



普通高等教育“十三五”规划教材

GUOCHENG ZHUANGBEI ANZHUANG YU JIANXIU JISHU

过程装备安装与 检修技术

苏兴冶 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

普通高等教育“十三五”规划教材

过程装备安装与检修技术

苏兴冶 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书根据过程装备安装、检修对学生工程实践能力的要求,重点介绍了石油化工装置典型设备安装、检修等方面的知识,包括典型化工用泵、离心式压缩机、活塞式压缩机、工业汽轮机、换热器及塔设备的安装与检修,并简要介绍了密封技术、状态监测与故障诊断、安装与检修的施工组织管理等相关知识。

本书紧密联系生产实际,内容丰富,简明实用,可作为高等院校过程装备与控制工程、油气储运工程、工程管理、工业设备安装工程技术、化工装备技术等专业的教材,也可供相关工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

过程装备安装与检修技术 / 苏兴冶主编. —北京:
中国石化出版社, 2017. 1
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5114-4327-4

I. ①过… II. ①苏… III. ①石油化工设备-设备安装-高等学校-教材②石油化工设备-设备检修-高等学校-教材 IV. ①TE960. 7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 272200 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市朝阳区吉市口路9号
邮编:100020 电话:(010)59964500
发行部电话:(010)59964526
<http://www.sinopec-press.com>
E-mail:press@sinopec.com
北京柏力行彩印有限公司印刷
全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 13.25 印张 333 千字
2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷
定价:32.00 元

前 言

随着新材料、新技术、新设备和信息技术的广泛应用，过程工业技术装备日趋自动化、智能化、大型化，设备的安全、稳定、长周期、满负荷运转对企业正常生产起着越来越重要的作用，因此对过程装备安装、维修的要求也越来越高，培养和造就高素质技术技能人才的社会需求更加迫切。伴随科学技术的发展，过程装备的安装、维修技术日益成熟，不仅可以保证机器设备的可靠运行，还可以提高设备的寿命周期，维持正常生产秩序，其应用已遍及很多行业，成为极具发展空间和潜力、有着广泛应用前景的专业技术。

实际生产中，从事过程装备安装、维修技术工作的人员要十分熟悉典型设备的结构特点、工作原理、安装、维修的技术标准、规范，要有较强的分析解决工程实际问题的能力，为此，我们组织对大型石油化工装置安装、检修具有丰富实践经验的工程技术人员参与编写了本教材。编写过程中既突出过程装备安装、维修的特点和新技术、新工艺、新标准，又兼顾石油化工装置设备安装、维护检修知识的覆盖面，因而使本书在生产过程中具有很强的实用性。

本书按照应用技术大学的要求，以应用技术人才培养为目标，比较系统地介绍了典型过程装备的结构特点、基本原理、安装、维修的基本要求。全书内容的编写以理论上够用、实践上实用为原则。

本书绪论、第1、2章由苏兴冶编写，第3、7、8、11章由闫晓波编写，第4章由王钰编写，第5章由刘爱玲编写，第6章由王志宇编写，第9章由孙博编写，第10章由关学铭编写，全书由苏兴冶统稿。

本书在编写过程中得到了刘柏军、李昞的大力支持和帮助，林浩、王萌、李文建等做了大量的文献检索、图表绘制和文字录入、编辑、排版、校对工作，在此向他们表示感谢。

由于编写时间仓促，作者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

绪论	(1)
0.1 石油化工装置特点及主要工艺设备类型	(1)
0.2 石油化工设备的安装施工	(3)
0.3 石油化工设备的维修与维护	(5)
0.4 本课程的性质、任务和基本内容	(7)
第 1 章 过程装备安装基础知识	(8)
1.1 设备的安装	(8)
1.2 设备安装精度的控制	(13)
1.3 设备安装的新技术	(14)
第 2 章 过程装备检修基础知识	(16)
2.1 概述	(16)
2.2 检修方式及分类	(16)
第 3 章 典型化工用泵的安装与检修	(20)
3.1 离心泵	(20)
3.2 齿轮泵	(45)
3.3 螺杆泵	(49)
第 4 章 离心式压缩机的安装与检修	(53)
4.1 离心式压缩机的结构	(53)
4.2 离心式压缩机的安装	(67)
4.3 离心式压缩机的检修	(80)
4.4 离心式压缩机的维护与故障处理	(91)
第 5 章 活塞式压缩机的安装与检修	(102)
5.1 活塞式压缩机的结构	(102)
5.2 活塞式压缩机的安装	(114)
5.3 活塞式压缩机的检修	(120)
5.4 活塞式压缩机的维护	(128)
第 6 章 工业汽轮机的安装与检修	(135)
6.1 工业汽轮机的结构	(135)
6.2 工业汽轮机的安装	(137)
6.3 工业汽轮机的检修	(140)
第 7 章 换热器的安装与检修	(148)
7.1 管壳式换热器的结构及特点	(148)
7.2 换热器的安装	(149)
7.3 列管式换热器的检修	(150)

第 8 章 塔类设备的安装与检修	(153)
8.1 塔类设备的结构	(153)
8.2 塔类设备的安装	(153)
8.3 塔类设备的检修	(160)
第 9 章 密封	(162)
9.1 填料密封	(162)
9.2 机械密封	(165)
第 10 章 状态监测与故障诊断	(179)
10.1 状态监测与故障诊断技术的基本概念	(179)
10.2 状态监测与故障诊断技术的发展趋势与应用	(179)
10.3 机械故障诊断的分类和监测方法	(180)
10.4 机组常见振动故障的机理与诊断	(187)
10.5 大机组故障诊断实例	(194)
第 11 章 施工组织管理	(199)
11.1 编制施工方案	(199)
11.2 编制安装与检修网络计划图	(201)
11.3 编制 HSE 施工风险评价报告书	(202)
11.4 作业许可证管理	(205)
参考文献	(206)

绪 论

石油化工行业是国家的支柱产业，石油化工生产系统是由一些列设备相连接共同构成的一个由人-机-过程-环境组成的非常复杂的系统。在此系统中，由于是连续性生产，而且其工艺介质通常为易燃、易爆、有毒的化学物质，随着现代装备日趋大型化、复杂化，设备发生故障的可能性也随之增加，所以系统中设备一旦发生故障，不仅会造成巨大的经济损失，而且可能导致重大的人员伤亡和环境污染事件。此外，石化企业属于资产密集型企业，设备的技术含量和自动化程度较高，因而对设备的安全性和可靠性要求也越来越高。为此，必须对设备的安装、维修实施有效的管理，以确保安全和稳定生产。

石油化工生产具有易燃、易爆、高温、高压、有毒及连续性等特点。这些特点对所使用的设备提出了较高的要求，即：易燃、易爆、有毒，就要求设备有良好的密封性；在高温、高压条件下工作，就要求设备的零部件有足够的强度、刚度和较高的运动精度及良好的润滑、冷却条件。这些要求不仅取决于先进的结构设计和精密的加工制造，还与高质量的安装、科学合理的检修和精心的维护保养密切相关。石油化工生产企业的安装、维修人员就是在承担着石油化工设备的安装、维修及保养工作。

0.1 石油化工装置特点及主要工艺设备类型

石油化工装置一般由工艺设备(动、静设备)、工艺管道(含阀门、管道连接件等)、控制系统、安全保护(防护)系统、安全报警系统等构成，所有这些工艺设备和系统的功能集合形成特定的生产工艺以完成输入原料产出特定产品的需求。

1. 石油化工装置特点

(1) 高温高压设备多 石油化工装置中具有众多的高温高压设备，对设备安装、维修质量提出了更高的要求。

(2) 易燃、易爆、有毒、有害物料与场所多 石油化工设备接触的物料，包括原料、产品以及中间过程处理的各种物料多是易燃、易爆、有毒、有害性质的物料，致使石油化工生产场所亦成为易燃、易爆场所。这种情况下，石油化工装置，无论是静设备还是动设备，必须在防护上选用防爆型或隔爆型，而且生产过程中的安全更为重要，这个特点，要求石油化工设备制造、安装、检修与维护必须精益求精，保证高质量高水平。

(3) 设备趋于大型化，增加了制造、安装、检修与维护的技术难度 随着现代石油化工工业的发展，设备趋向大型化，单台重量大，外形尺寸(直径、长、宽、高)超限；石油化工工业大型设备单台设备造价高，有些设备制造成本可达几千万元，煤制油工业中的煤液化反应器单台重 2200t，要求有很高的安装、检修技术水平，其过程中的质量控制程序更加严格化、科学化。

(4) 自动化控制水平高 石油化工工业的突飞猛进，不但使系统的自动化控制水平发展日新月异，而且装置体系的控制程序也是多点突破、联锁统一及智能化。

2. 石油化工装置主要工艺设备类型

1) 分类

石油化工装置主要设备分为动设备和静设备。动设备是指石油化工生产装置中具有转动机构的工艺设备,按其完成化工单元操作的功能可分成流体输送机械、非均相分离机械、搅拌与混合机械、冷冻机械、结晶与干燥设备等。静设备是指反应器、塔器、热交换设备、分离设备、储存设备等没有转动机构的工艺设备。

2) 主要设备的结构特点、性能特点和工作原理

(1) 动设备

① 容积泵 又称正位移泵,是指通过若干封闭的充满液体的空间(如缸体),周期性地 将能量施加于液体,使液体压力直接增加到所需值的泵,包括往复泵、转子泵等。

② 离心泵 其基本部件是高速旋转的叶轮和固定的蜗壳,具有若干个(通常为 4~12 个)后弯叶片的叶轮紧固于泵轴上,并随泵轴由电机驱动高速旋转。叶轮是直接对泵内液体 做功的部件,为离心泵的供能装置。泵壳中央与吸入管路相连接,吸入管路的底部装有单向 底阀。泵壳侧旁的排出口与装有调节阀门的排出管相连接。

③ 活塞式压缩机 其基本结构和工作原理与往复泵相近,主要部件有活塞、气缸、吸 气阀和排气阀,依靠活塞的往复运动将气体吸入和排出。但是,由于活塞式压缩机的吸气阀 和排气阀必须灵巧精致,为移除压缩机放出的热量以降低气体的温度,还应附设冷却装置。 活塞式压缩机实际的工作过程也比往复泵更加复杂。

④ 离心式压缩机 其结构类似于多级离心泵,它主要由蜗形机壳和多叶片的叶轮组成, 每级叶轮之间都有导轮,工作原理与离心泵基本相同。

(2) 静设备

① 化学反应器 是指用于实现化学反应过程的设备。其结构和形式与化学反应过程的 类型和性质有密切的关系。常用的化学反应器包括:搅拌式反应器、固定床反应器、沸腾床 反应器、管式反应器、滚动式反应器、合成塔、焙烧炉等。

② 塔器 又称塔设备,是指类似塔形的直立式石油化工设备,其高度与直径比较大。根据 其作用的不同可分为精馏塔、吸收塔、解吸塔、萃取塔、板式塔、填料塔、栅板塔、湍球塔等。

③ 换热设备 又称热交换器,是指借助不同温度流体间的热量交换而实现加热或冷却 目的的设备。一般靠固体间壁(传热面)将各个流体隔开,也有使两种流体在容器内直接接 触进行热量交换。根据作用原理可分为间壁式换热器、蓄热式换热器和混合式换热器;根据 使用目的可分为加热器、冷却器、汽化器和冷凝器;根据换热面形式和结构可分为管式换热 器、板式换热器和特种换热器。

④ 分离设备 其主要作用是按照要求对物料进行成分分离。其主要类型包括:反渗透 分离设备、超滤分离设备、电渗析、薄膜分离设备、气体净制分离设备。

⑤ 储存设备 是指用来盛装生产和生活用的原料气体、液体、液化气体等的容器,如 各种形式的储槽。按压力分为常压容器、中压容器、高压容器、超高压容器、真空容器、外 压容器;按形状分为圆筒形容器、球形容器、椭圆形容 器、锥形容 器、组合容器、储存容 器;按壁厚分为薄壁容器、厚壁容器、单层容器、多层容器、衬里容器、复合容器、夹套式 容器;按使用温度可分为常温容器、低温容器、高温容器;按压力高低、介质的危害程度以 及在生产过程中的作用等分为一类容器、二类容器、三类容器。

0.2 石油化工设备的安装施工

石油化工行业所使用的设备都是大型重工设备，设备的安装是在机械设备正式运行前的重要环节。这一过程不论是设备安装还是运输，都要耗费庞大的工程量。加强石油化工设备安装工程的质量控制，确保设备安全稳定的运行，才能促进石油化工行业的发展。随着科学技术不断更新和社会化生产水平的不断提高，工业生产装置日益趋于大型化、自动化和高速化、投资规模大、资金密集，对工程建设的要求也越来越高。而设备安装工程是工程建设中关键的、极为重要的一环，关系整个建设项目的进度、质量、效益和成败。工业设备安装工程的技术复杂，涉及面广，施工难度大，对合理组织施工、精心操作和安全等各个方面都有很高的要求。为此，加强工业生产装置安装施工的理论研究，对提高施工技术、组织管理水平和经济效益至关重要。

石油化工设备安装工程是根据国家规范和相关技术文件的要求，把运至施工现场的各类工业设备，利用一定的装备，采取相应的技术措施，使之达到验收规范的要求并发挥正常功能的一系列技术工序的组合。

这个组合中，主要包括下列工序：设备开箱检查与无损探伤，设备基础验收与处理，设备现场制作与安装，设备二次运输、起重与就位，设备形位公差检测与调整，设备固定与二次灌浆，设备拆卸、清洗与装配调整，设备试车，设备及管道防腐与保温，生产装置联动试车，交工与验收等。

无论被安装的设备复杂程度如何，其安装基本技术要求是一致的，可以简单概括为：定位准确、横平竖直、固定牢靠、严密无泄、性能达标。

1. 石油化工设备的安装特点

1) 周期长，投入大

众所周知，石油化工设备绝大多数都体积庞大且十分沉重，因而其安装所需的工程量浩大，安装所需时间较长，需要大量的劳动力、工具与资金的支持。其涉及的专业领域也十分众多，需要各个方面的技术投入，从而需要建设单位、监理方、施工单位以及设备生产厂家和设计单位共同参与，综合性强。

2) 风险较大

由于石油化工设备的特殊性以及安装周期长、各类投入大，其安装过程中很容易发生各种突发事件。尤其是体积庞大、质量沉重的设备在运输过程中易产生紧急状况，发现问题及时返修比较难，过长时间的处理会拖延整个建设项目的进度。现代石油化工生产的工艺流程长、生产过程复杂、对热能综合利用和环保的要求很高，设备类型繁多、材料品种规格复杂，设备单机容量大、转速高，并伴有高温高压(或者是真空)操作要求，且生产介质一般是易燃易爆、易腐有毒的，因此，对安装人员的要求比较高，既要有比较广博的专业知识，还要有很丰富的施工经验。

3) 技术含量高

由于石油化工设备类型众多，其构造也各不相同，对高温、高压、腐蚀等抵抗能力也有所区别，因而其制造技术含量很高。石油化工设备的安装调试和操作程序也往往比普通机器要复杂很多，需要专业技术人员进行操作，并且其安装质量的好坏对设备能否安全运行和建设项目能否按时完成影响极大。特别是在大型石油化工生产装置中，设备是重、高、大、

精，构造也复杂得多，对安装工艺和机具有特殊的要求。除此之外，石油化工设备的制造过程极易出现问题，尤其是一些细节方面的问题，如果这些问题没有得到及时解决，一旦石油化工设备在施工现场就位之后再出现问题的话，其处理起来将会相当复杂。

4) 工种交叉多

设备安装工程是在土建工程基本结束后，或者是在土建工程进行之中就要进行的，施工场地错综复杂，尤其是设备的起吊与搬运受到地面和空间各方面的制约。安装过程中需要的起重与搬运、安装与调试的施工机具和测试仪器很多，所需的技术工种(包括钳、铆、焊、起重、筑炉、管、探伤、测量工等)很多，涉及土建、电器等众多专业，每套石油化工生产装置的安装都少不了设备、工艺、防腐等专业相互协调，同时也需要设计、制造、施工、监理、建设单位共同参与，是一项多工种配合、立体交叉作业的综合性的工程，所以施工组织很复杂。

2. 石油化工设备主要安装施工技术

1) 设备吊装技术

吊装安装施工技术对确保石油化工设备的成功安装十分重要，对此，首先要求技术人员在设备安装过程中应确保吊装设备质量符合具体安装需求，并利用标准化长度及强度的钢丝绳对设备进行调试，要对设备平衡状况进行观察，以此来提升整体设备安装水平。其次，设备吊装过程中相关技术人员应通过监测系统全面掌控吊装设备实际运行状况，并及时发现和处理运行过程中存在的风险问题。再次，在吊装设备下落过程中禁止无关人员靠近施工现场，同时在设备装车过程中全面掌控车辆承载力状况，从而避免设备吊装过程中的不安全事故发生，达到最佳的设备安装状态。

2) 设备安装技术

在石油化工设备安装过程中，相关技术人员要强化自身对放线基础工作的认知程度，严格按照施工图进行基准线划分，满足设备安装条件。此外，在对有垫铁的设备进行安装时应注重保障垫铁位置布局的合理性，并通过飞边、氧化层检测等提升整体设备安装质量。另外，在垫铁放置过程中应通过找平处理来满足设备安装条件，将安装误差控制到最小，以达到最佳的设备安装状态。

3) 基础验收技术

基础验收时应从以下几个方面入手：第一，将设备外形尺寸、预留孔洞位置列为检查重点，并将预压及沉降观测结果记录下来，避免设备安装时的下沉等问题影响到整体设备安装；第二，应参照仪器、能源、材料的顺序来开展相应的验收项目，并对润滑等细节进行检测，最终满足设备安装条件；第三，相关技术人员应严格按照先无负荷到负荷的试运行原则，进而保障设备的高效运行。

3. 我国设备安装施工中存在的问题

1) 安装施工前准备工作不到位

石油化工设备恶劣的工作环境对设备各个零部件的协调能力和稳定性提出了更高的要求。但目前很多企业在采购设备以及施工场地选择上存在随意性，如采购到质量不合格及不符合生产要求的设备，这说到底就是安装施工前企业准备工作不到位。不合理的机械设备在安装、运行过程中不仅可能产生各种各样的故障，影响生产的正常进行，甚至还会引发某些不可挽回的事故。

2) 安装质量监督体系不完善

一个工程的实施，要想顺利进行且减少问题的频繁出现，不能缺少监管部门的配合。石

油化工设备，尤其是组装设备，组装耗时长，任意零部件质量出现问题，都会延长设备的正常运行，导致工作停滞不前。目前很多企业都缺乏比较完善的设备安装监督体系，对安装过程中的质量控制还达不到要求，没有明确监督的职责是什么，缺乏科学性和严谨性。

3) 设备安装人员流动性大、技术水平低

由于石油化工设备安装的复杂性，使设备安装的一线人才十分紧缺。目前从事设备安装的相关人员综合素质偏低，对石油化工设备安装的基本原理及技术要求等不熟悉，存在一定的局限性，为后续生产管理埋下了隐患。

0.3 石油化工设备的维修与维护

所谓维修是指为保持与恢复设备完成规定功能的能力而采取的技术活动，其内容主要包括：维护保养、检查和修理三方面。

由于机械设备及其零部件在运行中会发生磨损、变形甚至导致破坏，操作失误或维护不当以及生产工艺条件发生变化等也会使设备发生故障，因此，只有及时检修，排除故障，才能保证生产的正常运行。尤其是通过预知检修、计划检修，能及时排除各种产生故障的隐患，减少出现故障的机会，使设备在整个生产周期内保持正常的连续运转。

目前过程装备的技术进步十分迅速，朝着大型化、连续化、自动化的方向发展。但是先进的设备与落后的维修能力的矛盾却日益严重地困扰着企业，成为企业进步的障碍。近年来，随着设备的技术进步，一方面企业设备操作人员不断减少，而维修人员保持不变或不断增加；另一方面，操作人员的技术含量逐渐下降，而维修的技术含量却逐年上升。因此要求企业采用更先进的设备维修管理模式，设备管理得好，可使其发挥最大的效益，促进企业的发展和科技的进步，而维修是为了恢复或改进提高设备的原有性能，可以增加利润，节约原材料，节约动力，保护环境，改进设备运行的安全性。

设备维修目标的优化可以概括为：

- (1) 目的 确保安全，提高装备系统的生产能力；
- (2) 成本 以最小的维修代价得到高的装备安全和功能可利用度；
- (3) 策略 预防为主，精确化维修；
- (4) 方式 面对人-机-过程-环境复杂系统，无缝集成；
- (5) 资源 维修信息成为重要资源，成为维修能力建设的核心；
- (6) 组织 灵活适应，快速反应；
- (7) 管理 准确，协同，科学决策，全局动态优化。

随着自动化程度的不断提高，以及流水线、流程化设备的出现，生产对维修的依赖性也不断增大，同时随着生产力的提高和生产范围的不断扩大和延伸，维修观念也有了更多的涵义。维修已经从单纯的排除设备故障，发展到了人们对其有了阶梯式的深入认识，即：

- (1) 维修是生产力的重要组成部分；
- (2) 维修能提高设备的完好率，延长设备的使用寿命，从而增加产品数量，提高产品质量；
- (3) 维修能改善设备的使用率，进而成为企业生存和发展的重要手段；
- (4) 维修是投资的一种选择方式，是对未来的投资。在一定周期内不仅可以收回维修投资成本，而且还能增值。如果说固定资产投资是一次性投资，那么维修就是一种重复性的投入。

因而，维修管理的成败就与企业的成败有着更加密切的关系，维修或设备管理无疑会发展成为高层次的职能管理。

18 世纪资产阶级工业革命，改变了原有的生产方式，机械设备逐步加入到工业生产中，并且发挥越来越大的作用。随着设备复杂程度的增加，企业对设备维修能力的要求也逐步提高，设备维修逐渐成为一个独立的专业。在泰勒的科学管理思想被普遍接受的时候，设备维修管理作为企业管理的一个单独组成部分而独立出来。从总体上看，设备维修管理的发展历史主要体现在维修方式的演变上，可分为下面几个阶段：

第一阶段：事后维修阶段(BM: Breakdown Maintenance)(1950 年前)

事后维修就是在设备发生故障之后才进行检查，这种制度仅适于造价较低、事故停机造成的直接损失不大的设备。在这一时期，设备管理最显著的特点是坏了再修、不坏不修，有维修工专门负责维修。

第二阶段：定期维修阶段(PM: Preventive Maintenance)(1950~1960 年)

随着设备的日益复杂，修理所占用的时间已成为影响生产的一个重要因素。为了尽量减少设备修理对生产的影响，当时美国和前苏联等国提出了定期维修的概念。定期维修制又派生为两大体系。

一个是以前苏联为首的计划预防体系，它是以摩擦学与摩擦理论为基础。其特点是通过计划对设备进行周期性的维修，它的优点是可以减少非计划(故障)停机，将潜在故障消灭在萌芽状态。但是，由于计划固定，较少考虑设备的实际使用、负荷情况，容易产生维修过度或维修不足。我国的维修制度就是由前苏联引进的计划预修制。

另一个是以美国为首的定期维修体制，它是以摩擦学、诊断理论为依据。它是一种通过周期性的检查、分析来制定维修计划的管理方法，其优点是减少故障停机，检查后的计划可以减少维修的盲目性。但由于受检查手段和人员经验的制约，仍可能使计划不准确，造成维修过度或不足。

第三阶段：生产维修阶段(PM: Productive Maintenance)(1960~1970 年)

随着科学技术的发展，尤其是宇宙开发工业的兴起，以美国为代表的西方国家推行生产维修管理体制。该管理体制由四部分组成：事后维修、定期维修、改善维修(Corrective Maintenance, 简称 CM)、维修预防(Maintenance Preventive, 简称 MP)。

这一体制突出了维修策略的灵活性，吸收了后勤工程学的内容，提出了维修预防、提高设备可靠性设计水平以及无维修设计的思想。

第四阶段：状态维修阶段(CBM: Condition Based Maintenance)(1970 年至今)

状态维修亦称为状态检修。这种体制着眼于每台设备的具体技术状况，一反定期维修的思想而采取定期检测，对设备异常运转情况的发展密切追踪监测，仅在必要时才进行修理。状态维修起始于 20 世纪 70 年代初期，在连续生产过程的企业取得了显著效果，提高了设备利用率以及生产效率。在以状态维修为主要特征的第四阶段，还相继出现了以可靠性为中心的维修(Reliability Centered Maintenance, 简称 RCM)、可靠性维修(Reliability Based Maintenance, 简称 RBM)、全面计划质量维修(Total Planning Qualitative Maintenance, 简称 TPQM)、适应性维修(Adaptive Maintenance, 简称 AM)、以利用率为中心的维修(Availability Centered Maintenance, 简称 ACM)等多种维修体制。

以可靠性为中心的维修是目前国际上流行的用以确定设备预防性维修工作、优化维修制度的一种方法。其基本思路是：

对设备进行功能与故障分析，明确设备各故障的后果；用规范化的逻辑决断方法，确定各故障的预防性维修对策；通过现场故障数据统计、专家评估、量化建模等手段，在保证设备安全和完好的前提下，以维修停机损失最小为目标对设备的维修策略进行优化。

RCM 是近年来在国际上日益受到重视并推广的先进设备维修模式，它是在一般视情维修的基础上，吸收了以可靠性为中心的维修分析法的优点，并充分考虑到经济性、可靠性原则与先进的设备诊断技术相结合的一种维修模式。它是建立在设备的设计特点、运行功能、故障模式和后果分析的基础上，以最大限度提高设备的使用可靠性为目的，应用可得到的安全性和可靠性数据，判别哪些系统和零部件处于临界状态，哪些需要修复、改进或重新设计，确定维修必要性和可行性，对维修要求进行评估，最终制订出实用、合理的维修计划。与其他传统维修思想最大的不同就是以可靠性、故障后果作为具有安全性、环境性故障或隐蔽性故障的设备确定维修方式的依据；以经济性和使用率作为具有使用性和非使用性后果的设备确定维修方式的依据。

RCM 技术 20 世纪 60 年代末起源于美国的航空界。首次应用 RCM 制定维修大纲的是波音 747 飞机。美国军方对 RCM 技术极为重视，进行了大量的理论与应用研究，到 20 世纪 80 年代中期，美国海、陆、空三军分别颁布了其应用 RCM 的标准。进入 80 年代后，RCM 技术在其他工业领域也得到了广泛应用。目前，RCM 技术已成为装备管理实践的基本原则。RCM 技术不仅适用于传统 RCM 规定的大型复杂系统或设备，也适用于其他有形资产。现在，RCM 的应用领域已经涵盖了航空、武器、核设施、铁路、石油化工、电力、大众房产、制造业等。

国内的核电站和部分炼油厂目前也正在积极探索 CRM 技术，尚处于起步阶段，尤其是在故障信息的处理和系统化管理方面更显不足，如大量的设备使用管理经验和故障信息等，还存留在设备使用者或管理者的记事本或脑子里，亟待建立更多的设备管理信息系统和决策专家系统。而在国内某些大型化的炼油厂，虽然一些关键的设备都已建立了在线或离线状态监测系统，也普遍使用了 DCS，部分设备的数据采集也有了一定的量的积累，但在数据的分析处理方面则明显不足。

0.4 本课程的性质、任务和基本内容

本课程是过程装备与控制工程专业的骨干专业课程之一。其任务是，通过本课程的学习，使学生初步掌握化工设备安装、维修的基本理论、基本方法以及典型设备的安装、维修技术，同时着重培养学生分析和解决工程实际问题的能力。

本课程的基本内容包括：

- (1) 石油化工设备安装、维修基础知识。
- (2) 典型传动设备(如离心泵、往复式压缩机、离心式压缩机、汽轮机等)、静置设备(如塔器、换热器等)安装与修理的基本理论与基本知识。
- (3) 密封技术、状态监测与故障诊断技术及设备安装、维修工程的施工组织管理。

第1章 过程装备安装基础知识

现代石油化工生产的工艺流程长、生产过程复杂、设备类型繁多、设备单机容量大、转速高，并伴有高温、高压，且生产介质易燃易爆、易腐有毒，因此，需对设备的安装工作提出更高的要求。

1.1 设备的安装

设备的安装就是根据国家规范和相关技术文件的要求，把运至施工现场的各类设备，利用一定的装备，采取相应的技术措施，使之达到验收规范的要求并发挥正常功能的一系列技术工序的组合。

设备安装的一般程序：施工准备→设备开箱检查→基础测量放线→基础检查验收→垫铁设置→设备吊装就位→设备安装调整→设备固定与灌浆→零部件清洗与装配→润滑与设备加油→设备试运转→工程验收。

1.1.1 施工准备

1. 技术准备

仔细研究设备使用说明书、安装工程施工图、设备平面图、立面图、剖面图、工艺系统图、局部放大图以及设备安装规范和质量标准等；熟悉设备的原始数据、技术参数和使用性能；对安装人员进行必要的技术培训、技术训练，对技术难点进行咨询和辅导；对大中型、特殊的或复杂的安装工程应编制施工组织设计或施工方案。

2. 开箱检查

(1) 在设备交付现场安装前，要进行开箱检查工作，开箱检查由施工单位、建设单位（或其代表）、供货单位共同参加。

(2) 验收内容：根据设备装箱清单和随机技术文件，对设备及其零部件按名称、规格和型号逐一清点、登记，检查有无缺损件，表面有无损坏和锈蚀，其中重要的零部件还需按质量标准进行检验，形成开箱检验记录。

1.1.2 设备基础与检验

基础施工大致包括以下几个过程：挖基坑、打垫层、装设模板、绑扎钢筋、安装地脚螺栓或预留孔模板、浇灌混凝土、养护、拆除模板等。基础施工是由土建施工单位完成的，建设单位、监理单位和安装单位要对基础施工进行必要的技术监督和最后的基础验收。

1. 设备基础分类

设备基础按组成材料分为：

(1) 素混凝土基础 由砂、石、水泥等材料组成的基础，适用于承受荷载较小、变形不大的设备基础。

(2) 钢筋混凝土基础 由砂、石、水泥、钢筋等材料组成的基础，适用于承受荷载较大、变形较大的设备基础。

(3) 砂垫层基础 在基底上直接填砂，并在砂基础外围设钢筋混凝土圈梁挡护填砂，适用于使用后允许产生沉降的结构，如大型储罐等。

2. 设备基础常见质量通病

设备基础的质量通病多种多样，影响机械设备安装的主要质量通病有：

(1) 设备基础上平面标高超差。标高高于设计或规范要求会使设备二次灌浆层高度不够，标高低于设计或规范要求会使设备二次灌浆层高度过高，影响二次灌浆层的强度和质量。

(2) 预埋地脚螺栓的位置、标高及露出基础的长度超差。预埋地脚螺栓中心线位置偏差过大，会使设备无法正确安装；标高及露出基础的长度超差会使地脚螺栓长度或螺纹长度偏差过大，则无法起到固定设备的作用。

(3) 预留地脚螺栓孔深度超差(过浅)，会使地脚螺栓无法正确埋设。

3. 设备基础外观质量要求

(1) 设备基础外表面应无裂纹、空洞、掉角、露筋。

(2) 设备基础表面和地脚螺栓预留孔中油污、碎石、泥土、积水等应清除干净。

(3) 地脚螺栓预留孔内应无露筋、凹凸等缺陷，孔壁应垂直。

(4) 放置垫铁的基础表面应平整，中心标板和标高基准点应埋设牢固、标记清晰、编号准确。

1.1.3 设置设备安装基准线和基准点

设备就位前应按施工图要求并依据有关建筑的轴线、边缘或标高线放出安装基准线。对于单体运转的设备，只需用墨线在基础上或地坪上画出标志即可；对于有机械联系的设备，由于互相之间的纵横位置和高度要求高，用墨线的方法可能不能满足要求，这就要埋设钢制的中心标板和标高基准点，再依据中心标板拉钢丝作为安装基准线。

1.1.4 地脚螺栓安装

1. 地脚螺栓的分类

设备与基础主要通过地脚螺栓连接，通过调整垫铁将设备找正找平，然后灌浆将设备固定在设备基础上。地脚螺栓按埋设形式可分为固定式地脚螺栓、活动式地脚螺栓、胀锚式地脚螺栓和黏接式地脚螺栓，常用的是固定式地脚螺栓和活动式地脚螺栓。固定式地脚螺栓按安装方式不同可分为预埋地脚螺栓、预留孔地脚螺栓和用环氧砂浆锚固地脚螺栓三种。

2. 地脚螺栓的验收要求

安装预留孔中的地脚螺栓应符合下列要求：

(1) 地脚螺栓在预留孔中应垂直，无倾斜。

(2) 地脚螺栓任一部分离孔壁的距离不宜小于 15mm；地脚螺栓底端不应碰孔底。

(3) 地脚螺栓安放前，应将预留孔中的杂物清理干净。

(4) 地脚螺栓上的油污和氧化皮等应清除干净，螺纹部分应涂少量油脂。

(5) 螺母与垫圈、垫圈与设备底座间的接触均应紧密。

(6) 拧紧螺母后，螺栓应露出螺母，其露出的长度宜为螺栓直径的 $1/3 \sim 2/3$ 。

(7) 应在预留孔中的混凝土达到设计强度的 75% 以上时拧紧地脚螺栓，各螺栓的拧紧力应均匀。

1.1.5 垫铁安装

1. 垫铁作用

利用垫铁可调整设备的水平度，并能把设备的重量、工作载荷和拧紧地脚螺栓产生的预紧力均匀地传递给基础；可使设备的标高和水平度达到规定的要求，为基础的二次灌浆提供足够的操作空间。

2. 垫铁使用相关规定

(1) 垫铁组的使用应符合下列规定：

- ① 承受载荷的垫铁组，应使用成对斜垫铁；
- ② 承受重负荷或有连续震动的设备，宜使用平垫铁；
- ③ 每一垫铁组的块数不宜超过 5 块；
- ④ 放置平垫铁时，厚的宜在下面，薄的宜放在中间；
- ⑤ 垫铁的厚度不宜小于 2mm；
- ⑥ 除铸造垫铁外，各垫铁之间应用定位焊焊接牢固。

(2) 每一垫铁组应放置整齐平稳，接触良好。设备调平后，每组垫铁均应压紧，并应用手锤逐组轻击听音检查。对高速运转的设备，当采用 0.05mm 塞尺检查垫铁之间及垫铁与底座面之间的间隙时，在垫铁同一断面处从两侧塞入的长度总和不得超过垫铁长度或宽度的 1/3。

(3) 设备调平后，垫铁端面应露出设备底面外缘；平垫铁宜露出 10~30mm；斜垫铁宜露出 10~50mm。垫铁组伸入设备底座底面的长度应超过设备地脚螺栓的中心。

(4) 安装在金属结构上的设备调平后，其垫铁均应与金属结构用定位焊焊牢。

1.1.6 设备就位

在地脚螺栓和垫铁准备好后，设备就位。设备就位前，应将基础清扫干净，将设备底座与基础之间的灌浆层部位铲麻面，以保证灌浆层与基础的结合质量，将设备底座底面的油漆、油污及其他脏物清除干净，以保证灌浆层与设备底座的结合质量。

(1) 设备安装就位，必须进行运输吊装：设备运输吊装属于一般的起重运输作业，应按照有关的起重运输安全操作规程进行。

(2) 根据设备特点、作业条件和可利用的机械，选择安全可靠、经济可行的运输吊装方案，并按方案配置相应的机械、工器具和人员，特殊运输吊装作业场所、大型或超大型构件和设备运输吊装应编制专项施工方案。

(3) 随着技术的进步，计算机控制和无线遥控液压同步提升技术在大型或超大型构件和设备安装工程中得到推广应用，如超大型化工厂的反应塔安装等。

1.1.7 设备安装调整

在设备安装中，设备的坐标位置调整(找正)、水平度的调整(找平)、高度的调整(找标高)以及紧固地脚螺栓是一个综合调整的过程，当对其中一个项目进行调整时，对其他项目可能会产生影响，全部项目调整合格需要多次反复才能完成。

1. 设备找正

设备找正是用移动设备的方法将其调整到设计规定的平面坐标位置上，即将其纵向中心线和横向中心线与基准线的偏差控制在设计或规范允许的范围内。

2. 设备找平

设备找平是指在安装中用调整垫铁高度的方法将其调整到设计规定的水平状态，水平度偏差控制在设计或规范规定的允许范围内。设备的水平度通常用水平仪测量。检测应选择在设备的精加工面上。有的设备在安装中其水平度的要求是以垂直度来保证的，如有立柱加工面或有垂直加工面的设备。

3. 设备找标高

设备找标高是指在安装中用调整垫铁高度的方法将其调整到设计规定的高度位置，高度偏差控制在设计或有关规范允许的范围内。

1.1.8 设备灌浆

设备底座与基础之间的灌浆(二次灌浆)在设备找正调平、地脚螺栓紧固、各检测项目合格后进行。可使用的灌浆料有很多，如普通混凝土、高强度混凝土、无收缩混凝土、微膨胀混凝土、环氧砂浆等，灌浆料通常由设计人员选用，设计人员未提出要求时，宜用无收缩混凝土或微膨胀混凝土。灌浆工艺应根据选用的灌浆料按设计文件或有关规范的规定执行。

1. 灌浆方法和灌浆料

(1) 灌浆方法 设备灌浆分为一次灌浆和二次灌浆。一次灌浆是在设备粗找正后，对地脚螺栓孔进行的灌浆。二次灌浆是在设备精找正后，对设备底座和基础间进行的灌浆。

(2) 灌浆料 灌浆料是以高强度材料作为骨料，以水泥作为结合剂，辅以高流态、微膨胀、防离析等物质配制而成。它在施工现场加入一定量的水，搅拌均匀后即可使用。灌浆料具有自流性好、快硬、早强、高强、无收缩、微膨胀、无毒、无害、不老化、对水质及周围环境无污染、自密性好、防锈等特点。在施工方面具有质量可靠、降低成本、缩短工期和使用方便等优点。可从根本上改变设备底座受力情况，使之均匀地承受设备的全部荷载，从而满足各种机械、电气设备(重型设备、高精度磨床)的安装要求，是无垫铁安装时代的理想灌浆材料。

2. 灌浆的验收要求

(1) 灌浆材料可以选择细碎石混凝土、无收缩混凝土、微膨胀混凝土、环氧砂浆和其他灌浆料(如CGM高效无收缩灌浆料、RG早强微胀二次灌浆料)等。其强度应比基础或地坪的强度高一级，灌浆时应捣实，并不应使地脚螺栓倾斜和影响设备的安装精度。

(2) 当灌浆层与设备底座面接触要求较高时，宜采用无收缩混凝土或水泥砂浆。

1.1.9 设备清洗和装配

机械设备安装中，有的设备是以零部件的形式运至现场，在现场清洗装配；有的设备虽整体运至现场，但涂抹的是防锈油脂，或者虽涂注的是生产用油，但已过期变质或被污染，在现场应拆卸清洗，重新装配。

1. 设备拆卸、清洗和润滑

(1) 设备拆卸 设备在清洗时，需要先行拆卸。拆卸前必须熟悉机件的构造，测量被拆