	113.5	98.1	94.7	101.0	94.3	98.9	91.3	92.3	106.7	151.5	38.4
OVERLOADED													

## 六、 计算结果的初步分析

### 1. 舷侧集装箱堆垛绑扎系统受力分析

表 1 数据显示 BAY42 左右舷最外侧的集装箱堆垛 11、12 堆垛的层数不高(3 层)、重量也不大(总堆重不超过 40 吨),因此尽管只在第 1 层仅使用双层绑扎,校核计算的结果显示该处系固系统的受力并不很大,均在规范许用范围之内,理论上这两个堆垛集装箱底座放置的甲板上集装箱立柱的受力并不大,不会产生损坏的情况。但是该处立柱确实发生严重的损坏,其原因应作进一步分析。

### 2. 紧邻舷侧的集装箱堆垛绑扎系统受力分析

进一步分析紧邻 11、12 堆垛的 09、10 堆垛的计算结果发现,绑扎系统的很多内力却大大超过了规范许用值。该处集装箱扭变力超出许用值约 60%,箱柱压力超出许用值 30%左右,最关键的是堆垛内部的分离力超出规范许用值达到近 180%。另外,在 00—08 堆垛中的最大分离力也要超出许用值的 40%—80%

不等。ALLSET 公司的计算结果表 3 的数据也反映了相似的过载情况。如果以横摇角度  $35^{\circ}$ ，横摇周期 18.35s 代入计算的结果则过载情况更增加了 20% 左右，见表 2 的数据。

### 3. 分离力可能是绑扎失效的最主要原因。

鉴于其他受力超出许用值幅度在 1 倍以内，集装箱绑扎系统的安全裕度可能保持不完全破断损坏。但是大幅超出许用值的分离力（近 2 倍之多），可能是 BAY42 集装箱各堆垛集装箱系固失效的最主要原因。

### 4. 绑扎失效的连锁影响

标题船使用的扭锁“C5AM—HC”、“C5AM—DF”的最小破断负荷为 500KN，而表 1 按集装箱船常规运动状态评估的 09、10 集装箱堆垛的分离力已达到 700KN 左右，如按遭遇风浪的极端运动状态时的评估结果表 2 则最大分离力将达到 800KN 左右。因此 BAY42 的 09、10 堆垛的最大分离力已大大超出控制集装箱分离力的扭锁的安全工作负荷（250KN），甚至超出了扭锁的最小破断负荷（500KN）。09、10 堆垛底部几层的集装箱扭锁可能会先发生破断损坏，使整个集装箱堆垛的绑扎失效，然后整个堆垛可能左右摇晃（尤其在恶劣风浪条件下航行时），会对附近堆垛（11、12 或 07、08 堆垛）施加过度的外载荷，使其集装箱绑扎系统也发生过载，从而引起邻近集装箱堆垛的绑扎系统失效，对安装绑扎设备的构件施加过大的外载荷，发生扭锁、底座及绑扎眼板的破断或损坏及底座附近甲板凹陷等情况。并最终产生类似“多米诺骨牌”的集装箱堆垛倒塌的连锁破坏效应。

### 5、立柱损坏原因的初步分析

经计算分析，09 堆垛绑扎失效后倾覆对 11 堆垛的影响是集装箱内侧立柱根部的正应力已达到 296MPa，超出支柱材料的许用应力，如果按船员描述运动状态下的数据进行分析，则根部正应力将达到 405 MPa。因此立柱附近集装箱堆垛的绑扎失效会对立柱上的集装箱堆垛产生过大的附加载荷，并通过绑扎系统对立柱及立柱的甲板船体支撑构件产生过大的外载荷，可使结构发生损坏。内侧立柱的损坏，使整个集装箱堆垛系统的受力更加恶劣，最终还可造成外侧立柱的损坏，并发生整个舷侧堆垛的集装箱倾覆坠海。

### 6. 紧邻支柱集装箱堆垛绑扎失效的原因



可以初步认为：BAY42 的 09、10 堆垛的绑扎系统失效可能是货损、海损事故的最初原因，而其中堆重分布的不合理（图 1）是绑扎系统受力过大、特别是分离力过大的主要原因。

重箱（14.9t）放置在 09 箱堆顶部，对 09 箱堆的绑扎非常不利的，这点在 BAY42 的其他堆垛中也存在类似问题。

另外一个非常容易忽视的问题是，舷侧堆垛（11、12）的堆层不高，仅达到设计堆层的 1 半（3 层），因此外侧 11 堆垛对内侧 09 堆垛的风载荷的遮蔽作用大大减少（见图 5），以致 09 堆垛的顶层 3 层集装箱将承受巨大的风载荷，对集装箱的绑扎及其不利。如不及时调整绑扎方式（如增加集装箱的第 2 层绑扎等方式），受力分析显示在对系统受力尤其是分离力方面影响巨大（见表 4）。

表 4 风载荷对系固系统受力的影响

	计入风载荷 (kN)	不计入风载 荷 (kN)	影响程度 (受力增加的百分比)
R 最大扭变力	239	186	28.5%
P1 箱柱压力	1134	877	29.3%
P1'' 箱堆最底层压力	1309	1027	27.5%
P2MAX 箱堆最大分离力	802	519	54.5%
S 箱堆底角件承受的水平力	79	66	19.6%
SF 绑扎件受力	219	177	24.0%
SFV 绑扎件受力的垂向分力	160	129	24.0%
SFH 绑扎件受力的垂向分力	150	121	24.0%

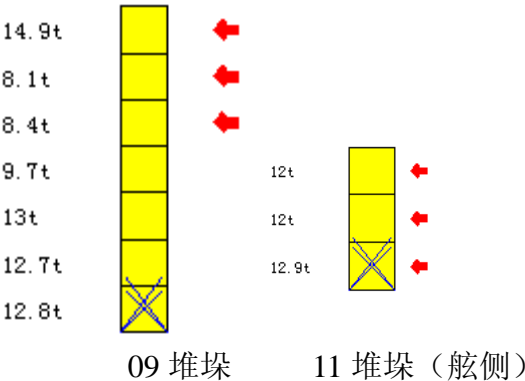


图 10 外侧 11 堆垛及内侧 09 堆垛的风载荷

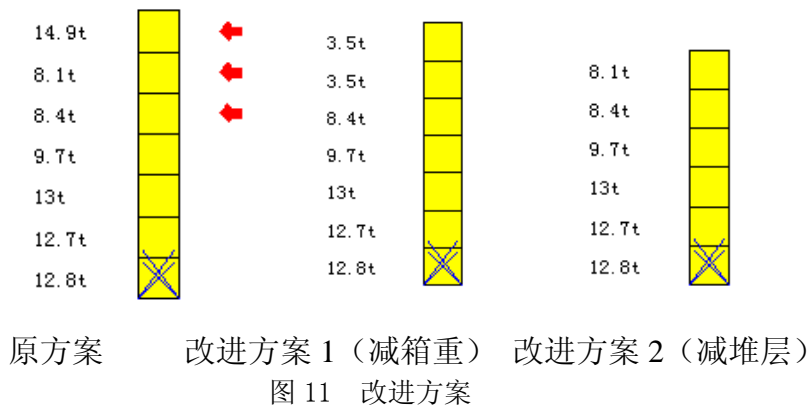
七、海损原因的初步分析汇总

- 1. 最外侧集装箱堆垛 11 堆层不高，不能对邻近堆垛 09 进行有效遮蔽；
- 2. 09 堆垛未能及时调整绑扎方式，另外 09 堆垛未按上轻下重原则进行配载，所以在 09 堆垛内部绑扎系统产生巨大的载荷；

- 09 堆垛底座、扭锁、地铃损坏破断；
- 09 堆垛绑扎失效，09 堆垛在船舶剧烈运动中左右晃动对邻近堆垛 11、07 等产生巨大的外载荷，连锁效应使其他堆垛底部的绑扎设备损害、甲板发生凹陷等；
- 11 堆垛底部内侧集装箱立柱承受过大的外载损坏，11 堆垛绑扎失效，11 堆垛底部外侧集装箱立柱损坏，11 堆垛集装箱发生坠海；
- 左舷和右舷的绑扎和配载布置基本相同，因此右舷发生损坏的原因基本相同；
- 上述分析仅是根据部分提供的资料在评估计算基础上得出，实际情况可能还有其他原因，例如装载集装箱的结构完好性、集装箱绑扎件的磨损程度等都可能产生集装箱绑扎系统的失效。另外，如果海损事故发生后到港时集装箱未卸除时的照片资料、集装箱绑扎件的损坏分析资料等齐全对分析也是非常很益的。

## 八、改进意见

- 集装箱船的船体结构（包括集装箱支柱、甲板、舱口围板、舱口盖等）发生损坏的原因之一与不合理的集装箱装载与绑扎布置有关，因此开航前的集装箱的配载与绑扎的布置非常重要，需按系固手册的布置原则进行配载与绑扎，例如对本案例的 09 堆垛的装载绑扎可以按图 6 改善，改善方案中顶部集装箱如仍可能暴露于风载荷中，绑扎系统的受力还是相当大的，应及时调整绑扎方案，增加绑扎等。



- 尽管每一航次的集装箱装载绑扎的情况与系固手册规定的典型情况不

同，但确实是很好的参考方案，如果限于其他原因，方案与手册规定的典型情况有明显差异，为航行安全起见，建议对该配载绑扎方案进行评估校核，评估校核建议在开航前由船运公司的预配中心技术人员使用专业软件进行操作，以取得安全和经济两方面的平衡。

3. 船舶航行途中，建议按系固手册的要求，对绑扎布置进行检查。集装箱装运时，应做好集装箱重量与配载布置要求的核对。
4. 平时应注意集装箱绑扎件的维护和检修，磨损程度大的集装箱绑扎件（包括地铃、底座等固定式系固设备）应及时更新。
5. 标题船在年度检验时应加强集装箱绑扎件的检查、特别是固定式系固设备及其邻近船体结构的检验，以避免小缺陷造成大损失。