

模块化工时分析方法在汽车总装标准工时测定中的应用

庄隽涛¹, 管云晗², 俞佳魏²

1. 杭州职业技术学院 吉利汽车学院 浙江杭州 310018

2. 长安福特汽车有限公司杭州分公司 浙江杭州 310020

摘要: 在整车制造企业中,标准工时数据既是企业生产管理的基础数据,也是衡量生产能力的重要指标,它的准确与否将影响到产能估算、设备利用率和员工薪酬等方面,对标准工时的合理测定是企业科学管理的关键。在汽车总装作业中存在较多的重复动作,传统的PTS方法在标准工时测量时繁琐费时,且难以在结果一致性上得到保证。在模特法的基础上开发了一种适用于汽车总装作业的模块化工时分析工具,将汽车总装中常见的操作内容归纳为7大类43个基础动作,再基于此对工序中存在的重复动作模块化处理,既提升了测量效率也降低测量难度。最后通过案例实测,发现使用新方法得到的结果与传统方法相当,说明该方法是准确可行的,使用该方法可以更加快速准确地完成总装标准作业工时的测定。

关键词: 汽车总装;标准工时;模特法;模块化

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.03.008

伴随着我国人口红利的逐渐消退,“招工难”“用工荒”问题凸显,人力成本的增加无形增加了企业的经营成本。各大车企为了应对人力成本高涨的问题纷纷上马机器换人项目,但是自动化的应用在汽车制造领域依然存在一定的局限,尤其是对于像汽车总装这种劳动密集且高柔性化的生产现场,相当部分的劳动力依然无法完全被机器取代,即便是工业发达国家,对于汽车总装也依然采用手工装配这种传统的生产方式^[1]。面对当前的新经常态,市场需求和原材料供应时刻在变化,汽车制造企业要想在激烈的竞争中获得优势,必须要做好自身的产能核算和成本估计,而标准工时正是其中要用到的关键数据。

标准工时的测定

标准工时指的是在一定的工作方法和条件下,普通人在经过培训后,按照正确的方法,以正常的速度能完成某项作业的时间,这与汽车总装作业的标准工时定义相符。通常标准工时由正常作业时间和宽放时间两部分组成,在汽车总装行业正常作业工时指的是操作工经培训合格后上岗以正常速度完成岗位装配任务所花费的时间,其中不包含工人为了维持劳动所需的休息时间以及持续劳动带来的动作延迟,因此还需要宽放时间来修正它。对于汽车总装作业来说,单班产量通常在250~500台,休息间隔在2h/次,综合考虑生理、疲劳和管理因素后将总宽放率定为10%。

目前在汽车制造领域内对于标准工时的测定常采用直接时间测定法和预定动作时间标准（predetermined-time-standards）法，直接时间测定法虽然简单易行但是耗时长，工作量大，需要多次测量结果才具有置信度。而PTS法是通过先期设定好的标准动作时间来评估各种工序操作的所需花费的时间，相对于秒表法，PTS法显著的优点是避免了大量的观测时间，不受操作者作业熟练程度和观测者主观性的影响，每个动作的预定时间值已经由前期的研究给出，其结果更为精确可靠。当前在制造行业最常用的三种PTS方法是时间衡量法（MTM）、工作因素法（Work Factors）和模特排时法（MODAPTS）^[2]。

MODAPTS法

MODAPTS法简称“MOD法”，它以人的身体部位来代替距离，将手指运动作为最小单位，把动作符号与时间值融为一体，共有21种动作类型和8个不同的时间值，而且都是整数（见表1），分析工时便捷易用^[3]。MOD法的代码是由字母与数字组合而成，第一个字母描述的是动作类型，后面的数字则表示完成该动作所耗费的时间值或称为MOD数量。在MOD法中，1MOD=0.129s，代表手指移动一次所消耗的时间。

表1 MOD法动作分类及代码说明

动作分类	代号		说明
移动动作	M1, M2, M3, M4, M5		上肢不同部位及方式的移动，还包括反射运动
终结动作	抓的动作	G0, G1, G3	不同难度下的抓取动作
	放的动作	P0, P2, P5	不同精确度的放置动作
其它动作	下肢和腰的动作	F3, W5, B17, S30	步行，弯腰，坐下，起立
	辅助动作	L1, E2, R2, D3, A4, C4	质量因素，眼矫正，换手，判断，加压，回转

MOD法较其他PTS方法相比已经简化了很多，但是由于汽车总装工艺远比一般产品组装要复杂，其中存在众多的重复动作^[4]，例如走动、布置线束、紧固螺钉以及拍击饰板等。如果直接采用MODAPTS源代码来分析工艺，平均一个工位就需要80到100行源代码，这需要工程师掌握较高的技能，加上每个人对动作的理解的偏差都会影响最终数据的可比性，因此在结合汽车总装作业特点的基础上提出了一种以常见动作为基

础模块的标准工时分析方法，帮助企业更加准确高效开展标准工时测定工作。

基于MOD法的模块化工时分析工具设计

1.汽车总装装配的基本动作归纳

汽车总装是将汽车制造过程中分散加工、制造的各个总成、部件和零件，按照特定的工艺要求和技术标准，组装起来的过程，涉及内外饰、底盘、动力单元、电气系统、车辆调试与检验等多个方面。通过与企业工程师团队的共同讨论，针对汽车总装工艺及其特点，将现有汽车总装装配中的所有基本动作进行了统计划分，逐个进行分析并最终确定了总装装配的基本动作如表2所示。

进行分析并最终确定了总装装配的基本动作见表2。

表2 总装基本动作分类

	动作类型	动作说明
汽车总装基本动作分类	安装零件	将零件装配到指定位置
	紧固零件	使用工具对紧固件实施固定
	黏贴/连接/润滑	手指的精细动作
	去除保护物	拆除零件的包装
	质量检查	对装配质量进行确认
	单独移动	完成装配所带来的身体运动
	辅助动作	配合装配所需的动作

（1）安装零件 汽车的总装过程，其实就是将各类零部件安装到车壳或总成上的过程，但是这里仅仅指的是零件到达理想位置，并不包含固定。跟据装配的难易程度分为4个级别，动作说明见表3。

表3 安装零件动作

动作名称	动作说明
简单零件	使用单手即可完成安装
中等难度零件	一只手安装，需要另一只手辅助
复杂零件	需要双手才能完成的安装
安装中的调整	如安装时需要改变方向或拍打一次

（2）紧固零件 汽车总装的主要工艺就是通过拧紧螺栓获得夹持力，但是一些特殊的点位需要提前用手预带紧固件，防止使用电动工具直接紧固时发生滑牙。因此将紧固动作分为只预带，紧固预带好的螺钉，无预带直接紧固以及使用大型设备紧固4个大类，部分动作及说明见表4。

表4 紧固零件动作

动作名称	动作说明
拿取紧固件并手动预带	从料盒拿取标件，用手指预带3圈
拿取紧固件深度预带	从料盒拿取标件，用手指预带6圈
电枪紧固（已预带）	使用电枪对准已经预带过的紧固件扣动扳机持续一定时间
电枪紧固（无预带）	需要拿取标件安装在工具套筒上再对准扣动扳机，持续一定时间
拧紧机/助力臂紧固（已预带）	拉动大型拧紧设备对准已预带好的紧固件并扣动扳机一定时间

（3）黏贴/连接/润滑 在总装工艺中除了紧固这样的常规操作外，还有贴胶布、连接插头/管路、卡卡子、刷胶及喷润滑水这几种典型动作，有些动作需要借助工具才能完成，部分动作及说明见表5。

表5 黏贴/连接/润滑动作

动作名称	动作说明
贴标签/胶布（手指按压一圈）	伸手从料盒拿胶布—撕胶布—丢离型纸—贴胶布—按压一圈
线束/快接插头/橡胶管连接	左右手分别够取AB件，对齐后执行推—拉—推
卡卡子	从料盒或线束上拿取卡子，对准安装位置后压入
刷胶	拿取刷子，对准涂刷区域手腕运动4次，放回刷子
喷涂润滑水	拿取喷壶—对准位置—按压开关—放回喷壶

（4）去除保护物 有的零件是有包装袋、堵盖或保护膜的，在装配前需要将零件上的保护物去除。为了保证水管连接的牢固，还需要在完成安装后使用卡箍钳释放卡箍抱紧水管，分动作及说明见表6。

表6 去除保护物动作

动作名称	动作说明
卡箍释放	拿取释放钳对准卡箍位置，撬动卡点，放回工具
拆除包装/保护膜-简单	找准拆除起点，反复移动小臂4次，拆除后丢弃包装
拆除包装/保护膜-困难	找准拆除起点，反复移动小臂8次，拆除后丢弃包装
去除堵盖/线束插头	拿取零件，手腕对准堵头，拔取并丢弃

（5）质量检查 为了保证装配质量，对于一些关键工艺，操作者需要对已完成的作业进行质量确认，确保车辆的功能和外观符合用户要求，部分动作及说明见表7。

表7 质量检查动作

动作名称	动作说明
目视检查	靠眼睛确认装配完成度和表面效果
触碰检查	移动手臂到制定位置，通过触碰进行装配确认
色标	对工件某些位置进行一次画线检查

（6）单独移动 有时候为了够着装配点或拿取待装配零件，需要作业人员移动脚步来配合手部动作来完成空间跨越。例如进出车辆、走动、旋转托盘等。部分动作及说明见表8。

表8 人体移动动作

动作名称	动作说明
坐进车内	抬脚跨进车内，坐下后收另一只腿
走出车内	单脚跨出门坎，起身带动另一只脚移出车辆
托盘旋转90°	伸手够着托盘把手，拉回后继续转动至90度
走动1步/转身	迈单只脚走动1步

（7）辅助动作 车辆装配环节中还包含着一些辅助装配的动作，例如物料车的上下线、物料盒的投放，零件的上线扫描，钣金件的开合等。部分动作和说明见表9。

表9 辅助动作

动作名称	动作说明
打包车上线/下线	拉/推打包车到滑板上并固定定位销
物料投放	双手拿料盒将其投放到固定区域
操作开关	扭动开关
使用扫描枪扫描一次	拿取扫描枪对准零件标签扣动扳机
打开/关闭尾门	抓尾门下沿举过头顶后松开

2.标准工时数据表的编制

在完成汽车总装基本动作的梳理后，需要对这些动作逐个进行MOD法工时分析，为标准工时数据库提供底层数据，后期对具体操作的工时进行分析时只需从该库中调用命令，将大大减小标准工时分析的复杂度，同时提升统计效率。工时数据表中将包含动作的类型、描述、MOD编码及耗时等数据，供工程师查询，且可随着生产工艺的更新而删减内容。

（1）安装动作 在整车总装中零件大多都是以徒手装配的方式固定到车身的，以常规的单手安装动作为例，需要先伸出小臂去抓取需要安装的零件（M3G1），考虑到零件的堆叠状态需要调整后拿出（M2P0），再移动手臂带动零件到它的安装位置（M3P5），手部微调完成安装（M2P0）所以该动作的模特法编码为M3G1M2P0，M3P5M2P0。

（2）紧固动作 大多数零件在完成安装后还需要由标准件进行固定，这就需要使用到电动工具，以使用工具紧固一颗未经预带的螺栓为例，MOD法编码为

M3G3M2G1, M3P2, M3P5, M1P0, M3P2, 指的是移动小臂拿取工具 (M3G3), 并从料盒里拿取一个标件 (M2G1), 将标件装于套筒上 (M3P2), 移动工具到工作位置 (M3P5), 扣动扳机 (M1P0), 放回工具 (M3P2)。但是需要注意的是, 因为不同工具的拧紧时间差异较大, 所以在最终计算时需要跟据实际加上机器时间。

(3) 黏贴/连接和润滑 黏贴和连接工艺是汽车总装中的常见作业, 主要为手指范围的精细操作, 而润滑则是使用喷壶对零件进行湿润, 这和使用电动工具进行紧固的操作类似。这里以黏贴胶布为例, MOD法编码为M3G1, M3G3M3P0, M3P2M2P5M2P0, 将小臂移向料框拿取一片胶布 (M3G1), 找到胶贴的起头 (M3G3), 撕下胶贴 (M3P0), 将其胶布边沿贴先上 (M3P2), 移动手腕将胶布压平 (M2P5), 最后用手指再次确认效果 (M2P0)。

(4) 去除保护物动作 一些零件在送达工位时仍保持着初级包装, 需要作业人员在装配前手动去除, 例如产品的包装盒、保护膜、堵盖等。这里以常见的拆塑料包装袋为例, MOD法编码为M3G1, 4M3P0, M3P0M3P0, 先伸手连带包装拿起一个零件 (M3G1), 因拆除包装有一定复杂性, 这里取拆包装动作的平均值为挥动4次小臂 (4M3P0), 接着伸手丢弃包装 (M3P0), 并按压垃圾桶表面压缩垃圾体积 (M3P0)。

(5) 检查动作 为了保证装配质量, 对于一些容易错漏装的位置或有装配要求的地方, 会安排自检或互检, 较为常见的检查方式有目视、触摸, 画色标, 以画色标为例, 模特法编码为M3G1M3P0, M4P2M2P0, M3P2M2P0, M3P2, 伸右手拿取色标笔左手拔下笔帽 (M3G1M2P0), 调整手臂到需要点检的位置画下色标 (M4P2M2P0), 收回手臂将笔头对准笔帽盖紧 (M3P2M2P0), 放回色标笔 (M3P2)。

(6) 移动动作 车间内最为常见的移动类型为步行, 直接采用代码W5即可, 此外还有一类操作普遍存在于分装区域, 总成处于托盘上组装, 工人需要

转动托盘找到适合装配的角度, 以托盘旋转90度为例, 代码为M4G1M3P0, M5P0, 代表伸手够着托盘旋转球头后回拉 (M4G1M3P0), 再向预定方向推出 (M5P0)。

(7) 辅助类动作 除了往车上装零件外, 还需要一些操作来辅助装配, 例如物料的上线和投放, 零件的上线扫描, 设备开关的控制等, 有些固定的复杂动作, 为避免源代码过长, 可以采用秒表法计时, 例如打包车上线耗时30s, 从打包车中拿取料盒投放到车内则采用MOD法编码M3G1, M4P0, 指的是从包车中抓取料盒并投放到车内, 需要注意的是这里不包含走动, 要完成该动作需要和移动动作配合使用。

3.动作价值评价

在一个工人看似忙碌的工作循环中, 其实其中包含着合理动作和不合理动作, 有些动作对产品的最终形成并无意义。为了衡量装配中的动作浪费, 将标准装配动作的内容分为增值动作 (VA), 非增值但必要动作 (NVABN) 与非增值非必要动作 (NVA) 三类^[5], 见表10。其中非增值非必要动作是后期优化的重点, 通常是由于工艺或现场布局不合理导致的, 是一种浪费行为, 可通过一定的手段去除。通过增加该内容可帮助工程师识别动作浪费, 并为不同使用者提供统一标准, 用来衡量生产过程以及工艺布局的合理性。

4.用户界面设计

为了降低工时统计人员的作业难度, 提升标准工时测算效率, 利用普及率广的EXCEL表格开发了应用界面, 取名为“模块化工时计算板”, 见表11。使用者无需去比对各动作所对应模特法代码的含义, 只需要输入完成每个零件装配所匹配的次数、个数及步数, 即可经表格自动计算得到该工序对应的标准工时, 同时引入动作价值评价, 在工时测定的同时完成动作分析, 以识别出生产过程中存在浪费并且以定量的数据去衡量这些浪费为后续的工艺改善打好基础。

表10 标准工时界面数据表中“安装零件”大类内容展示

动作类型	常见动作	Mods代码	MOD数	VA	NVABN	NVA	评定系数	时间
安装零件	简单零件 (单手安装)	M3G1M2P0.M3P5M2P0	16	2	14		10%	2.27
	中等难度零件 (一手安装, 一手辅助)	M3G1M2P0.M3G0M3P2M3P5M2P0	24	2	22		10%	3.41
	复杂零件 (双手安装)	M3G1M2P0M2G1M2P0.M3P0M2P2M2P5M2P0M2P0	29	4	25		10%	4.12
	安装调整-如换一次方向, 拍打一次	M3P0/C3	3	0	3	0	10%	0.43

表11 模块化工时计算板用户界面（部分）

工艺动作区			参数输入区			工时输出区			
序号	动作类型	具体动作	次数/个数	走动步数	机器时间	工时	VA	NVABN	NVA
1	安装零件	简单零件（单手安装）	1	4	N/A	5.28	0.28	2.41	2.58
		中等难度零件（一手安装，一手辅助）			N/A	0.00	0	0	0
		复杂零件（双手安装）			N/A	0.00	0	0	0
2	紧固零件	拿取紧固件并手动预带（预带3圈）			N/A	0.00	0	0	0
		拿取紧固件手动预带（深度预带6圈）			N/A	0.00	0	0	0
		电枪紧固(已预带)			2.5	0.00	0	0	0
		电枪紧固(无预带)	2	6	2	14.11	4.00	5.53	4.58
		拧紧机/助力臂紧固(已预带)			2	0.00	0	0	0

模块化工时分析法与传统模特法的对比

以“安装前门碰撞传感器”工序为例，分别使用模块化工时分析工具和传统MOD法进行标准工时分析，表12为传统MOD法分析过程，经过18行动作分析，将MOD代码求和得到104MOD，对应最终总用时17.416s，考虑10%的宽泛率后得到标准工时为19.16s。而使用模块化工时分析工具来处理此问题，只需要将操作分为两块内容，分别是拿取传感器安装（包含简

单安装1次，走动4步）和使用工具将其固定（包含紧固数量2，走动6步），合计用时19.39s。两者误差仅为0.2s，但是在投入上却相差甚远，可见所提出的模块化工时分析工具在大幅提升工作效率的同时具有较高的可信度。

结语

本文针对汽车总装装配内容多，重复动作多的特点，基于MODAPTS法开发了一种模块化工时分析工具用于汽车装配标准工时的测定。使用时只需要输入完成每个零件装配所匹配的次数、个数及步数，即可自动计算得到工序对应的标准工时，通过使用该工具可帮助技术人员更加高效准确的完成标准工时测定工作，依赖分析结果中的动作价值评价，可帮助企业识别生产中的浪费情况，为优化工艺和生产布局提供参考。

参考文献：

[1] 闵俊超. 基于MODAPTS的Y公司整椅总装业务标准工时体系改善[D]. 上海：华东理工大学，2017.

[2] 邹树梁，余潇韧，向虹，等. 制造业标准工时制定方法研究现状及展望 [J]. 南华大学学报（社会科学版），2014，15（4）：61-65.

[3] 戴琳琳. 基于装配动素相似性的汽车总装混流生产线平衡研究[J]. 机械设计与制造工程，2023，52（8）：103-106.

[4] 张丽珍，邵祺，杨加庆，等. 汽车装配标准工时设计中模块化设计方法的研究[J]. 现代制造工程，2017，（5）：120-125.

[5] 安乐，刘星，邓浩，等. 基于MODAPTS法的汽车座椅标准工时测算研究[J]. 价值工程，2018，37（24）：151-154. **AUTO1950**

表12 传统MOD法对“装配碰撞传感器的分析过程

工艺描述	步数	MOD代码	MOD值	时间/s
1. 拿取前门碰撞传感器				
走1步到打包车	1	W5	5	0.645
从打包料盒里取出碰撞传感器		M3G1	4	0.516
走2步到标件架	2	02W5	10	1.29
2. 紧固前门碰撞传感器				
从螺栓料盒里取出碰撞传感器紧固螺栓2颗		M2G3M1G1	7	0.903
走2步到枪架	2	2W5	10	1.29
从电枪架上拿取电枪		M2G1	3	0.387
走3步到装配点（同时装载螺栓到电枪）	3	3W5	15	1.935
安装并调整碰撞传感器的位置		M2P5	7	0.903
对准电枪到紧固位置右侧		M3P5	8	1.032
扣动扳机/释放扳机		M1P0	1	0.129
电枪运行		T0.0333		2
装载螺栓到电枪		M2P2	4	0.516
对准电枪到紧固位置左侧		M3P5	8	1.032
扣动扳机/释放扳机		M1P0	1	0.129
电枪运行		T0.0333		2
走2步到枪架		M1P0	1	0.129
放下电枪	2	02W5	10	1.29
数据统计	10		104	17.416