

不同型号的 SPMT 混合拼接使用风险分析与解决办法

李相谦¹ 汪源²

1. 中创工程物流有限公司, 中国·上海 200080
2. 中国外运大件物流有限公司, 中国·上海 200120

摘要: SPMT 是专门用于模块称重、运输和滚装的专用机械。从德国进口的索埃勒 SPMT 在国内有四种型号, 不同型号 SPMT 的配置不同, 将几种型号的 SPMT 混合拼装在一起使用, 存在一些潜在风险, 需要引起大件运输企业和大型模块设计制造企业的重视, 以规避因几种型号的 SPMT 混合拼装使用存在的风险。

关键词: 不同型号 SPMT; 混合拼接; 风险

Risk Analysis and Solutions for the Mixed Use of Different Models of SPMT

Xiangqian Li¹ Yuan Wang²

1. Zhongchuang Engineering Logistics Co., Ltd., Shanghai, 200080, China
2. China Master Project Logistics Co., Ltd., Shanghai, 200120, China

Abstract: SPMT is specialized machinery used for module weighing, transportation, and roll-on operations. There are four different models of SPMT imported from Germany (Soehler) available in the domestic market. Each model of SPMT has different configurations. Combining several models of SPMT for use together poses some potential risks that require the attention of heavy transportation companies and large module design and manufacturing enterprises in order to mitigate the risks arising from the mixed use of different SPMT models.

Keywords: different models of SPMT; mixed assembly; risks

0 前言

20 世纪 80 年代初, 欧洲在开发海洋石油钻井平台推行模块化建造过程中, 对模块移位、滚装上船有强烈需求后, MAMMOET (玛莫特) 和 SCHEUERLE (索埃勒) 联合开发制造的专门用于模块运输的液压平板车。从 2013 年中远、中国外运等企业开始引进 SPMT, 中国液压平板车厂家也开始仿制, 中国大陆迅速推广使用 SPMT。截至 2024 年底, 中国拥有进口索埃勒 SPMT1800 多轴线, 国产 SPMT 6000 轴线左右 (中国境内车辆厂先后有 7 家成功仿制出 SPMT)。

SPMT 的普及使用与中国工程项目采取模块化建造工艺息息相关。2010 年前后, 中国大陆开始在石化、冶金、工民建和第三代核电等项目上探索和攻关模块化建造工艺, 随着模块化建造的经验积累和工艺成熟, 用于模块运输的 SPMT 有了用武之地。

1 中国引进的索埃勒 SPMT 型号主要参数对比

SPMT 具有同步性好、悬挂独立转向、转向模式多、可靠性高、车架结构强度大等优点, 是专门为模块运输设计液压平板车。中国引进的德国索埃勒 SPMT 主要有每轴线 36 吨级、40 吨级、48 吨级和 60 吨级四种型号, 其配置也有所不同 (见图 1、表 1)。

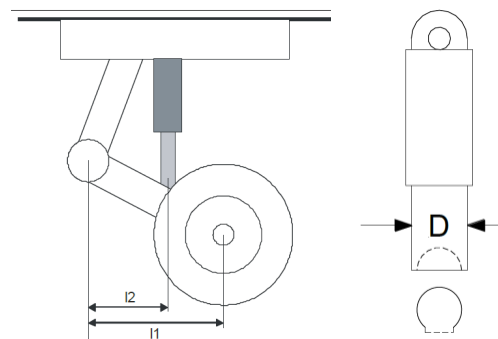


图 1 悬挂与液压缸

表 1 各型号 SPMT 主要参数对比表

项目	轴线 负荷	工作 压力	杠杆传 动比	液压缸 直径	备注
型号 1	36 吨级	260bar	0.507	130mm	仅用于第 2 代 (IMO)
型号 2	40 吨级	249bar	0.507	140mm	仅用于第 3&4 代 (齿条)
型号 3	48 吨级	300bar	0.507	140mm	仅用于第 3&4 代 (齿条)
型号 4	60 吨级	298bar	0.520	155mm	仅用于第 5 代 (齿条)

注: 杠杆传动比 = (比率); 工作压力是指 100% 负荷时的液压系统最大支撑压力。

在称重时，由于轮胎等配置不同，无法测得的支撑油缸下部质量也不同。其主要对比参数如表 2。

表 2 支撑液压油缸不能测得重量

项目	模块重量	不能测得重量
3 轴线 空气胎	12300kg	3120kg
3 轴线 Polyfill 胎	13500kg	4560kg
4 轴线 空气胎	16100kg	4160kg
4 轴线 Polyfill 胎	17100kg	6080kg
5 轴线 空气胎	20000kg	5200kg
5 轴线 Polyfill 胎	21300kg	7600kg
6 轴线 空气胎	23500kg	6240kg
6 轴线 Polyfill 胎	25200kg	9120kg

注：带充气胎的行走机构：1040kg/轴线；带 Polyfill 胎的行走机构：1520kg/轴线；上述是个均值，特殊配置模块将有所不同。

不同 PPU 配置见表 3。

表 3 不同 PPU 配置

项目	自重	最大支持支撑悬挂数量	最大支持驱动悬挂数量
PPU Z150DE	4000kg	40 个 (20 轴线)	16 个 (8 轴线)
PPU Z180DE	5000kg	40 个 (20 轴线)	16 个 (8 轴线)
PPU Z350DA	7200kg	80 个 (40 轴线)	26 个 (13 轴线)
PPU Z390DA	8000kg	80 个 (40 轴线)	26 个 (13 轴线)

PPU Z350DA 和 PPU Z390DA 配 60 吨级时，最大支持支撑悬挂数量为 68 个 (34 轴线)，驱动悬挂 26 个。
PPU Z180DE 和 PPU Z150DE 配 60 吨级时，最大支持支撑悬挂数量为 32 个 (16 轴线)，驱动悬挂 16 个。

2 参数不同在混合使用过程中表现出的特征

由于中国拥有的进口 SPMT 总共 1800 轴线，分布在近 10 家企业，毕竟资源相对有限，在一些超大型模块运输滚装过程中，往往需要将几家企业的不同型号的 SPMT 集中起来使用。例如，中国外运在运输滚装北极二项目 15000 吨模块时，需要同时使用 6 家企业 3 种型号的 630 轴线 SPMT (第 3、4、5 代车辆)。

SPMT 具有电子—液压多模式转向系统 (SADESS)，可以实现多模式转向。不同型号的 SPMT 混合使用时，电控系统是兼容的，但是在布车时需要仔细研究，科学部署，规避风险。下面谈一下不同型号车辆混合使用时存在的一些问题。

2.1 轴线载荷不同 (支反力不同)

SPMT 运输模块时，往往纵向和横向拼接很多轴线模块车，然后通过液压油管和数据线将各组车辆进行连接，使得全部 SPMT 单元模块成为一个整体，采取三点支撑 (有时也采取四点支撑等) 模式，只通过一位操作人员通过控制

器进行操作。

如图 2 所示，SPMT 车组的三点支撑是将整个车组的悬挂根据布车情况和货物重心分布情况进行分组，三点支撑就是将所有的液压悬挂分成三组，每一组的悬挂都并联在一个独立的液压系统中，这个独立的液压系统中的压强 (俗话压力) 相同。

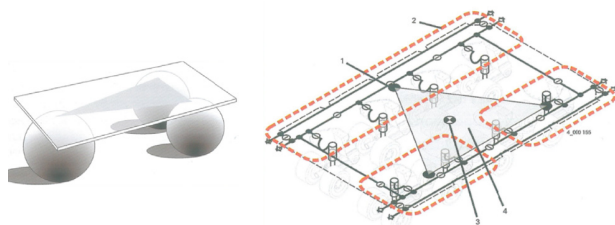


图 2 SPMT 三点支撑原理示意图

如果这一组的所有悬挂的液压油缸的缸径相同，那么每个液压悬挂的支反力就相同。

$$F = \frac{P\pi D^2}{4}$$

其中：F——支反力；

P——液压系统压强；

D——液压油缸缸径。

如果混拼 SPMT，当液压油缸缸径不同时，就会出现不同的支反力。

参表 1，将缸径 140mm 和 155mm 的两种车型拼接在同一液压分组中，就会出现两种支反力。这种混拼车组在运输大型结构物时，对大型结构物的支反力需要有针对性计算。如果大型结构物的强度足够大，不会产生太大的影响；如果运输的大型结构物要求支反力相对均匀，混合不同型号的 SPMT 拼车就需要慎重，特别是混凝土结构的大型构件等。

2.2 SPMT 重载后车板的挠度问题

由于很多大型结构物在运输时与 SPMT 的接触不是面接触，而是由一些横梁或纵梁接触，尤其是横梁受力时，横梁与横梁之间的往往有不小的间距，这样 SPMT 重载后就会出现两个受力横梁之间和车辆两端的悬臂梁出现较大的挠度 (见图 3)。

48 吨级 SPMT 满载，支撑点之间的距离 14m 时，满载时挠度达到 12~15cm，如果刚好有一个缸径 155mm 的 6 轴线模块在两根受力横梁之间，或者一个 4 轴线模块在两端 (悬臂时)，挠度将达到 15~20cm，会使得车板弯矩过大，也严重影响整个车组的正常使用 (会蚕食车组正常使用的伸缩行程，在滚装过程中增大风险)。

2.3 行走速度问题

SPMT 运行速度与轴线载荷大小是有关系的，我们以 48 吨级和 60 吨级 SPMT 为例 (见表 4)。

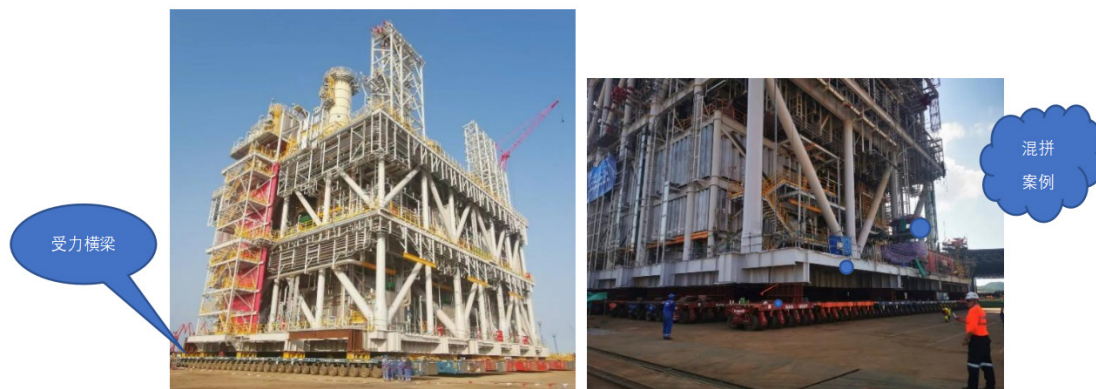


图 3 15000 吨模块横梁受力

表 4 SPMMT 重载速度与载荷之间的关系

速度区间 (km/h)	48 吨级净载荷 (t/轴线)	60 吨级净载荷 (t/轴线)	备注
V=10	$T \leq 31.2$	$T \leq 31.2$	结合技术资料, 载荷图以及 SALSA 分析结 果综合考虑
$5 \leq V < 10$	$31.2 < T \leq 36$	$31.2 < T \leq 46$	
$3 \leq V < 5$	$36 < T \leq 40$	$46 < T \leq 52$	
$V \leq 1$	$40 < T \leq 48$	$52 < T \leq 60$	

注: 从安全考虑, 轴线载荷再小, 重载时也不能超过 5km/h。

SPMT 重载速度与载荷之间的关系其实就是 SPMT 实载率与速度之间的关系, 不同型号的 SPMT 混拼运输模块, 需要从单轴线额定负荷最小的车型考虑, 而不能忽略这个实载率与速度的关系, 否则将存在较大风险。

从表 4 可以看出, 如果混拼不同型号的 SPMT, 同样载荷下, 48 吨级与 60 吨级 SPMT 的安全行驶速度是不同的, 不关注这些细节, 将出现安全风险。

2.4 升降过程中因杠杆传动比不同产生内力

目前进口索埃勒 SPMT 有两种杠杆传动比 (参表 1), 1~4 代杠杆传动比均为 0.507, 而第 5 代车的杠杆传动比是 0.520。

将第 3 代或第四代 SPMT 与第 5 代 SPMT 混拼在一列车中, 该列车在升降过程中, 第四代和第五代 SPMT 的轮胎相对于悬挂中心连接轴的水平位移量是不同的。如果车辆在刹车状态下升降, 势必会产生一些内力, 使得部分轮胎通过滑动来消化产生的内力。

2.5 称重计算不同

模块化建造使得 SPMT 有了大规模使用的机会。而模块在场地运输、吊装、海运配载以及海运捆绑时, 需要确定模块的重量和重心位置, 以进行理论计算和安全性校核。比较精确的称重和找重心位置一般通过称重系统中的 LOADCELL 传感器和配套软件进行, 精度在 1% 左右。如果精度要求没有那么精确, 在 5% 以内, 使用 SPMT 自检功能就可以实现。SPMT 可以实现 3~5% 称重精度。

使用 SPMT 称重找重心, 其精度是与 SPMT 的负荷大小、载货平台高度、作业场地气温、轮胎变形量以及是否达到了稳定静压力有关。原则上车组需要有相同的支撑油缸缸径、

相同杠杆传动比和相同的系统液压工作压力。

当车组中混合几个类型的 SPMT 时, 需要根据不同型号 SPMT 使用的数量、布车位置和其所在浮点的压力详细计算。但是精度仍然是降低了的。

2.6 液压系统工作压力问题

根据表 1 可知, 各型号的 SPMT 的最大工作压力是不同的, 混合使用时, 整个车组最高使用压力不能超过最低最大工作压力。否则会出现部分 SPMT 轴线超载情况, 对液压系统的挑战比较大, 风险急剧增大。

3 如何解决混合使用过程中的存在的问题

运输大型模块时, 原则上各种型号的 SPMT 模块只能单独使用, 以确保所有的行走机构拥有相同缸径的支撑液压油缸、相同的杠杆传动比和相同的系统工作压力。

在运输特别巨大的模块时, 由于 SPMT 资源限制和成本考量, 务必进行混合拼接使用时, 需要做详细的布车方案, 并采取针对性措施来规避混合拼接使用的风险。

①减少混合拼接 SPMT 的型号, 能使用 2 种型号就不要使用 3 种型号。

尽量将同一种型号的 SPMT 模块拼接在整个车组的一个浮点中, 使得这个浮点的所有轴线都是同一种型号的 SPMT。这样可以避免支反力不同的情况, 也规避了不同挠度问题。

如果某一型号的 SPMT 数量较少时, 在大车组某一浮点中的轴线有两种型号, 混拼车原则是将支撑油缸缸径大的轴线布置在模块承载横梁下部, 尽量减少 SPMT 重载后挠度。

②不同型号 SPMT 混合拼接, 配车轴线载荷要小于最小额定负荷轴线的 80%, 运行速度要以最小额定负荷轴线的运行速度要求为标准执行。

③车组中不同型号的 SPMT 要是有不同的杠杆传动比情况, 升降 SPMT 时避免在刹车状态下进行升降。在坡道上进行车组高度调整时, 可以在行进过程中进行调整。

④使用不同型号混合拼接的 SPMT 车组对模块等进行称重找重心位置时, 需要在尽量满足 SPMT 称重前置条件下,

根据布车方案,分浮点分不同型号 SPMT 轴线数量进行详细计算。

参表 5 公式和各型号 SPMT 在各浮点中的轴线数,计算出三个浮点的负荷后,然后计算重心位置(只能计算出重心在平面中的相对位置)。

表 5 单轴线支撑压力和支撑重量的关系(静态)

SPMT 类型	参考公式	备注
1 40 吨级	$M=0.151P+2.717$	根据实验结果推导所得
2 48 吨级	$M=0.158P+1$	M 为单轴支撑重量(吨)
3 60 吨级	$M=0.198P+1$	P 为支撑压力(bar)

⑤不同型号混合拼接的 SPMT 车组,整个车组支撑系统工作压力要以不超过各型号最低最大工作压力为标准。

4 结语

综上所述,SPMT 是为解决模块化生产建造中大型模

块顶升、运输、称重、精确对接和滚装滚卸而设计的专用搬运机械,具有同步性好、悬挂独立转向、转向模式多、可靠性高、车架结构强度大等优点,原则上要求同一种型号的轴线在一起使用,特殊情况采取不同型号混合拼接使用时,要根据不同型号 SPMT 轴线模块特点进行科学布车,并在操作过程中采取针对性措施,以规避混合拼接使用可能出现的风险。

参考文献:

- [1] 肖建英.公路大件运输技术[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [2] 李兴举.大件运输安全技术[M].北京:中国财富出版社,2018.
- [3] 郑艳召.大件运输装备[M].北京:中国财富出版社,2018.

作者简介:李相谦(1985-),男,中国山东菏泽人,工程师,从事交通工程研究。