



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

矿物加工 过程检测与控制技术

邓海波 高志勇 编著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



Metallurgical Industry Press
冶金工业出版社

KUANGWU JIAGONG
GUOCHENG JIANCE YU KONGZHI JISHU



体验更多精彩阅读
尽在冶金工业出版社微信平台

ISBN 978-7-5024-7379-2



9 787502 473792 >

定价 36.00 元
销售分类建议：矿业工程



普通高等教育“十三五”规划教材

矿物加工 过程检测与控制技术

邓海波 高志勇 编著

北京

冶金工业出版社

2017

内 容 提 要

本书注重理论与生产实际结合,详细阐述了基础的过程检测与控制原理,以及最新的与矿物加工有关的过程检测与控制技术,主要内容包括:过程检测与控制技术概述、传感器、矿物加工工艺检测系统、传统控制技术基础、工业控制计算机系统和先进控制执行技术、矿物加工工艺过程控制系统、工矿企业生产管理中的自动化系统应用。各章主要公式均有计算例题,章末附有习题和参考文献,便于学生掌握所学知识。

本书除可用作大专院校矿物加工工程和矿物资源工程专业的教材外,还可供相关专业的技术人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿物加工过程检测与控制技术/邓海波,高志勇编著. —北京:
冶金工业出版社, 2017. 1

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-7379-2

I. ①矿… II. ①邓… ②高… III. ①选矿—自动检测—
高等学校—教材 ②选矿—过程控制—高等学校—教材
IV. ①TD9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 295474 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcb@cnmp.com.cn

责任编辑 杨 敏 美术编辑 吕欣童 版式设计 彭子赫

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7379-2

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2017 年 1 月第 1 版, 2017 年 1 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 15 印张; 362 千字; 227 页

36.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

矿物加工过程检测与控制是采用仪表、自动装置、电子计算机等技术和设备,对矿物加工生产设备状态和生产工艺状况参数实行监测,对生产流程 and 产品质量进行控制,以实现预期的技术和经济目标的过程,亦可称为矿物加工自动化。

在大学理工科专业开设“过程检测与控制”课程的原因,是基于大学理工科学生未来将主要服务于生产企业,日常生产中除了将面对本专业主体技术领域的问题外,还将面对诸多的分支技术领域问题,如通过自动化技术的应用来提高企业的技术指标、劳动生产率和经济效益。这些问题需要由一定的自动化技术知识储备和专业技能相结合来解决。

相应的,教育部高等学校地矿学科教学指导委员会将“矿物加工过程检测与控制”课程列入了矿物加工工程专业指导性培养方案。学习“矿物加工过程检测与控制”课程的意义在于:

- (1) 该课程是矿物加工工程专业学科的组成部分;
- (2) 该课程是粉碎工程、浮选、物理分选、化学分选、粉体固结与造块等专业课程的平行课;
- (3) 该课程是现代工程技术人员知识素质构成中必不可少的组成部分;
- (4) 符合面向21世纪技术创新时代的中国社会和工矿企业对计算机应用技术的需要。

需要特别指出的是,一般理工科专业开设过程检测与控制技术类型课程的目的,是为了培养懂得该技术在本专业有何用和如何用的专业人才,而非自动化专业人才。同理,矿物加工专业开设过程检测与控制技术课程的目的,是为了培养懂得该技术在本专业有何用和如何用的矿物加工专业人才,而非自动化

专业人才。因此,在课程设置学时和教材方面,矿物加工过程检测与控制技术与自动化专业的相关教材理所当然地应有较大的不同,并应具有相应的专业特色。

基于以上考虑,作者依托自身的矿物加工工程专业背景、诸多的科研实践和多年的教学经验编写了本教材。本教材特色鲜明,与以往同类教材的不同之处主要体现在:

- (1) 按检测原理分类,介绍了各种传感器的结构与应用;
- (2) 结合生产实际,按工艺检测对象分类介绍了矿物加工专业工艺检测系统的原理与方法;
- (3) 按传统控制技术基础、工业控制计算机系统和先进控制执行技术分章节,以先进、够用为度,介绍了基础的控制原理和最新的控制技术构成;
- (4) 按矿物加工工艺过程分类介绍了过程控制技术在专业的具体应用和相关案例;
- (5) 按理工科通才培养模式,分类介绍了工矿企业生产管理自动化系统的应用和相关案例;
- (6) 相应大幅删减了自动控制调节理论内容,如环节微分方程、传递函数、串级调节、稳定性判定等的介绍,以及控制系统的具体软件编程和算法编程方法的介绍,对自动化理论和原理方面有进一步了解需求的读者,可进一步阅读自动化专业的相关教材;
- (7) 由于矿物加工数学模型有专门课程和相应教材,与此相关的内容也作了大幅精简,对此有兴趣的读者可进一步阅读矿物加工数学模型的相关教材;
- (8) 注重理论性与实用性的教学结合,各章针对检测与控制方法原理公式编写了一系列相应的计算例题,促使学生将理性知识、感性认识和应用能力进行综合融汇;
- (9) 绘制了众多的检测与控制调节设备的结构图片,图文并茂,增加读者的阅读兴趣与理解;

(10) 逐章编列了习题, 注明了参考文献的出处, 方便读者深入研讨。

感谢中南大学矿物加工工程专业多届本科同学在讲义试用过程中提出了许多改进意见。

感谢中南大学 2015 精品教材项目对本教材的支持。

由于作者水平所限, 书中不妥之处, 恳请读者指正。

作 者

2016 年 7 月

目 录

1 过程检测与控制技术概述	1
1.1 检测技术	1
1.1.1 检测技术的基本相关词语	1
1.1.2 测量	1
1.1.3 检测技术与科学技术发展	4
1.2 过程控制技术	6
1.2.1 过程控制技术的基本相关词语	6
1.2.2 过程控制技术发展过程	7
1.3 矿物加工工艺与过程检测、控制技术	9
1.3.1 选矿工艺与选矿自动化技术	9
1.3.2 团矿工艺与团矿自动化技术	11
习题	12
参考文献	13
2 传感器	14
2.1 传感器结构与分类	14
2.1.1 传感器结构	14
2.1.2 敏感元件、转化元件和传感器分类	15
2.2 传感器原理	15
2.2.1 膨胀式	15
2.2.2 弹性式	16
2.2.3 压电式	17
2.2.4 电阻式	17
2.2.5 电磁感应式	18
2.2.6 电容式	19
2.2.7 声波式	20
2.2.8 电磁波式	22
2.2.9 射线式	23
习题	26
参考文献	26

3 矿物加工工艺检测系统	27
3.1 工艺检测系统概述	27
3.2 速度检测	27
3.2.1 移动速度检测	27
3.2.2 转动转速检测	28
3.3 物料质量检测 (计量)	30
3.3.1 质量、重量与物料计量	30
3.3.2 人工测定计量	31
3.3.3 电子皮带秤	31
3.3.4 核子皮带秤	33
3.3.5 其他计量衡器	33
3.3.6 矿浆计量	34
3.4 物料组成成分检测	37
3.4.1 固体物料的成分表示和取样加工	37
3.4.2 固体物料矿物组成检测	39
3.4.3 物料化学成分含量化验分析	42
3.4.4 在线 X 荧光品位自动分析	44
3.4.5 溶液中的溶质成分含量 (溶液浓度) 测算和检测	48
3.4.6 工业窑炉中的 CO 、 CO_2 、 SO_2 气体成分含量检测	50
3.5 pH 值和矿浆电化学参数检测	51
3.5.1 pH 检测	51
3.5.2 浮选矿浆电化学参数检测	54
3.6 物料粒度和单体解离度检测	56
3.6.1 物料粒度和单体解离度的基本概念	56
3.6.2 物料单体解离度的检测	59
3.6.3 物料粒度的人工检测标定	60
3.6.4 物料粒度分布的仪器检测	63
3.6.5 物料矿石破碎粒度的生产在线检测	64
3.6.6 物料矿浆磨矿细度的生产在线检测	64
3.7 物料密度、水分和矿浆固含质量浓度检测	66
3.7.1 基本概念与计算公式	66
3.7.2 物料密度、水分和矿浆浓度的人工检测标定	70
3.7.3 物料水分含量的在线仪器检测	76
3.7.4 矿浆浓度的在线仪器检测	77
3.8 流量检测	80
3.8.1 流量的基本概念及在矿物加工工艺中的作用	80
3.8.2 药液流量和浮选机充气量的人工测量标定	82
3.8.3 流量的仪表测定	83

3.9 物位检测	86
3.9.1 超声波式物位计	86
3.9.2 浮球式液位计	87
3.9.3 差压式液位计	88
3.10 温度检测	89
3.10.1 温度概述	89
3.10.2 温度检测仪表	91
3.11 压强检测	93
3.11.1 压强概述	93
3.11.2 压强检测方法 与 仪表	95
3.12 工艺过程视频监控与机器视觉图像分析	96
3.12.1 工艺过程视频监控系统	96
3.12.2 机器视觉系统和图像检测分析	96
习题	97
参考文献	99
4 传统控制技术基础	100
4.1 自动控制系统	100
4.1.1 基本概念与术语	100
4.1.2 自动控制系统的组成单元及类型	102
4.1.3 自动控制系统的调节质量标准	104
4.2 被控对象及其特性	106
4.2.1 被控对象的容量特性与自衡	106
4.2.2 被控对象的滞后	107
4.2.3 被控对象的数学模型	107
4.2.4 被控对象的特点	110
4.3 控制规律	110
4.3.1 位式 (开关) 控制	110
4.3.2 比例作用控制规律 (P)	110
4.3.3 积分作用 (I) 和比例-积分作用控制规律 (PI)	111
4.3.4 微分作用 (D) 和比例-微分控制规律 (PD)	112
4.3.5 比例-积分-微分控制规律 (PID)	113
4.4 简单的工业控制器	114
4.4.1 工业控制器概述	114
4.4.2 传统的离心飞球调速器	114
4.4.3 电路图、电路开关和继电器控制系统	115
4.4.4 比例、微分、积分运算电路及 PI、PID 调节器	120
4.5 执行器	123
4.5.1 执行器的基本构成	123

4.5.2 电动执行器的执行机构	123
4.5.3 调节部件	126
习题	127
参考文献	128
5 工业控制计算机系统和先进控制执行技术	129
5.1 计算机与工业控制计算机系统	129
5.1.1 计算机和计算机网络	129
5.1.2 计算机控制系统	134
5.1.3 工业生产过程控制系统的设计选型	137
5.1.4 可编程控制器 PLC	138
5.1.5 集散控制系统 DCS	146
5.1.6 现场总线控制系统 FCS	150
5.2 先进控制技术	152
5.2.1 先进控制技术概述	152
5.2.2 控制系统数学模型	153
5.2.3 目标函数	155
5.2.4 优化计算方法	156
5.2.5 最优控制	161
5.2.6 专家系统	163
5.2.7 模糊控制	164
5.2.8 人工神经网络	164
5.3 先进执行器技术	166
5.3.1 变频调速技术	166
5.3.2 智能电动执行器	169
5.3.3 机器人	170
习题	172
参考文献	173
6 矿物加工工艺过程控制系统	174
6.1 破碎工艺过程控制	174
6.1.1 破碎系统设备开、停车的顺序控制和机械联锁	174
6.1.2 破碎机的挤满给矿控制	175
6.1.3 粉矿粒度检测与破碎机排矿口尺寸开度控制	176
6.1.4 粉矿仓的料位检测与布料控制	176
6.2 磨矿分级工艺过程控制	177
6.2.1 矿量定值控制和磨矿粒度控制	178
6.2.2 磨矿返砂比(循环负荷)的检测控制	178
6.2.3 磨机装球负荷和给矿负荷的检测	180

6.2.4 磨矿分级的系统优化控制软件	183
6.3 浮选工艺过程控制	184
6.3.1 浮选过程影响因素概述	184
6.3.2 浮选槽液面控制	185
6.3.3 浮选泡沫状态自动分析	186
6.3.4 浮选矿浆 pH 值的控制	187
6.3.5 浮选加药控制	189
6.3.6 浮选机风量、转速和浮选过程温度控制	189
6.3.7 浮选过程控制优化软件	190
6.4 物理分选工艺过程控制	192
6.4.1 选煤过程的重介质悬浮液密度控制	192
6.4.2 跳汰重选过程的自动控制系统	192
6.4.3 强磁选机及磁选工艺的自动控制系统	194
6.4.4 色选机(光电拣选机)及其自动控制系统	196
6.5 化学选矿工艺过程控制	197
6.5.1 焙烧过程控制	197
6.5.2 浸出过程控制	198
6.5.3 固-液分离洗涤过程、浸出液处理和化学分离过程控制	199
6.6 脱水和尾矿工艺过程控制	201
6.6.1 浓密机浓缩过程控制系统	201
6.6.2 过滤机自动控制系统	202
6.6.3 选矿厂尾矿库的自动监控	203
6.6.4 选矿厂回水利用及供水系统的自动控制	204
6.7 团矿工艺过程控制	205
6.7.1 烧结工艺配料控制	205
6.7.2 烧结机风量变频调速控制	205
6.7.3 球团工艺焙烧带温度控制	207
6.8 矿物加工全流程工艺自动化系统及应用实例	207
6.8.1 矿物加工全流程仿真建模和工艺优化控制专用软件系统	207
6.8.2 PLC 和 FCS 相结合的选矿厂工艺自动化系统	209
6.8.3 DCS 选矿厂工艺自动化系统	211
6.8.4 DCS 和 FCS 相结合的选矿厂工艺自动化系统	212
6.8.5 烧结球团自动化控制系统	213
习题	214
参考文献	214
7 工矿企业生产管理中的自动化系统应用	217
7.1 工矿企业生产管理的目标和工业自动化系统	217
7.1.1 工矿企业生产管理的目标	217

7.1.2 工业自动化系统的结构与组成	218
7.1.3 工业自动化控制的发展方向	219
7.2 计算机在工矿企业生产管理过程中的应用	221
7.2.1 开环控制类型的计算机控制	221
7.2.2 直接数字控制 DDC	222
7.2.3 监督计算机控制 SCC	222
7.2.4 管理信息系统 MIS	223
7.2.5 计算机分级控制系统	225
7.2.6 现代集成制造系统 CIMS	226
习题	227
参考文献	227

1.1 检测技术

1.1.1 检测技术的基本相关词语

为了便于理解与讨论,参照《现代汉语词典》,对检测技术的基本相关词语释义如下:

观察:对现象在自然条件下进行考察,是搜集科学事实获取感性知识的基本途径,也是发展和检验科学理论的基础。但这种考察不是盲目的行为,而是把视觉积极调动起来“观”,让思维积极活动起来“察”,观其特点,察其异同,目的是发现其中具普遍性的现象以及现象间的联系,最后为理论研究提供有关的事实基础。

试验:为了察看某事的结果或某物的性能而从事某种活动。

理论:人们关于事物知识的理解和论述。亦指在某一活动领域(如工程学)中联系实际推演出来的概念或原理,或经过对事物的长期观察与总结,对某一事物过程中的关键因素的提取而形成的一套简化的描述事物演变过程的模型。

实验:对已经认定的科学定理和试验结果进行验证性的试验。

观测:对自然现象进行观察或测定。

检测:检查测定。

检查:为了发现问题而用心查看。

测定:经测量后确定结果;测量的结果。

测量:对事物作出量化描述。

误差:测量值与真值之差异。

检测技术:利用各种物理化学效应,选择合适的方法和装置,将生产、科研、生活中的有关信息通过检查与测量的方法赋予定性或定量结果的过程。

自动检测技术:能够自动地完成整个检测处理过程的技术。

1.1.2 测量

1.1.2.1 测量的范畴

测量是指按照某种规律,用数据来描述观察到的现象,即对事物作出量化描述。测量是对非量化实物的量化过程。测量过程包含4个要素:

(1) 测量的客体,即测量对象。

(2) 计量单位,我国的基本计量制度是国际单位制。

(3) 测量方法:测量自然界事物的仪器和方法。

(4) 测量的准确度:指测量结果与真值的一致程度。

1.1.2.2 计量单位

A 计量

计量是指实现单位统一、量值准确可靠的活动。从定义中可以看出,它属于测量,源于测量,而又严于一般测量,它涉及整个测量领域,并按法律规定,对测量起着指导、监督、保证的作用。计量与其他测量一样,是人们理论联系实际,认识自然、改造自然的方法和手段。它是科技、经济和社会发展中必不可少的一项重要的技术基础。

B 中国“度量衡”制度的发展

计量在中国历史上称为“度量衡”。中国古代用人体的某一部分或其他的天然物、植物的果实作为计量标准,如“布手知尺”、“掬手为升”、“取权为重”、“过步定亩”、“滴水计时”来进行计量活动。公元前 221 年中国第一个统一的封建王朝秦帝国建立,原来各国不一致的度量衡制度在秦始皇时期首次被统一起来,奠定了国家统一和发展的基础。

东汉(公元 25~220 年)末年,用来测量路程的记里鼓车的出现,是计量的重大进步。唐朝(公元 618~907 年)制造的“四级补偿式浮箭漏刻”是目前记录最早的精准计时器。元朝(公元 1206~1368 年)初期杆秤出现并广泛应用。清朝康熙年间(公元 1661~1722 年)新制定营造尺、天平、铜砝码。

1949 年新中国成立后,立法确定我国的基本计量制度是国际单位制。

C 国际单位制

国际单位制又称公制或米制,是一种十进制进位系统,是现在世界上最普遍采用的标准度量衡单位系统。国际单位制源自 18 世纪末科学家的努力,最早于法国大革命时期的 1799 年被法国作为度量衡单位。国际单位制于 1960 年第十一届国际计量大会通过并推荐各国采用,其简称为 SI。

国际单位制由质量(千克, kg)等 7 个基本单位构成,除质量外如今全都不以实物参考物为依据,见表 1-1。SI 导出单位是由 SI 基本单位或辅助单位按定义式导出的,其数量很多。

表 1-1 国际单位制(SI)的 7 个基本单位

物理量名称	物理量符号	单位名称	单位符号
长度	l	米	m
质量	m	千克(公斤)	kg
时间	t	秒	s
电流	I	安(培)	A
热力学温度	T	开(尔文)	K
物质的量	$n, (\nu)$	摩(尔)	mol
发光强度	$I, (I_v)$	坎(德拉)	cd

1.1.2.3 测量方法

测量方法是指人们定量认识自然界事物的仪器和方法。例如,要知道某块金属的质量,可以用天平这种仪器来测量,而天平法就是一种测量质量的方法。

测量方法依据测量对象和所需获取测量结果的不同,有很多种。一般的分类方法包括

以下几种:

(1) 直接测量。直接测量是直接得到被测量值的测量。

(2) 间接测量。通过直接测量与被测参数有已知函数关系的其他量而得到该被测参数量值的测量,需对被测量与其他实测量进行一定函数关系的辅助计算。

(3) 静态测量。测量时被测对象呈相对静止状态。

(4) 动态测量(在线测量、载流测量)。测量时被测对象呈运动或工作状态。动态测量是测量方法的发展方向。

1.1.2.4 测量误差

A 测量误差产生的原因、分类和表示方法

在测量时,测量结果与实际值之间的差值称为误差。真实值或称真值是客观存在的,是在一定时间及空间条件下体现事物的真实数值,但很难确切表达。测得值是测量所得的结果。这两者之间总是或多或少存在一定的差异,这就是测量误差。

每一个物理量都是客观存在的,在一定的条件下具有不以人的意志为转移的客观大小,人们将它称为该物理量的真值。进行测量是想要获得待测量的真值。然而测量要依据一定的理论或方法,使用一定的仪器,在一定的环境中,由具体的人进行。由于实验理论上存在着近似性,方法上难以很完善,实验仪器灵敏度和分辨能力有局限性,周围环境不稳定等因素的影响,测量结果和被测量真值之间总会存在或多或少的偏差,这种偏差就叫做测量值的误差。

误差产生的原因可归结为以下几方面:测量装置误差、环境误差、测量方法误差、人员误差。

测量误差主要分为三大类:系统误差、随机误差、粗大误差。一般说来,系统误差是我们需要了解其产生原因和予以整体修正的;随机误差是正常的,但我们需了解其分布区间,通过多次测量取统计值予以修正;粗大误差是错误,必须避免。

测量误差的表示方式可分为绝对误差和相对误差。

B 绝对误差

绝对误差是测得值减去被测量的真值,即

$$\Delta = x - L \quad (1-1)$$

式中 Δ ——绝对误差;

x ——测量值;

L ——真值。

采用绝对误差表示测量误差,不能很好说明测量质量的好坏。例如,在温度测量时,若绝对误差 $\Delta = 1^{\circ}\text{C}$,对人体体温(约 37°C)测量来说是不允许的;而对测量钢水温度(约 1500°C)来说却是一个极好的测量结果。

C 相对误差

相对误差是绝对误差对被测量真值之比的百分率。即

$$\delta = \frac{\Delta}{L} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 δ ——相对误差,一般用百分数给出;

Δ ——绝对误差；

L ——真值。

相对误差可以比较确切地反映测量的准确程度，一般的测量仪器都会标出相对误差大小。

1.1.3 检测技术与科学技术发展

1.1.3.1 检测技术与科学技术发展的关系

检测技术是利用各种物理化学效应，选择合适的方法和传感器装置，将生产、科研、生活中的有关信息，通过检查与测量的方法获得定性或定量结果的过程。

检测技术代表了人类了解认识自然界事物的能力。检测技术同时也反映了人类能动地改造自然界事物建立人工工程体系的能力，以及这些人工工程体系的运行规律和状况。

因此，检测技术的水平和发展，在相当大的程度上影响了科学技术发展的速度和深度。先进的检测技术已成为科学技术发展的基本工具和促进因素。

反过来，科学技术的发展，又会催生对先进的检测技术的需求，诞生更先进的检测技术。

总而言之，检测技术与科学技术发展的关系是相辅相成的。我们可以以望远镜与天文学的发展、显微镜与生物学的发展、电子显微镜与材料学的发展为例来说明。

1.1.3.2 望远镜与天文学的发展

天文学是一种观测科学。在古代，人类只能用肉眼观察星空，天文学仅仅只是一种描述和假说，甚至更多的是神话。

1608年，荷兰眼镜匠汉斯·利帕什（Hans Lippershey）制成了世界上第一架望远镜（telescope）。1609年，意大利科学家伽利略（Galileo）展示了第一架按照科学原理制造出来的40倍折射望远镜，并将其指向星空，其光路原理如图1-1（a）所示。望远镜的使用，引发了天文学的革命，开创了天文学研究的新时代。

1611年开普勒（Johannes Kepler）发明了另一种折射望远镜，如图1-1（b）所示。

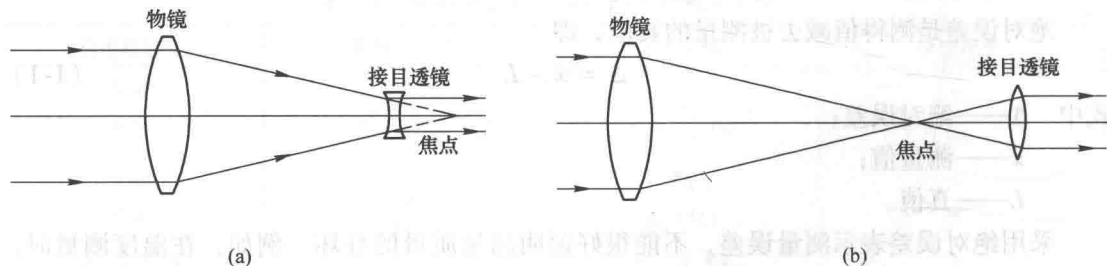


图1-1 望远镜的光路原理图

(a) 伽利略型；(b) 开普勒型

1668年牛顿（Isaac Newton）制成了第一架反射望远镜。

1814年，夫琅禾费（Fraunhofer）在将太阳光传输到光谱仪的狭缝上时，发现了光谱中的暗线，并对此作了详细的研究。光谱望远镜使我们能精确研究天体的物理状态和化学成分，标志着天体物理学的诞生。