

机械装调工艺中虚拟装配技术的研究和应用

撰文 / 凯迈（洛阳）测控有限公司 张志超 刘兴明 顾永斌 李永飞

一、引言

计算机的出现和发展，适时地满足了人类社会生产发展快速多样化的需要，在它被广泛应用到生产制造领域后，彻底改变了传统的生产制造模式，从设计到装配成成品的产品生产全生命周期过程都可以在计算机的虚拟环境中模拟仿真。在研究和应用的过程中产生各种各样与计算机辅助相关的概念方法，如：计算机辅助设计、计算机辅助制造和计算机辅助工程等，即人们熟知的“CAD/CAM/CAE”。虚拟现实技术的发展为计算机辅助方法的发展提供了更为便利和实用的条件。

虚拟现实技术的分支之一——产品虚拟装配是目前研究的热点（虚拟装配是在虚拟环境中，利用虚拟现实技术将设计出来的产品三维模型、成件模型等进行预装配，在满足产品性能和功能的条件下，通过分析、评价、规划和仿真等改进产品的设计和装配的结构，实现产品的可装性和经济性），是实际装配过程在计算机上的本质体现，是虚拟现实技术与装配技术相结合的产物，为彻底解决传统装配中存在

的弊端带来了希望。尤其是对于结构复杂、零部件繁多且加工精度高的产品。各类光电侦查设备，在其加工、制造尤其是装配过程中，往往需要经过多次的试装、拆卸和返工，造成了大量的人力、物力和财力的浪费，并延长了研制周期，虚拟装配技术的发展为解决这一问题提供了一条有效途径。传统产品开发过程如图 1 所示。



图 1 传统产品开发过程

本文主要阐述将虚拟装配技术应用到机械装调工艺中，使得装配工艺更为直观全面，以装配过程三维爆炸视图显示，甚至动画的形式直观地表达装配过程，便于操作工人对于装配工艺的理解。本文以光电侦查设备为研究对象，基于 SolidWorks、NX 三维软件，以虚拟装配、运动仿真和爆炸

运用 Rhino 软件，采用合理的建模思路，可以得到精度高、表面连续性高，同时符合造型设计师预期要求的游艇模型。Rhino 软件作为工业设计师尤其在游艇造型设计中必备的造型软件，其强大的建模功能深受设计人员的喜爱，在前期的设计中，其建模的思路和功能符合设计师的三维逻辑思维。在后期的效果图展示中，可以无缝衔接 Keyshot 渲染软件，进行更加真实直观的表达，用于最终的方案展示，而且，Rhino 建模软件还可以组装非常多的插件，进行游艇船体结

构的有限元分析，其收集的数据有相当大的科研作用。因此，在实际的设计中，可以根据自己的实际需要，根据最终定型的游艇设计方案，进行船舶工程及工艺设计，需要船体、轮机、电器及舾装等多个领域的工程师协同设计，绘制整套工程图，然后送至船舶主管部门审核。在生产制造过程中，设计师，工程师密切合作，根据实际情况对方案进行修改，提升游艇的品质。同其它庞大而昂贵的 3D 造型软件相比，Rhino 价廉物美的特点比较适合目前中国游艇制造企业的现状。IM

视图等为手段，通过对光电产品典型组件装配过程三维爆炸视图以及动画的再编辑，从而实现装配工艺三维可视化，通过三维爆炸视图在装配工艺规程的应用，以及产品装配前对操作者的多媒体动画培训，实现机械装调工艺的改进、发展。并行设计工作模式如图 2 所示。

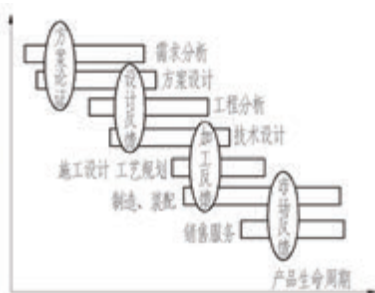


图 2 并行设计工作模式

1. 传统机械装配工艺规程概况

机械装调是机械制造中的后期工作，是形成产品的关键环节，机械装调是依据产品设计规定和精度要求等，将构成产品的零件、成件等结合成组件、部件，直至产品的过程，机械装配工艺是根据产品结构、制造精度、生产批量、生产条件和经济情况等因素，将这一过程具体化。机械装配工艺必须保证生产质量稳定、技术先进和经济合理。机械制造工艺是机械制造的重要组成部分。

我们一直沿用的机械装调工艺方案的选择主要依据：产品整体结构、零件大小、制造精度和生产批量等因素，我们依此来选择装配工艺的方法、装配的组织形式，装配过程主要为钳工通过手工的测量、刮削等来完成的，这样能做到在装配过程中及时对零部件进行修配以保证装配任务的完成，但是也存在不足。

(1) 须等零件全部加工完成后才可进行装配，而且一些必要隐含的装配尺寸问题很难及时发现，问题难定位，需要重复拆装。

(2) 能体现并行设计的思想。

(3) 一般要反复修改，进行多次试装配，周期长，成本高，不能适应当前敏捷制造的需要。

2. 虚拟装配技术主要优点

(1) 实物产品的数字化再现，即生成产品数字模型。

(2) 冲突检测，是指组成产品、各个级别的装配体的零部件进行集合上的干涉检查，这里的检查包含有零部件在装配体中的静态空间位置的相交性，也包含零部件在构成产

品的装配过程中在空间上的集合干涉。

(3) 生成装配序列和路径，在产品建模和排除“冲突”的过程中，生成优化的装配序列和路径，减少实际生产中的装配时间。

利用虚拟装配技术可以进行虚拟零部件设计和虚拟装配设计，并进行相应的装配检验，对产品的零部件及结构设计进行分析、评价，并根据检验结果，修改设计，从而在计算机虚拟环境中完成了产品的开发设计过程，大大缩短了新产品的开发设计过程，降低了开发设计成本和生产成本。

3. “虚拟装配技术”在工艺技术中应用现状和发展趋势

公司自 2009 年以来，在编制机械加工、装配工艺规程中逐步地应用 SolidWorks、NX 和 Pro/ENGINEER 等三维软件进行辅助工艺设计，例如按照加工步骤进行零件三维模型的建立；成件、电子元器件三维模型的收集以及实测实建；组件模型的建立，干涉检验；组件三维爆炸视图动画显示，优化整合最合理的装配路线；结合现今 CAPP 信息化系统以及工艺文件需要的三维爆炸视图的 CAD 二维转化，零件过程模型的应用等。

经过几年来的不断尝试和积累，以及 CAPP 信息化技术的发展，结合实际工作需要，公司正在进行现有 CAPP 信息化系统进行升级改造，向着三维 CAPP 信息化系统发展。

二、产品虚拟装配技术在装调工艺中应用的必要性

1. 生产现场对工艺规程的需求

在生产现场，操作者根据装配工艺的要求进行操作，他们对工艺文件的理解以及工艺内容的掌握程度将直接影响装配质量和装配效率。目前，装配工艺一般是以文字叙述为主，以说明图（设计二维图样）为辅的工艺表述形式，有些复杂的装配图示不直观，容易造成操作者理解上的偏差，且理解和掌握起来需要花费较多的时间和精力。而利用计算机仿真和虚拟装配技术，将装配工艺以的三维爆炸视图展现出来，并在爆炸图上进行文字说明（如图 3 某型号升降机构运动部件装配图所示），使得工艺文件能够以一种直观、细致的方式对装配工艺进行描述，从而达到提高效率的目的以满足快节奏的生产需要。

2. 工艺人员完成高质量装配工艺的需要

进行产品的虚拟装配，已经成为了工艺技术人员全面解读设计意图，梳理装配路线，选择高效可行的工艺方法的需

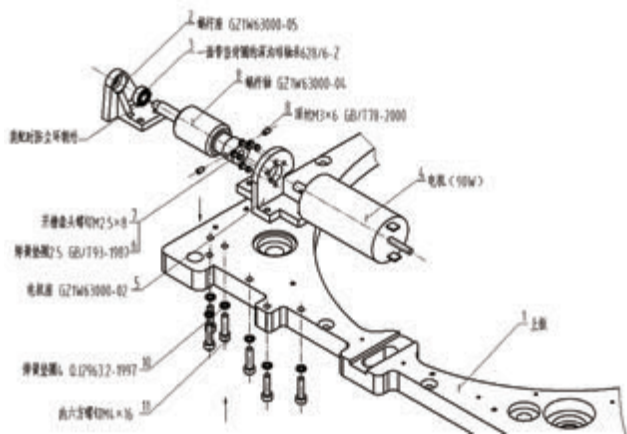


图3 某型号升降机构运动部件装配图

求,并且能够很好的进行工艺路线、工艺方法的可行性验证。

随着光电产品型号的不断增多,产品研发生产周期的压缩,单纯的二维设计图样已经不能满足工艺工作的需要,由于产品研发段模型与最终设计图样的偏差,这就需要:工艺人员认真审核图样、模型,确认最终的零件模型;对部分成件重新建模;对电路板的主要特征进行建模,对根据零部件、成件等的约束关系、装配层次和零部件在虚拟空间的位置和姿态关系来对各零件进行装配并生成装配模型。

如图4所示,为某型号消旋电机组件主轴装调的三维爆炸图所示,依据虚拟装配,可以检查干涉情况,明晰组件轴承系启动力矩本质为,增减推力轴承内外调圈得出公式: $L=L_1+L_2$,有助于装调方法的确定,以及明、细化工艺规程,便于现场生产。

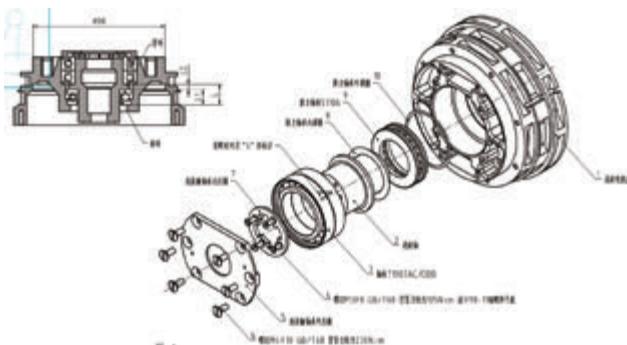


图4 某型号消旋电机组件主轴装调

3. 科研产品“并行设计模式”的实现

虚拟装配技术对于科研产品优化设计、产品性能完善,减少开发过程产品反复,提高产品质量等有着重要意义。结

合本公司现行生产模式,生产部门单纯依据设计CAD二维图样进行加工、装配,很难全面把握产品,工艺人员进行重新建模,核对、确认(过程中与设计协调)零件最终技术状态;但是单纯依据设计装配图样,很难核对组件装配是否干涉,以及组件是否满足设计功能要求。

拿近期一个生产实例来说明,图5为某型号俯仰组件外俯仰部分的装配图局部,以及相应的旋变压圈、右侧旋变座的零件图样局部视图,外俯仰旋变内圈的出线需通过缝隙B、右轴过线孔、缝隙A,此例主要来分析旋变内圈导线是否存在装配隐患。

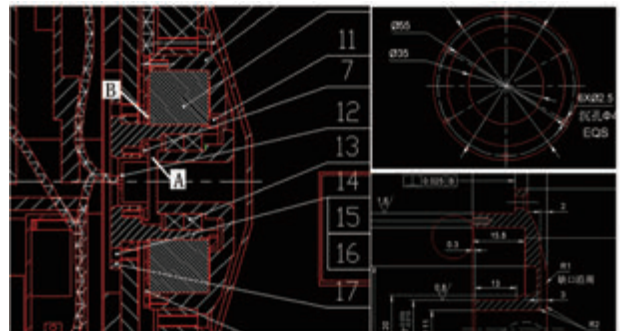


图5 某型号外俯仰装配图及相关零件尺寸

单纯依据装配图,旋变内圈出线貌似不受影响,而实际情况如图6所示(图6为依据设计图样进行零件建模,依据旋变实物进行测绘建模,按照装配关系进行约束组装),B缝隙仅有0.2mm,A缝隙仅有0.8mm,而且A、B两处均有相对转动,存在旋变线磨损切断的隐患,由于实际装配过程,该处较为隐蔽,不容易发现,交付用户后使用一段时间问题才会暴露出来。

在进行模型虚拟装配过程中,工艺人员于此进行反馈,并提出更改建议:(1)更改旋变压圈尺寸 $\phi 35$ 为 $\phi 41$ (拓

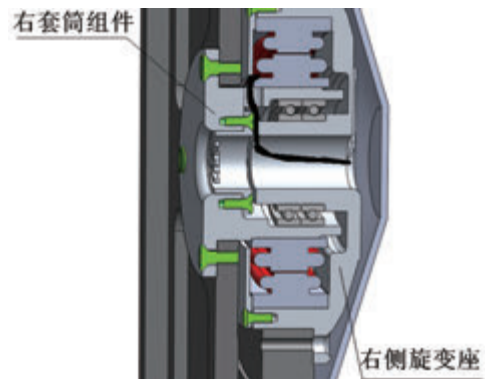


图6 设计蓝图建模后状态

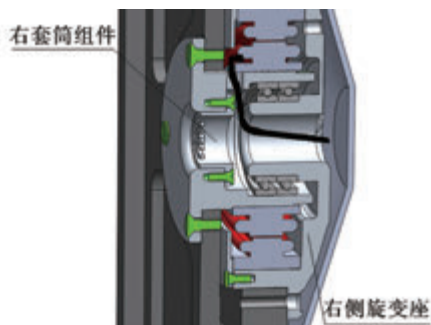


图7 工艺验证建议状态

宽缝隙 B)；(2)更改右侧旋变座尺寸0.3为2.9(拓宽缝隙 A ，且满足设计需要：轴承不脱出)，增加内孔圆角 $R1.5$ ，减少磨损导线的隐患。

通过对模型装配的分析，预见性的消除生产过程中的隐蔽问题，很好的做到了设计反馈、生产反馈的流畅执行，有效地辅助于设计优化、产品性能完善，可见虚拟装配技术应用的必需性。

三、虚拟装配技术在机械装调工艺中的实际应用

在此我们结合生产实例，以及近年来工程技术室虚拟装配在机械装调工艺中的应用经验积淀，来说明虚拟装配技术在机械装调工艺中的实际应用的几个要点，以及应用方法。

1. 装配建模

本文的装配建模是应用 SolidWorks 2008 完成的，工艺规程由艾克斯特 CAPP 信息化完成，装配模型的建立是以零件几何模型的建立为基础的，成件、元器件等依据资料以及实物进行测量绘制。虚拟装配建模就是在虚拟环境中根据零部件的约束关系、装配层次和零部件在虚拟空间的位置和姿态关系来对各零件进行装配并生成装配模型。

零件模型的建立，主要依据设计图样，零件建模的正确性关系到零件加工工艺的编制，以及后续虚拟装配的正确性；成件模型的建立，模型建立依据一方面来自资料的查询，另外就是依据实物，进行实测实绘，对于复杂的成件表述出成件与装配相关的关键特征；电路板模型的建立，依据设计图样，以及装配位置，绘制接插件位置，以及可能装配干涉的器件，力求尽量详尽表述。

例如某型号俯仰电机组件，首先依据设计图样建立零件模型：“左侧端盖、俯仰电机法兰、左轴、左轴承外压圈、

俯仰内调圈、俯仰外调圈、左轴承内压圈”；因软件中自带标准件库，则 GB/T68 M3×8、GB/T68 螺钉 M3×10、QJ2963.2 弹簧垫圈 2.5、GB/T97.1 垫圈 2.5、GB/T65 螺钉 M2.5×8、GB/T276 轴承 61805 按参数要求生成，而成件 J128LYX001 力矩电机依据实物测绘。图 8 所示为该组件模型。

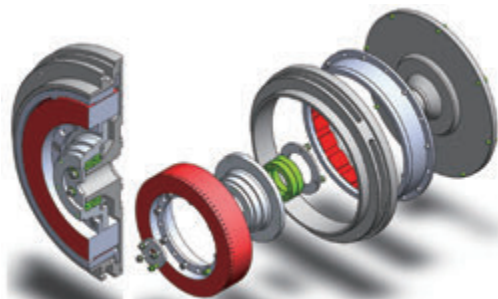


图8 某型号俯仰电机组件模型图

2. 组件虚拟装配，组件配套检查以及干涉性、功能性检查

依据装配图，按照约束关系，将该组件的零件、成件、标准件进行组装。在转配体中插入首个零件时，首先判断后续大致视图方向，通过基准面约束调整首个零件位置，然后参照装配图明细表（如图 9 所示），逐个进行约束定位装配。

16	GB/T65-2000	螺钉M2.5x8 A2-70	28	
15	GB/T97.1-1985	平垫 2.5 A140	28	
14	QJ 2963.2-1997	弹簧2.5	28	
13	XXXX1230-07	左轴承内压圈	1	
12	XXXX1230-06	俯仰外调圈	2	
11	XXXX1230-05	俯仰内调圈	2	
10	GB/T276-1994	轴承61805/P4	2	左轴
9	XXXX1230-04	左轴承外压圈	1	
8	XXXX1230-03	左轴	1	
7		电机J128LYX001	1	力矩电机
6	GB/T68-2000	螺钉M3x8 A2-70	22	
5	XXXX1230-02	俯仰电机法兰	1	
4	GB/T65-2000	螺钉M3x10 A2-70	8	
3	GB/T97.1-1985	平垫 3 A140	8	
2	QJ 2963.2-1997	弹簧3	8	
1	XXXX1230-01	左侧端盖	1	
分类	序号	代号	名称	数量 备注

图9 某型号俯仰电机组件明细表

(1) 组件配套检查，生成组件明细卡。

在装配过程中，核对标准件等的种类数量是否正确，（例如本组件中明细表序号 2、3、4 的标准件 GB/T65 螺钉 M3×10、平垫圈 3、弹簧垫圈 3 为固定固定左侧端盖，结合实际模型，该处应为沉头螺钉，所以该处应更改为：“GB/

T68-2000 螺钉 M3×10 数量 8”；序号 6 数目应由 22 更改为 16，序号 14、15、16 数量应由 28 更改为 8；序号 16 所用标准件为 GB/T65 螺钉 M2.5×6，结合模型分析，应更改为 M2.5×8，以增强其可靠性。）对应的完成如表所示“俯仰电机组件明细卡”，并在备注栏内标明标准件的用途、数量，便于后续的核对工作。

(2) 组件装配干涉性、功能性检查。

在完成模型虚拟装配后，通过模拟组件运动方式，结合软件自身的透视、剖视功能，观察分析各零件、成件是否存在装配干涉，针对于存在轴承、电机的组件，我们还要分析轴承是否能有效压紧，碳刷是否在合适位置，以及应用何种方式来安装电机，以避免碳刷的损伤等。

3. 组件爆炸视图在工艺中应用

(1) 生成组件爆炸视图。

生成组件爆炸视图，是在充分分析组件组成的基础上，根据装配逆顺序生成组件的爆炸视图。生成爆炸视图的过程其实就是组件装配路线规划的过程。

在进行“俯仰电机组件”装配路线规划的过程中，首先考虑为如和避免电机碳刷的损伤，如何保证轴承启动力矩

与调试时的尽量一致，如何高效装配，再次基础上我们确定装配工艺路线为：“装配准备（清洗）→成对轴承游隙调整（启动矩调整）→压装电机定子（不安装碳刷）→电机转子组合装配（包含电机转子、成对轴承、左轴承外压圈）→电机组装（并在转子定子之间均匀的垫上青稞纸）→左侧端盖安装→碳刷安装→电机跑和”。

生成的爆炸视图如图 8 所示，调整各组成之间的爆炸间隙，使得视图中各组成可见，并能明确装配关系。

(2) 三维爆炸视图的二维 CAD 转换。

我们在应用 CAPP 信息化系统编制工艺文件时，为了工艺附图的可编辑，以及便于标记图示说明，需要将三维爆炸视图进行二维 CAD 文件转换。操作步骤为，首先利用 SolidWorks 2008 中“从装配体到工程图”的命令，生成该装配体的平面视图，如图 10 所示，选择“模型视图”，选择装配图，然后选择“当前模型视图”，就可以生成模型当前爆炸视图的平面图，当然我们还可以生成一些剖视图，就更为明确的表述了组件的装配状态，然后将文件另存为 DWG 文件，就完成了三维爆炸视图的二维 CAD 转换。

(3) 二维爆炸视图用于 CAPP 工艺文件。

表 俯仰电机组件明细卡

零件				
XXXX1230-01	左侧端盖	XXXX1230	1	铝棒；2A12；T4；170；GB/T3191-1994
XXXX1230-02	俯仰电机法兰	XXXX1230	1	铝棒；2A12；T4；170；GB/T3191-1994
XXXX1230-03	左轴	XXXX1230	1	铝棒；2A12；T4；90；GB/T3191-1994
XXXX1230-04	左轴承外压圈	XXXX1230	1	铝棒；2A12；T4；35；GB/T3191-1994
XXXX1230-05	俯仰内调圈	XXXX1230	4	铜箔；H62；Y；0.01-0.05；GB/T5188
XXXX1230-06	俯仰外调圈	XXXX1230	4	铜箔；H62；Y；0.01-0.05；GB/T5188
XXXX1230-07	左轴承内压圈	XXXX1230	1	铝棒；2A12；T4；35；GB/T3191-1994
标准紧固件				
GB/T68-2000	螺钉 M3×8-A2-70	XXXX1230	16	固定电机定子(8)；固定电机转子(8)
GB/T68-2000	螺钉 M3×10-A2-70	XXXX1230	8	固定左侧端盖(8)
QJ2963.2-1997	垫圈 2.5	XXXX1230	8	固定轴承外压圈(4)；固定轴承内压圈(4)
GB/T97.1-2002	垫圈 2.5	XXXX1230	8	固定轴承外压圈(4)；固定轴承内压圈(4)
GB/T65-2000	螺钉 M2.5×8-A2-70	XXXX1230	8	固定轴承外压圈(4)；固定轴承内压圈(4)
成件				
J128LYX001	力矩电机	XXXX1230	1	
GB/T276-1994	轴承 61805/P4	XXXX1230	2	成对轴承启动力矩 0.009 ~ 0.011 N·m
辅助性材料				
HG/T3360-1987	X98-11 缩醛烘干胶	XXXX1230	5g	
SHO459-1992	特 221 润滑脂	XXXX1230	10g	
Q/SH037.006-97	4116 仪表油	XXXX1230	5g	



图 10 生成爆炸视图的平面视图

将二维爆炸视图应用于 CAPP 工艺文件中,是指编制的机械装调工艺文件,利用二维爆炸视图作为工艺附图,使得工艺文件能够以一种直观、细致的方式对装配工艺进行描述。

利用 CAPP 自身的“新建 DWG 工艺附图”功能,在 CAD 中粘贴爆炸视图,调整视图绘制比例,使得图形居中,然后补齐中心线等参照线,然后应用 CAD 引线功能进行爆炸视图的标注说明,完成工艺附图编辑。

4. 组件装配动画的生成与培训

随着产品复杂程度和工艺要求的不断提升,进行装配前操作者针对性的工艺培训显得越来越重要,在培训中,明确组件装配的注意点,以及便捷高效的装配方法,使得操作者更为方便的掌握要点,高效地完成产品装配。如果将虚拟装配过程动画作为培训教材,那么就能够更为形象的将作品的过程展示在操作者面前。

目前,我们可以应用 SolidWorks 2008 软件中的动画爆炸功能,完成装配、拆卸过程的循环动画播放,结合软件自带的“动画向导”和“保存动画”功能,完成最终的动画编辑和视频文件的保存,如图 11、12 所示。在“动画向导”模块,选择生成动画类型为“接触爆炸”,即三维虚拟装配的实际过程。

四、结语

本文结合三维爆炸视图在机械装调工艺文件中的实际应用,以及产品装配前对操作者的多媒体动画培训可行性的分析,为机械装调工序后续的发展验证了方向,实现机械装调工艺的改进、发展。虚拟装配技术应用到机械装调工艺中,使得装配工艺更为直观全面,且能够在计算机模拟装配过程



图 11 选择动画类型



图 12 动画保存

中,更为全面的把握产品,熟识产品装调要点,屏蔽可能存在的隐患,更为便捷地完成设计反馈,对于产品设计优化、产品性能完善,减少生产过程中产品反复,提高产品质量等有着重要意义。

本文重点研究了虚拟装配技术在机械装调工艺中应用所涉及到的几个关键技术,即装配建模、装配工艺规划(爆炸视图)、CAD 系统之间的数据转换、爆炸视图在 CAPP 工艺文件中的实际应用,以及装配动画的编辑、输出,并给出相应解决方案,但三维虚拟装配技术在工艺中的应用和完善是一个循序渐进的过程,还需要在实践中不断地摸索,进行理论上的研究和应用上的创新。

通过本文的研究阐述,既阐述了虚拟装配技术在机械装调工艺中充分应用的必要性,也验证了其可行性。在本文阐述应用方法的基础上,虚拟装配技术在机械装调工艺中具体的应用方式、方法,可以在后续的工作中不断补充和完善。