

安装工程检测技术

马志奇 童占荣 摇摇 编著

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

安装工程检测技术 马志奇, 童占荣编著 — 北京 :

中国建材工业出版社, 2005

ISBN 7-112-07100-7

I ①安 Ⅱ ①马 ②童 Ⅲ ①建筑安装工程—

检测 Ⅳ ①TB47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 026700 号

内容简介

本书主要介绍安装工程检测技术基础理论, 安装工程检测仪器和量具的原理、构造和使用维护方法, 安装工程检测方法及典型设备和结构的安装检测技术, 并突出介绍安装工程检测新技术和新装备。

本书可作为安装工程施工企业技术人员的学习参考资料, 也可作为大、中专院校土木工程和安装工程专业师生的教学参考书。

安装工程检测技术

马志奇童占荣编著

出版发行: 中国建材工业出版社

地址: 北京市西城区车公庄大街 2 号

邮编: 100044

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开本: 787mm×1092mm 1/16

印张: 12

字数: 200 千字

版次: 2005 年 1 月第 1 版

印次: 2005 年 1 月第 1 次

定价: 28.00 元

网上书店: 中国建材工业出版社

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 68552111

前 摇 摇 言

安装工程检测技术贯穿于整个安装工程的全过程，是正确安装各类设备和结构的可靠技术保证。安装工程检测技术所涉及的检测设备千差万别，种类繁多，特性各异；安装工程检测技术不仅包括一般技术测量和装配测量技术，而且还包括工程测量（甚至是精密工程测量）和物理、机械参数，如温度、压力、应变、振动、噪声等的检测及机械平衡试验；不仅包括静态测量，而且还包括在设备调试与试运转时的动态测量；安装工程检测技术还受安装工程施工条件和环境的影响。针对具体安装工程，灵活运用测量基础理论，设计出先进和合理的检测技术方案，使用经济、有效和准确的测量器具，加快安装工程施工速度，保证安装工程施工质量，是编写本书的目的。

本书较系统地介绍了安装工程检测基础理论，检测仪器和量具的原理、构造、使用维护方法，安装工程检测方法及典型设备和结构的安装检测技术，并对目前国内外安装工程检测新技术和新装备作了重点介绍。全书共分九章，内容包括：安装工程检测技术的任务、作用、内容和发展趋势；安装精度及检测项目；安装工程技术测量基础知识；安装工程测量基础知识；安装工程检测仪器和量具的原理、构造和使用维护方法；各种安装工程检测方法；安装工程中的振动测量；安装工程中的机械平衡试验；典型设备和结构的安装检测技术。

本书在编写过程中，参阅了有关教材、资料和文献，在此对有关专家、学者和作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不足之处，敬请读者批评指正。

作 摇 者

阎 岳 源

目 录

第一章 概述	员
第一节 安装工程检测技术的任务和作用	员
第二节 安装工程检测技术的内容	圆
第三节 安装工程检测技术的发展趋势	猿
第二章 安装精度及检测项目	远
第一节 安装精度	远
第二节 安装工程中主要精度检测项目及检测方法	远
第三节 安装精度检测基准及选择	缘
第三章 安装技术测量基础	苑
第一节 概述	苑
第二节 测量器具和测量方法	怨
第三节 测量误差及数据处理	园
第四章 安装工程测量基础	猿
第一节 概述	猿
第二节 水准测量	猿
第三节 角度测量	源
第四节 距离测量	缘
第五节 直线定向	苑
第六节 安装控制测量	缘
第七节 安装施工测量	远
第五章 安装工程检测仪器和量具	苑
第一节 安装技术测量仪器和量具	苑
第二节 安装工程测量仪器	缘
第三节 测量仪器和量具的选择及维护	怨
第六章 安装工程检测方法	缘
第一节 概述	缘
第二节 一般量具、检具检测法	苑
第三节 水平仪检测法	员

摇第四节摇钢丝检测法	员缘
摇第五节摇液体连通器检测法	员源
摇第六节摇联轴器检测法	员缘
摇第七节摇光学检测法	员员
摇第八节摇激光检测法	员缘
摇第九节摇大型与精密安装工程检测技术	员远
第七章摇安装工程中的振动测量	员员
摇第一节摇旋转设备振动的基本特性	员员
摇第二节摇设备的允许振动值	员源
摇第三节摇振动测量	员苑
第八章摇安装工程中的平衡试验	圆圆
摇第一节摇旋转体的不平衡	圆圆
摇第二节摇旋转体的平衡	圆源
摇第三节摇旋转体的平衡精度	圆源
第九章摇典型设备和结构安装检测	圆苑
摇第一节摇金属切削机床安装检测	圆苑
摇第二节摇桥式起重机安装检测	圆愿
摇第三节摇电梯安装检测	圆员
摇第四节摇锅炉安装检测	圆苑
摇第五节摇发电机组安装检测	圆缘
摇第六节摇钢结构安装检测	猿苑
参考资料	猿源

第一章 概述

随着我国国民经济的发展，人民生活水平的提高，基本建设的规模和速度逐渐增大和加快，建筑业已经成为国民经济的支柱产业。安装工程是建设工程的重要组成部分，安装工程在建设生产之间起着桥梁和纽带作用，使国民经济各部门所拥有的技术装备形成新的生产力。

第一节 安装工程施工技术的任务和作用

一、安装工程施工技术的任务

安装工程施工技术的任务是通过各种检测手段，保证所安装的设备位置准确、运行可靠。

二、安装工程施工技术的作用

安装工程施工技术贯穿于整个安装工程的全过程，是正确安装各类设备和结构的可靠技术保证。

各类设备和结构，除了优良的设计和精确的制造外，还有赖于正确的安装，惟此才能充分发挥其应有的性能。安装过程中，设备和结构的定位、基础检验、就位、找正找平、装配、调整与试验都离不开检测技术，即依赖运用正确的安装工艺，使用经济、有效和准确的测量器具和测量方法。

1. 设备定位

设备必须按确定的工艺路线安装在指定位置。安装工程施工前，必须按工艺设计布置图确定每一台设备的具体方位，这个工艺过程称为设备定位。设备定位所涉及的检测工作主要由工程测量完成。

2. 设备基础检验

设备是安装在基础上的，安装时必须检验基础施工的质量是否符合规定的技术要求，包括混凝土基础的浇灌质量，地脚螺栓的位置精度等。

3. 设备就位

正确地找出并划定安装基准线，然后根据这些基准线将设备安放到正确位置上的工艺过程称为设备就位。设备就位所涉及的安装基准线和标高基准线的划定主要由工程测量完成。

4. 找正找平

机组或生产线中各种互相配合工作的设备及解体设备中的各种互相配合工作的零、部件之间有相对位置精度要求，尤其是解体运输到现场的大型设备如汽轮机、压缩机、压力机等。由于这些设备或高速运转，或工作时产生巨大内力，零、部件相互位置精度要求极高，如果安装时稍有偏差，即可能造成设备损坏或使设备达不到设计要求的工艺作用。

设备找平是调整设备或零、部件自身的水平或铅直位置状态。

设备找正是调整各相互配合工作的设备和零、部件之间的相对位置，如垂直、同轴、平行等。

安装工程的找正找平，几乎包括了所有位置精度项目和部分形状精度项目的检测。由于施工现场条件复杂，零、部件尺寸大，单件少量生产，不可能像实验室或制造厂设置专门的计量室，配置专用的检测和计量装置。因此，要达到设计要求的精度是相当困难的，必须依靠技术人员扎实的技术功底，采用合理的方法去充分挖掘、发挥通用检测设备的潜力。

找正找平工序涉及的形状、位置精度项目检测和测量误差处理，主要由技术测量和精密工程测量完成。

设备装配

设备装配是针对解体运到现场的大型设备，将众多的零、部件进行组合、连接或固定，并保证相互连接的零、部件有正确的配合及正确的相对位置。随着科学进步和生产发展，现代机械设备大多是相当复杂的，往往由几十个乃至成千上万个零、部件组合而成。将零、部件正确的装配在一起，并且符合技术和使用要求，这并不是一个简单的问题。因为，零件之间由于工作情况不同而有不同要求的配合关系；零件之间除了配合要求之外，还有相对位置要求。装配精良的设备，不仅可以保证设备正常运转、减少磨损、延长使用寿命，而且还能保证加工质量，提高劳动生产率，节约能源，降低产品成本。

调整与试验

安装工程决不是仅仅把各种设备安放、固定在指定位置，更重要的是对设备的各项工作参数进行调整。如一个中央空调系统，将设备固定在指定位置并形成相互关系后，制冷机组需要调整其各项参数，如压力、真空度、泄漏量、制冷热负荷等；冷却水系统需调整其通水量；冷冻水系统需调整通水量、进水温度和出水温度；风机盘管需调整通风量。中央空调系统的安装调整与试验是各类安装工程中最简单的。在现代化建筑、工业建筑和军事工业和尖端科技建设领域的安装工程中，调整与试验的技术问题则更为复杂。

调整与试验的参数既有物理参数，如压力、温度、流量等，也有电学参数，随着计算机控制技术的引入，还包括控制程序中的各数字参数的调整与命令的设置等。

某些高速运转设备在试车时，常出现振动，在转速提升过程中，还可能在某一段引起共振，必须找出振动产生的原因、提出减小振动的措施，以保证设备正常运转。

第二节 摇安装工程检测技术的内容

安装工程检测技术与一般技术测量和装配测量技术既有共同处，也有不同之处。一般技术测量主要是零件尺寸和几何形状的测量，装配测量主要是各零件或零件与部件间的相互装配位置精度的检测。安装工程检测技术不仅包括一般技术测量和装配测量技术，而且还包括工程测量（甚至是精密工程测量）和物理、机械参数，如温度、压力、应变、振动、噪声等的检测及机械平衡试验；不仅包括静态测量，而且还包括在设备调试与试运转时的动态测量。

安装工程检测技术的主要内容有：

● 安装工程检测技术基础理论；

● 安装工程检测常用的量具、量仪的构造、原理、使用和维护方法；

● 安装工程常用的测量方法和检测技术。

圆 此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

安装工程检测技术是一门跨学科和实践性强的学科，在安装工程的实施过程中，不仅要掌握测量基础理论，还要具有测量器具的操作技能。

第三节 摇安装工程检测技术的发展趋势

长期以来，安装行业的安装检测手段及装备远远落后于制造业的检测手段和装备。在施工现场，经常用简单的检测工具来完成复杂的检测工作，缺乏严密性和科学性。随着经济发展和科学技术的进步，新的检测仪器和检测技术将逐渐得到推广和应用。

一、安装工程检测仪器的的发展方向

安装工程检测仪器将朝着高精度、多用途、光机电一体化方向发展。例如瑞典 阿特拉斯公司生产的 阿特拉斯系列激光对中及几何测量系统将激光对中仪、激光滚筒测量系统、激光轮机对中仪和激光几何测量系统合而为一，可进行机械对中（水平和垂直），软脚测量，偏置轴和万向节轴调整，以及直线度、同轴度、垂直度、平行度、平面度和直角测量。

二、安装工程施工测量的自动化和智能化

安装工程施工自动化的重要环节是测量和定位自动化。大型安装工程的工作量大，现场条件复杂，安装施工测量的自动化、智能化有利于加快安装工程施工速度。

安装工程施工放样仪器，以全站式电子速测仪发展最为迅速。全站仪不仅具有测角和电子测距的功能，而且具有自动记录、存储和运算能力，有很高的作业效率。最新的全能型全站仪，在完善的硬件条件下，包含了丰富的软件，可实现地面控制测量、施工放样和大比例尺细部测量的一体化，同时还具有中文菜单提示和人机交互操作功能。

三、大型精密安装工程测量方法和技术

随着各种现代化建设和人类科学技术不断向宏观宇宙和微观粒子世界延伸进行的大型特种精密科学实验需要，一些大型、高耸设备和精密设备在工业生产、科学研究和国防部门中使用，如大型轧钢机组、大型发电机组、天体物理研究中的射电望远镜、电子对撞机、高能粒子加速器、导弹发射井，卫星发射架、电视发射塔等。

北京正负电子对撞机工程是一项测量工作量大、项目齐全、复测周期短、监测时间长的大型工程。对基础稳定性的测量、施工控制网和设备安装测量不仅难度大，而且精度要求高，如要求磁铁安装误差要小于 0.01mm ，直线加速器真空管的准直精度要求达到 0.01mm 。

研究基本粒子结构和性质的高能粒子加速器工程，要求两相邻电磁铁的安装相对径向误差不超过 $\pm 0.01\text{mm}$ ；直线加速器中漂移管的横向精度为 0.01mm ；紧缩场工程的检校测量精度为 0.01mm 。

大型核电厂长 100m 、宽 10m 的汽轮发电机组，其平面控制点精度要求小于 0.01mm ，水平位移和垂直位移精度为 $\pm 0.01\text{mm}$ 。为此需要建立自动化的持续的监测系统，包括液体静力水准测量系统（ σ 越 $\pm 0.01\text{mm}$ ），电子应变仪（测量基础与汽轮机组之间的距离变化，测程 10m 时， σ 越 $\pm 0.01\text{mm}$ ；测程 100m 时， σ 越 $\pm 0.01\text{mm}$ ），电子铅直仪（测量汽轮机组基座平面位移，测程 10m 时， σ 越 $\pm 0.01\text{mm}$ ），电子测倾仪（ σ 越 $\pm 0.01\text{mm}$ ）等。

三峡工程双线五级船闸人字门是世界上最大的人字门，单扇宽 100m 、高 100m （另一规格为 100m ）、厚 10m ，面积相当于两个篮球场大，重 1000t ，结构复杂。船闸从制造

的难度和运行条件的复杂程度看，都是世界一流水平的。安装完成后，两扇门关闭到位时的间隙要在 0.05mm 以下，一根头发丝也插不进去，可想而知，船闸安装精度要求非常高。

大型精密设备和结构安装要求相当高的定位、找正和找平精度，为了保证各种大型精密设备和结构顺利安装，安全运行，用常规的测量仪器和工具就显得力不从心，必须借助精密工程测量技术、测量技术和工业测量技术等使之达到所要求的安装精度。

精密安装工程测量技术

(一) 精密测距技术

精密测距技术主要是以各种定长杆尺和定长钢瓦线尺配合测微装置组成的测量仪、测量距离变化的应变仪和伸缩仪等短距离和微距离机械测量技术和以采用红外光电测距仪和精密激光测距仪等中长距离光电测量技术。

(二) 精密测平技术

安装工程设备找平中，大间距范围内的相对高程测量是利用导电法连通管水平仪和可调平尺；在长距离、大跨度、异形面的高精度找平中，用精密水准仪测平。精密高程测量技术主要采用微水准测量、激光扫平水准测量和液体静力水准测量。前者采用专用微型水准尺和激光水准仪；而后者则是根据连通管原理，通过各种类型的传感器测量容器的液面密度，同时获取数十乃至数百个测点的高程，具有高精度、遥测、自动化、可移动和持续测量等特点。

(三) 精密安装基准线测量技术

精密基准线测量又称精密准直测量，是直线型设备精密安装或水平位移精密测量的一种方法。其基本原理是在两个基准点之间通过光学视准线、机械引张线或激光束建立一条基准线，以测出设备上观测点偏离该基准线的偏离值，从而把设备调整安装到该基准线上或者测出水平位移量。

(四) 安装施工精密定位测量技术

在安装工程中，广泛应用高精度经纬仪、激光水准仪、激光经纬仪和激光准直仪找中、定位和定向。尤其是对成套机组设备，用激光测量仪器检测明显优于钢丝法、普通水准仪法和经纬仪法，而且操作简单。

在水泥厂回转窑安装、大型汽轮机发电机组轴系的同轴度检校时，用激光准直仪可达到较高的检测精度，而且可提高检测效率，并减轻操作强度。

精密安装控制测量技术

精密定位技术是近代迅速发展起来的卫星定位新技术，在国内外获得了日益广泛的应用。用精密进行工程测量的精度高，作业时间短，不受时间、气候条件和两点间通视的限制，可在统一坐标系中提供三维坐标信息等，因此在工程测量中有着极广的应用前景。在大型精密设备（如直线加速器）安装工程中，应用精密技术建立和改造高精度的安装工程测量控制网。

工业测量技术

利用光学和摄影测量原理，在航空航天、汽车和船舶制造等现代工业中为进行产品质量控制而提供在特定坐标系下的精确三维坐标的测量工作。例如，对机械工业中空间尺寸在 100mm 以内，测量误差限制在毫米以下的工件和整机进行的形体测量。通

过工业测量，使机器零件与部件的制造、装配及整机的安装符合设计要求。电子经纬仪和全站仪工业测量系统已普遍应用于大型天线和结构的安装和形面检测。

四、数据处理自动化

随着安装工程检测仪器精度的提高、获取的检测数据量的增大、对结果的可靠性和精度要求的提高，对数据处理提出了更高的要求。随着计算机技术的发展，数据处理正在逐步走向自动化。

第二章摇安装精度及检测项目

第一节摇安装精度

安装工程是将各类设备和结构组合成一套装置或一条生产线，从而构成一个技术装备系统，并最终形成生产力。安装工程的质量直接影响技术装备系统的生产能力、产品质量和经济效益，而各设备和结构的安装精度是影响整个安装质量的最重要因素。

安装精度是指在安装工程中为保证整套装置正确联动所需各独立设备之间的相互位置精度；单台解体设备通过合理的安装工艺和调整方法能够重现的制造精度；整台（套）设备在试运转中的运行精度等三方面精度。

1. 制造精度

制造精度是指对设备本体和零部件表面质量、形状和几何尺寸提出的精度要求，如表面粗糙度、直线度、平面度、圆度、圆柱度、几何尺寸等。在单台设备安装工程中，中、小型整体出厂的设备，其制造精度全部由制造厂保证。运到现场的大型解体设备，其某些制造精度项目则需要通过合理的安装工艺和调整方法，才能够重现其制造精度。

2. 位置精度

位置精度是指各独立设备之间及零、部件之间的相互位置要求，如距离、标高、水平度、同轴度、垂直度、平行度等精度要求。在设备安装过程中如达不到规定的精度要求，将会影响设备的整体精度和使用性能。

3. 运行精度

运行精度是指设备在试运转中，各运动部件之间的相对运动精度，如直线运动精度、圆周运动精度、传动精度等。如在大型滚齿机安装时，若传动链末端的涡轮副因安装精度超差，产生运行误差，就会影响齿轮的加工精度；龙门刨床的床身导轨的直线度和导轨之间的平行度将影响工作台的直线运动精度。

运行精度需由制造精度和位置精度来保证。

安装精度检测的目的是检测设备安装质量是否符合标准，制造中是否存在问题，是否满足使用要求等。

第二节摇安装工程中主要精度检测项目及检测方法

一、几何尺寸精度检测项目及检测方法

几何尺寸精度检测包括标高差、距离、间隙、角度等的检测。标高可用水准仪进行测量；距离用钢直尺测量；间隙可用塞尺、百分表、千分表测量；角度用角尺、万能测角仪、经纬仪测量。

二、形状与位置精度检测项目及检测方法

设备在安装位置上的检测是安装工程中最重要的内容之一，也是安装工程中技术较强的

远 此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

环节。设备在安装位置上的检测工作所涉及的主要内容是形状和位置误差的检测。

源 安装工程中的形位公差

(员) 形位公差研究的对象

形位公差研究的对象是构成零件几何特征的点、线、面。国家标准统一将构成零件几何特征的点、线、面称为“要素”。

几何要素可以从不同角度来进行分类：

员) 按结构特征分

① 轮廓要素

轮廓要素是指构成零件外形的点、线、面各要素，如图 1-1 中的球面、圆锥面、圆柱面、端面以及圆锥面和圆柱面的素线。

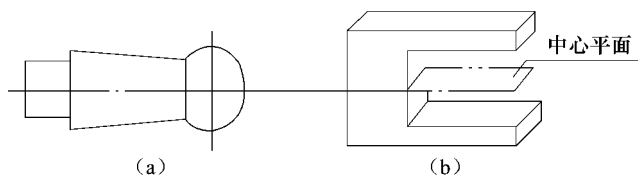


图 1-1 零件的几何要素
(员) 点、线、面；(员) 中心平面

② 中心要素

中心要素是指轮廓要素对称中心所表示的点、线、面各要素，如图 1-1 中的轴线、球心、锥顶、中心剖面等。

员) 按存在状态分

① 实际要素

实际要素是指零件上实际存在的要素，通常用测量得到的要素来代替。

② 理想要素

理想要素是指具有几何意义的要素，即几何的点、线、面。理想要素不存在任何误差。

猿) 按所处地位分

① 被测要素

被测要素是指给出了形状或位置公差要求的要素，是检测的对象。如图 1-2 (员) 中 $\phi 16$ 孔的轴线、图 1-2 (员) 中的上平面。

② 基准要素

基准要素是指用来确定被测要素方向或位置的要素。理想的基准要素简称基准。基准有基准点、基准直线和基准平面三种。如图 1-2 (员) 中 $\phi 30$ 孔的轴线、图 1-2 (员) 中的下平面。

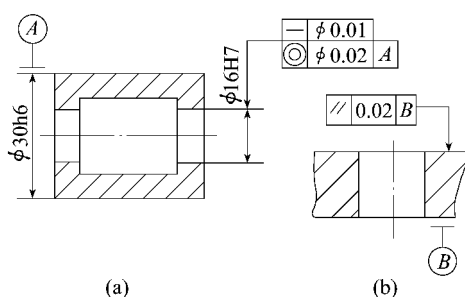


图 1-2 基准要素和被测要素

源) 按功能要求分

① 单一要素

单一要素是指仅对要素自身提出功能要求而给出形状公差的要素。

② 关联要素

关联要素是指相对于基准要素有功能要求，如平行、垂直、同轴等，而给出位置公差的要素。如图 10-10 (a) 中 $\phi 40$ 孔的轴线，相对于 $\phi 60$ 圆柱面轴线有同轴度公差要求， $\phi 40$ 孔的轴线属关联要素；上平面相对于下平面有平行度要求，上平面属关联要素。

(四) 形位公差的项目及含义

国家标准将形位公差共分为 14 个项目，其中形状公差为 4 个项目，轮廓公差为 2 个项目，定向公差为 3 个项目，定位公差为 3 个项目及跳动公差为 2 个项目。形位公差的每一项目都规定了专门的符号，如表 10-1 所示。

表 10-1 形位公差分类、项目及符号

公差类别		特征项目	符号
形状	形状	直线度	—
		平面度	
		圆度	
		圆柱度	
形状或位置	轮廓	线轮廓度	
		面轮廓度	
位置	定向	平行度	//
		垂直度	
		倾斜度	
	定位	位置度	
		同轴度	
		对称度	
	跳动	圆跳动	
		全跳动	

形位公差是指被测实际要素的允许变动全量，所以，形状公差是指单一实际要素的形状所允许的变动量。位置公差是指关联实际要素的位置对基准所允许的变动量。

(一) 安装水平检测

设备或结构某一指定平面与水平面的平行度称为设备的安装水平。

(1) 安装水平精度检测方法

- ① 在加工平面上放置水平仪直接检测；
- ② 将水平仪放置在垫有等高块或特制垫块的平尺上检测；
- ③ 液体连通器检测；
- ④ 光学仪器检测。

(2) 安装水平偏差的计算方法

对于一般设备，测点处测出的水平偏差即可代表该设备的水平状态。如对普通车床，技

愿

术文件中规定：检验水平偏差时，将水平仪按纵、横向放在溜板上，移动溜板，在床身两端进行。在中心距大于 1m 时，应在导轨中间加一个检测位置，其水平偏差允差纵、横向均为 0.05mm/m。此时只要 3 个（或 4 个）位置处的纵、横向水平仪读数都不超过 0.05mm/m，即认为该设备的安装水平符合要求。

对于床身大于 1m 的机床，其水平偏差应采用图解法求出导轨直线度。导轨直线度曲线的包容线（或两端点连线）与横坐标间的倾斜率即为导轨的水平偏差（仅限于用水平仪测量），如图 10-10 所示。

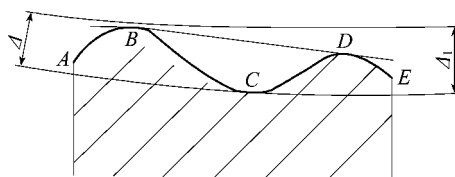


图 10-10 包容线

导轨直线度检测

直线度是指实际形状对理想直线的偏差。直线度包括给定平面内的直线度、给定方向上的直线度（包括给定一个方向和给定两个互相垂直的方向）和在任意方向上的直线度。

(一) 直线度的检测方法

有以平尺为基准检测；以拉紧钢丝为基准检测；水平仪检测；光学仪器检测。

安装工程中直线度检测的理想直线有：

1) 以贴切直线作为理想直线

在生产中所用的刀口尺光隙法和平尺塞尺法等都是以贴切直线作为理想直线检测工件。

使用刀口尺看光隙时，采用直边比较精密的刀口尺，将刀口靠上被测工件，对光观察，发现有光隙时进行调整。当精度要求较高时，可用刀口尺、量块并利用光的干涉原理来检测缝隙的大小；当精度要求较低时，使用一般直尺即可进行检测。

在需要确定间隙的大小时，比较简便的方法是采用平尺、塞尺法，以塞尺测得的最大间隙值作为直线度。

2) 以两端点直线作为理想直线

① 单向弯曲

在安装现场对长度大的工件，如图 10-11(a) 所示的长 1m 的锅炉立柱弯曲度允差为 0.5mm/m，一般采用拉线测量，即以两个端点拉一条线；对长度短的工件，采用直尺测量，即用直尺靠在弧线内，然后测凸出处与线或尺间的距离。此时测得的全长直线度与贴切法一致。

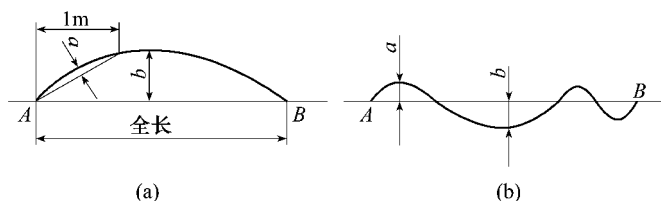


图 10-11 以两端点连线作为理想直线

(a) 单向弯曲；(b) 双向弯曲

② 双向弯曲

如图 10-11(b) 所示，如果只规定一个全长弯曲度，那么双向弯曲时 (a) 和 (b) 可各为 0.5mm/m，相差 0.5mm/m。故用此法测得的结果比贴切法有可能小一半，所以检测时必须使测量方

法符合规定的要求。

③安装基准线作为中心基准

在起重机安装中，规范中规定对起重机轨道应先选定调整轨道直线度用的安装基准线，轨道实际中心线与安装基准线的不重合度允差为 $\frac{1}{1000}$ 。在检测中必须标出轨道的实际中心线，而且需标出一些实际中心点，这些点可以落在安装基准线的两侧，每侧不超过 $\frac{1}{2000}$ 即可。

④ 以符合最小条件的包容线作为理想直线

通过测量求得数据后，将所测线 xy 的实际形状画在图上（如图 10-10 所示），作一组平行线包容该线，称为包容线。包容线可以有好几组，此时应选两平行线间距离最小的那组。从图上看， $\Delta \approx \frac{1}{1000}$ ，所以应选 xy 线组，距离 Δ 即为 xy 的直线度。此两条包容线所形成的区域即为公差带。

给定两个互相垂直方向直线度公差带的形状应该是一个空间的长方棱柱体。为了检测时的方便，一般将空间的直线度分解为水平方向和垂直方向进行测量。如检测机床导轨的直线度时，均在水平面和垂直面内分别进行测量。

采用公差带概念时，必须将被测的实际形状绘成图形或通过计算才能确定公差带。这在理论上比较合理，但在操作时比较麻烦。在安装工程中，这种方法多用于金属切削机床导轨的检测。

（圆）直线度误差的评定方法及数据处理

① 图解法

图解法的基本原理就是用检测仪器（如水平仪）测得的运动曲线（折线）来代替被测要素（如导轨）的实际直线度误差曲线。

② 计算法

图解法的优点是形象直观，但准确度较低，因此有时采用计算法求解。计算法是通过换算，直接求得被测要素实际曲线与理想曲线间的坐标偏差。

④ 平面度检测

平面度是指实际表面对理想平面的偏差，是表面在各个截面内直线度误差的综合。

安装工程中，平面度的检测常用于大型设备的底座和机床的工作台面等。对于大型设备底座一般要求各支承面在同一平面内，而且对水平偏差有要求，但是精度较低；对于大型机床工作台，特别是高精度机床的工作台，对平面度的要求高，因为机床工作台面是用来固定被加工零件和工夹具的，若其平面度误差过大，则在紧固加工件或夹具时，就会引起变形而影响零件的加工精度。

（圆）平面度的检测方法

① 以被测平面上最大直线度表示平面的平面度

面是由线扩展而成的，如果在平面中取出若干条线（线的位置和数量有一定要求），则这些线的直线度在一定程度上就反映了面的平面度。如以选定的各测量线中的最大直线度误差定作为平面的平面度，则平面度的测量实际上就变成了直线度的测量。这种测量方法比较简单，但严密性较差，现多用于一般机床台面的测量。在各种机床精度标准中，一般规定测量出工作台面在各个方向（纵、横、对角、辐射）上的直线度误差后，再取其中的最大数值作为工作台面的平面度误差值。

②

对于中等尺寸的矩形和圆形工作台面，其测量线布置如图 9-15 中虚线所示。测量线数量一般取 3~8 条。如果测量平面较大或要求较严，可以适当增加测量线数目。

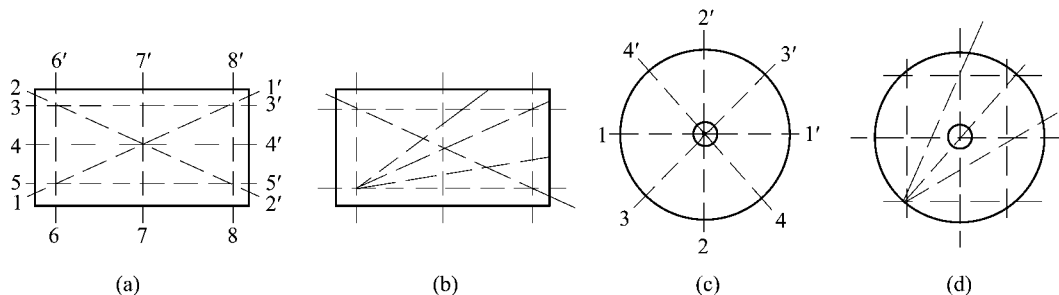


图 9-15 矩形工作台面测线布置

测量方法与直线度的检测相同，有平尺、塞尺测量；平尺、百分表测量；水平仪或自准直仪测量。

圆 三点法

以被测平面上相隔最远的三点组成理想平面，以测出被测表面上各点与理想平面之间的最大距离作为平面的平面度误差原始数据。

① 用水平仪或自准直仪检测

测量时所取测量线都平行于平面侧边，先测出各测量线上的直线度偏差，然后经过计算出非基准点相对于基准面（包含三个基准点）的偏差。

② 用平面扫描仪检测

平面扫描仪检测简单方便，而且测量结果系线值，无须换算。如果所测平面有水平偏差要求，则可使用高精度水准仪，但其测量精度低于平面扫描仪。

采用三点法测量时，同一测量平面选取不同的三个点为基准进行测量时，其平面度结果是有差异的。

圆 对角线法

以通过实际表面的一条对角线且平行于另一条对角线的平面作为理想平面，以测出实际表面上各点与理想平面之间的最大距离作为平面的平面度误差原始数据。

对角线法是国家标准中所规定的平面度测量方法。用水平仪或自准直仪测量时，测量线布置如图 9-16 中的虚线所示，其中图 9-16(a) 中有八条测量线，如果平面较大，可在平行于长度或宽度方向增加测量线，如图 9-16(b) 所示。各测量线上的直线度偏差求出后，还用图解法或算法换算，才能求出整个被测平面的平面度误差。

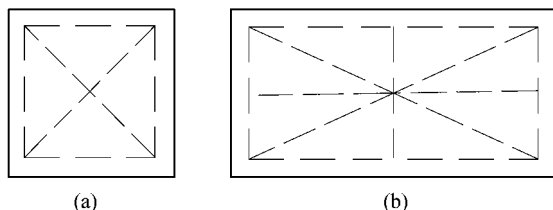


图 9-16 矩形对角线法测线布置

源 着色法（研点法）

将被检查平面直接用涂色法与精度较高的平板对研，根据接触斑点的面积和分布的均匀程度（一般用单位面积内的点数度量）来检测平面的平面度，此法测量最为简单，斑点分布愈均匀、细密，说明被测表面愈平整，但这只能作定性判断，不能检查出平面度的误差数值，而且只能用来检查较小的平面，安装现场一般用来检查接合面的平面度，然后根据接触斑点进行刮研。

缘 水平面法

在被测表面上的某一点建立基准平面，此平面是一与水平面平行的几何平面，测出各点相对于基准平面的高度，则可得到平面度误差。在整个测量过程中要保持被测表面的原始位置不变。

用水平面法测量一块源皂伊原皂皂的平板的平面度误差，用因因因因因的合像水平仪进行测量，选择的起始点如图因因因（葬）所示，最多测源项（葬→遭→糴→糵）。

则平面度误差原始数据如图因因因（遭）所示。

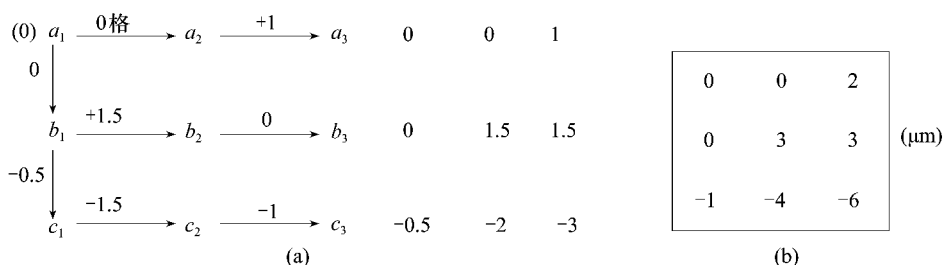


图 10-10 水平面法

（圆）平面度误差的评定方法及数据处理

员 评定基准

平面度误差按最小条件评定，但最小条件需要找理想平面的位置，这样数据处理比较复杂。因此在平板检定规程里规定可以用对角线法的过渡基准平面作为评定基准，虽然不符合最小条件，但较接近最小条件。对角线法评定如前所述，平面度误差为最高点与最低点之差。下面介绍按最小条件评定的方法。

最小条件又称最小包容条件，平面度误差为包容实际表面且距离为最小的两平行平面间的距离。

由过渡基准所获得的原始数据，一般是不符合最小条件的。因为测量时应用的过渡基准平面与理想平面不重合（或不平行），因此需要变换基准，把相对过渡基准平面的原始数据变换为相对于理想平面的数值，其中最高点与最低点之差为平面度误差。而理想平面的位置随着被测实际表面的不同而不同，如何确定其位置，就需要有判别法则。现介绍以下符合最小条件的判别法则：

① 在被测表面的平面度误差示意图中，当由至少三个等值最高（低）点所组成的三角形内（或边界上）有一个最低（高）点时（图因因因），过三个等值最高（低）点的平面为理想平面，该法则为三角形法则。

② 在被测表面的平面度误差示意图中，当由至少两个等值最高点分布在至少由两个等值