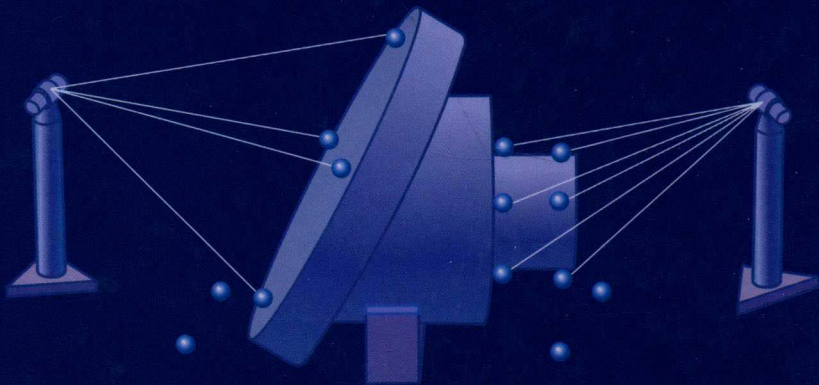




航天科技图书出版基金资助出版

几何量常用测量方法

李京苑 陈金存 刘大亮 编著



中国宇航出版社

资助出版

几何量常用测量方法

李京苑 陈金存 刘大亮 编著



中国宇航出版社

·北京·

版权所有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

几何量常用测量方法 / 李京苑, 陈金存, 刘大亮编著. --北京:中国宇航出版社, 2018. 8

ISBN 978-7-5159-1497-8

I. ①几… II. ①李… ②陈… ③刘… III. ①几何量-测量方法 IV. ①TB92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 163618 号

责任编辑 黄 莘

责任校对 王 妍 汪秀明

封面设计 宇星文化

出 版

发 行 **中国宇航出版社**

社 址 北京市阜成路 8 号

邮 编 100830

(010)60286808

(010)68768548

网 址 www.caphbook.com

经 销 新华书店

发行部 (010)60286888

(010)68371900

(010)60286887

(010)60286804(传真)

零售店 读者服务部

(010)68371105

承 印 河北画中国画印刷科技有限公司

版 次 2018 年 8 月第 1 版

2018 年 8 月第 1 次印刷

规 格 880 × 1230

开 本 1/32

印 张 11.125

字 数 310 千字

书 号 ISBN 978-7-5159-1497-8

定 价 128.00 元

本书如有印装质量问题, 可与发行部联系调换

航天科技图书出版基金简介

航天科技图书出版基金是由中国航天科技集团公司于2007年设立的，旨在鼓励航天科技人员著书立说，不断积累和传承航天科技知识，为航天事业提供知识储备和技术支持，繁荣航天科技图书出版工作，促进航天事业又好又快地发展。基金资助项目由航天科技图书出版基金评审委员会审定，由中国宇航出版社出版。

申请出版基金资助的项目包括航天基础理论著作，航天工程技术著作，航天科技工具书，航天型号管理经验与管理思想集萃，世界航天各学科前沿技术发展译著以及有代表性的科研生产、经营管理译著，向社会公众普及航天知识、宣传航天文化的优秀读物等。出版基金每年评审1~2次，资助20~30项。

欢迎广大作者积极申请航天科技图书出版基金。可以登录中国宇航出版社网站，点击“出版基金”专栏查询详情并下载基金申请表；也可以通过电话、信函索取申报指南和基金申请表。

网址：<http://www.caphbook.com>

电话：(010) 68767205, 68768904

《几何量常用测量方法》 编委会名单

主 任

李京苑 陈金存 刘大亮

编写组成员（按姓氏音序排列）

安立辉	白 冰	曹宇梅	陈 飞	陈思舟	邓明霞
樊 莉	胡文刚	黄绍宇	李 瑾	刘国华	刘 琦
刘姗姗	刘 伟	刘 炎	刘兆宾	刘 忠	孙国辉
田 鑫	王 贺	张 瑞	甄宏伟		

前 言

近年来，以运载火箭为代表的部分型号进入高密度发射阶段，型号产品的生产呈现加工数量多、生产周期短等特点。目前，虽然部分型号取得了连续发射成功的骄人成绩，但型号生产中出现的归零和故障分析存在部分关（重）产品几何量（主要为尺寸、形位误差、表面粗糙度）加工信息只有合格结论而无实测数据，积累的原始数据仅局限于试验性能而无法具体到零件尺寸，无法给故障分析及今后设计工艺优化提供翔实的数据支撑等问题，使得型号产品几何量测量成为关键，要求进行型号各关（重）产品的100%量化测量，同时，生产线建设带来的生产模式改变，给几何量测量能力带来了巨大的挑战，需要针对产品的设计精度和加工工艺，制定切实可行的测量方法，以实现型号产品几何尺寸的快速、准确测量。而长期以来，对于型号产品几何尺寸的测量一直未形成系统的测量指导手册，检测人员的技术水平不同、检测方法不同，导致测量过程中测量数据不一致现象时有发生。因此，为提高型号产品的检测质量，满足型号产品的测量需求，在各级领导的大力支持下，我们组织长期从事型号产品测量的人员，编写了《几何量常用测量方法》一书。

《几何量常用测量方法》汇集了精密测量技术概论、尺寸常用测量方法、形位误差常用测量方法、表面粗糙度常用测量方法、螺纹常用测量方法、圆柱齿轮常用测量方法以及典型产品测量方法等七章内容，各种测量方法分别从测量原理、测量过程、适用范围与测量不确定度4个方面加以阐述。

《几何量常用测量方法》采取图文并茂的形式，体例规范、文字

简练、重点突出，具有内容覆盖面广、测量技术先进、适用性强等特点，可帮助设计、工艺和检验人员合理选用测量方法进行测量工作，亦可作为各级设计、工艺和检验人员日常工作指导用书和培训教材。

在本书编撰过程中，得到了相关部门的大力支持，在此表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者指正。

《几何量常用测量方法》

编委会

2018年5月

目 录

第 1 章 精密测量技术概论	1
1.1 测量的基本概念	1
1.1.1 测量、测试、检验、检定及比对	1
1.1.2 测量过程	1
1.1.3 精度、准确度、精密度及精确度	3
1.2 几何量测量的基本原则	3
1.2.1 阿贝测长原则	3
1.2.2 圆周封闭原则	4
1.2.3 最小变形原则	4
1.2.4 最短测量链原则	4
1.3 几何量测量方法的正确选择	5
1.3.1 测量方法设计	5
1.3.2 测量方法选择原则	6
1.4 数据处理方法	7
1.4.1 异常值的判定和剔除	8
1.4.2 数据位数与数据修约规则	8
1.5 测量不确定度	9
1.5.1 测量不确定度基本概念	9
1.5.2 测量不确定度评定方法	11
第 2 章 尺寸常用测量方法	16
2.1 直径尺寸常用测量方法	16
2.1.1 外径千分尺测量法	16
2.1.2 平台测量法	17

2.1.3	立式光学计比较测量法	18
2.1.4	立式阿贝比长仪测量法	20
2.1.5	光学灵敏杠杆测量法	22
2.1.6	万能工具显微镜影像测量法	24
2.1.7	影像测量仪影像自动测量法	25
2.1.8	三坐标测量法	26
2.1.9	激光跟踪测量法	28
2.2	长度尺寸常用测量方法	30
2.2.1	外径千分尺测量法	30
2.2.2	平台测量法	31
2.2.3	孔心距万能工具显微镜影像测量法	32
2.2.4	孔心距影像测量仪影像自动测量法	33
2.2.5	孔心距三坐标测量法	35
2.2.6	厚度立式光学计比较测量法	36
2.2.7	厚度立式阿贝比长仪测量法	37
2.2.8	厚度(壁厚)三维扫描测量法	38
2.3	角度尺寸常用测量方法	40
2.3.1	样板(或直角尺)比较测量法	40
2.3.2	万能角度尺测量法	42
2.3.3	正弦尺测量法	43
2.3.4	万能工具显微镜影像测量法	44
2.3.5	影像测量仪影像自动测量法	46
2.3.6	三坐标测量法	47
2.3.7	激光跟踪测量法	48
第3章	形位误差常用测量方法	52
3.1	直线度误差常用测量方法	54
3.1.1	刀口尺(平尺)测量法	54
3.1.2	平台打表测量法	55
3.1.3	万能工具显微镜影像测量法	57

3.1.4	影像测量仪影像自动测量法	58
3.1.5	水平仪（或自准直仪）测量法	59
3.1.6	三坐标测量法	61
3.1.7	激光跟踪测量法	62
3.2	平面度误差常用测量方法	65
3.2.1	平晶干涉测量法	65
3.2.2	平台打表测量法	66
3.2.3	水平仪（或自准直仪）测量法	67
3.2.4	三坐标测量法	69
3.2.5	影像测量仪影像自动测量法	70
3.2.6	激光跟踪测量法	71
3.3	圆度误差常用测量方法	72
3.3.1	平台打表测量法	72
3.3.2	立式光学计比较测量法	74
3.3.3	立式阿贝比长仪测量法	75
3.3.4	万能工具显微镜影像测量法	76
3.3.5	影像测量仪影像自动测量法	77
3.3.6	圆柱度仪测量法	78
3.3.7	三坐标测量法	80
3.3.8	激光跟踪测量法	81
3.4	圆柱度误差常用测量方法	83
3.4.1	平台打表测量法	83
3.4.2	万能工具显微镜影像测量法	85
3.4.3	影像测量仪影像自动测量法	86
3.4.4	圆柱度仪测量法	87
3.4.5	三坐标测量法	89
3.4.6	激光跟踪测量法	90
3.5	线轮廓度误差常用测量方法	92
3.5.1	轮廓样板比对测量法	92

3.5.2	投影放大比对测量法	93
3.5.3	万能工具显微镜影像测量法	95
3.5.4	影像测量仪影像自动测量法	96
3.5.5	三坐标测量法	97
3.5.6	激光跟踪测量法	98
3.5.7	三维扫描测量法	100
3.6	面轮廓度误差常用测量方法	101
3.6.1	轮廓样板比对测量法	101
3.6.2	三坐标测量法	103
3.6.3	激光跟踪测量法	104
3.6.4	三维扫描测量法	106
3.7	平行度误差常用测量方法	108
3.7.1	平台打表测量法	108
3.7.2	万能工具显微镜影像测量法	111
3.7.3	影像测量仪影像自动测量法	113
3.7.4	三坐标测量法	114
3.7.5	激光跟踪测量法	115
3.8	垂直度误差常用测量方法	117
3.8.1	直角尺比较测量法	117
3.8.2	平台打表测量法	118
3.8.3	万能工具显微镜影像测量法	121
3.8.4	影像测量仪影像自动测量法	122
3.8.5	三坐标测量法	124
3.8.6	激光跟踪测量法	125
3.9	倾斜度误差常用测量方法	127
3.9.1	样板比较测量法	127
3.9.2	平台打表测量法	128
3.9.3	三坐标测量法	129
3.9.4	激光跟踪测量法	130

3.10	同轴度误差常用测量方法	132
3.10.1	平台打表测量法	132
3.10.2	万能工具显微镜影像测量法	134
3.10.3	影像测量仪影像自动测量法	136
3.10.4	圆柱度仪测量法	137
3.10.5	三坐标测量法	139
3.10.6	激光跟踪测量法	140
3.11	对称度误差常用测量方法	142
3.11.1	平台打表测量法	142
3.11.2	万能工具显微镜影像测量法	144
3.11.3	影像测量仪影像自动测量法	146
3.11.4	三坐标测量法	147
3.11.5	激光跟踪测量法	149
3.12	位置度误差常用测量方法	151
3.12.1	光学转台影像测量法	151
3.12.2	影像测量仪影像自动测量法	152
3.12.3	三坐标测量法	154
3.12.4	激光跟踪测量法	156
3.13	圆跳动误差常用测量方法	157
3.13.1	平台打表测量法	157
3.13.2	万能工具显微镜影像测量法	160
3.13.3	影像测量仪影像自动测量法	161
3.13.4	圆柱度仪测量法	162
3.13.5	三坐标测量法	163
3.13.6	激光跟踪测量法	164
3.14	全跳动误差常用测量方法	167
3.14.1	平台打表测量法	167
3.14.2	万能工具显微镜影像测量法	168
3.14.3	影像测量仪影像自动测量法	169

3.14.4	圆柱度仪测量法	171
3.14.5	三坐标测量法	171
3.14.6	激光跟踪测量法	172
第4章	表面粗糙度常用测量方法	181
4.1	表面粗糙度及其评定参数	181
4.1.1	表面质量	181
4.1.2	表面粗糙度	181
4.1.3	取样长度	182
4.1.4	表面粗糙度的评定参数	182
4.2	表面粗糙度测量原则	184
4.3	表面粗糙度测量方法	184
4.3.1	比较法	184
4.3.2	光切法	185
4.3.3	白光干涉测量法	186
4.3.4	干涉显微镜测量法	187
4.3.5	针描法	188
4.3.6	图像比对测量法	189
第5章	螺纹常用测量方法	192
5.1	螺纹基本知识	192
5.1.1	螺纹	192
5.1.2	螺纹种类	192
5.1.3	普通螺纹	193
5.2	普通螺纹主要几何参数	193
5.2.1	螺纹大径 (d 或 D)	193
5.2.2	螺纹小径 (d_1 或 D_1)	193
5.2.3	螺纹中径 (d_2 或 D_2)	194
5.2.4	螺距 (P)	194
5.2.5	牙型角 (α) 和牙型半角 ($\alpha/2$)	194
5.2.6	导程 L	195

5.2.7	螺纹升角 ψ	195
5.2.8	单一中径	196
5.2.9	作用中径	196
5.3	影响螺纹互换性的主要几何参数	197
5.3.1	中径误差	197
5.3.2	螺距误差	197
5.3.3	牙型半角误差	197
5.4	螺纹单项参数常用测量方法	198
5.4.1	外螺纹中径——三针测量法	198
5.4.2	内螺纹中径——三坐标双球测量法	200
5.4.3	外螺纹螺距误差——万能工具显微镜影像 测量法	201
5.4.4	外螺纹牙型半角误差——万能工具显微镜 影像测量法	203
第 6 章	圆柱齿轮常用测量方法	206
6.1	齿轮基本知识	206
6.1.1	齿轮	206
6.1.2	齿轮种类	206
6.1.3	圆柱齿轮传动的基本要求	207
6.1.4	齿轮公差组	207
6.2	渐开线基本知识	208
6.2.1	渐开线形成原理	208
6.2.2	渐开线的直角坐标	209
6.3	圆柱齿轮基本参数	210
6.3.1	直齿轮基本参数	210
6.3.2	斜齿轮基本参数	212
6.4	圆柱齿轮部分几何参数	214
6.4.1	公法线长度	214
6.4.2	齿圈径向跳动	215

6.4.3	齿距偏差和齿距累积误差	216
6.4.4	齿厚偏差	217
6.4.5	基节偏差	218
6.4.6	齿形误差	218
6.4.7	齿向误差	218
6.5	直齿圆柱齿轮几何参数常用单项测量方法	219
6.5.1	公法线长度——公法线千分尺测量法	219
6.5.2	齿圈径向跳动——齿圈径向跳动仪测量法	221
6.5.3	齿距偏差和齿距累积误差——光学分度头测量法	222
6.5.4	齿厚偏差——万能工具显微镜影像测量法	224
6.5.5	基节偏差——万能工具显微镜影像测量法	226
6.5.6	齿形误差——万能工具显微镜影像测量法	227
6.5.7	齿向误差——平台测量法	228
第7章	典型产品测量方法	231
7.1	外螺纹量规中径的测量	231
7.1.1	机械接触三针测量法	231
7.1.2	测量不确定度评定	232
7.2	光面塞规直径的测量	235
7.2.1	机械接触测量法	235
7.2.2	测量不确定度评定	236
7.3	光面环规直径的测量	238
7.3.1	光学灵敏杠杆测量法	239
7.3.2	测量不确定度评定	239
7.4	阀门壳体阀座密封面处 R 尺寸的测量	242
7.4.1	影像测量法	242
7.4.2	测量不确定度评定	243
7.5	V 形卡块角度的测量	247
7.5.1	三坐标测量法	248
7.5.2	测量不确定度评定	249

7.6 舵轴组合件角度的测量	251
7.6.1 三坐标测量法	252
7.6.2 测量不确定度评定	253
7.7 花键位置度误差的测量	255
7.7.1 光学转台影像测量法	256
7.7.2 三坐标自动测量法	256
7.7.3 测量不确定度评定	257
7.8 栅格翼两耳处螺纹孔同轴度误差的测量	260
7.8.1 平台测量法	260
7.8.2 三坐标测量法	262
7.8.3 测量不确定度评定	263
7.9 标准钻模位置度误差的测量	267
7.9.1 三坐标测量法	268
7.9.2 测量不确定度评定	271
7.10 贮箱垂直度误差的测量	276
7.10.1 激光跟踪测量法	276
7.10.2 测量不确定度评定	278
7.11 碟簧厚度尺寸的测量	280
7.11.1 机械接触测量法	281
7.11.2 测量不确定度评定	282
7.12 叶片分度角的测量	284
7.12.1 三坐标配合转台测量法	285
7.12.2 测量不确定度评定	288
7.13 壳体网格壁厚尺寸的测量	291
7.13.1 三维扫描测量法	292
7.13.2 测量不确定度评定	294
7.14 阀门壳体阀座 R 密封型面处垂直度误差的测量	298
7.14.1 复合式自动测量法	299
7.14.2 测量不确定度评定	300

7.15	大型壳体吊耳周向偏差的测量	302
7.15.1	激光跟踪测量法	302
7.15.2	测量不确定度评定	304
7.16	飞行器部段外形轮廓度的测量	306
7.16.1	三坐标测量法	307
7.16.2	测量不确定度评定	308
7.17	阀门阀芯非金属表面粗糙度的测量	311
7.17.1	相关干涉非接触测量法	311
7.17.2	测量不确定度评定	312
7.18	阀门壳体阀座 R 密封型面处表面粗糙度的测量	315
7.18.1	图像比对非接触测量法	315
7.18.2	测量不确定度评定	316
附录 1	几何量常用测量器具	320
附录 2	常用通用量具最大允许误差一览表	334
参考文献	336