



高 / 等 / 教 / 育 / 体 / 育 / 学 / 精 / 品 / 教 / 材

生物测试技术原理与方法

PRINCIPLE AND METHOD OF BIOLOGICAL TESTING TECHNOLOGY

生物测试技术原理与方法编写组 编

北京体育大学出版社



生物测试技术原理与方法

《生物测试技术原理与方法》编写组 编

北京体育大学出版社

出版人 李 飞
责任编辑 佟 晖
审稿编辑 董英双
责任校对 未 茗
版式设计 佟 晖
责任印制 陈 莎

图书在版编目(CIP)数据

生物测试技术原理与方法/熊开宇主编. - 北京:北京体育大学出版社,2015. 11

ISBN 978 - 7 - 5644 - 2117 - 5

I. ①生… II. ①熊… III. ①体育运动 - 生物电 - 测试技术 IV. ①G804

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 279698 号

生物测试技术原理与方法

《生物测试技术原理与方法》编写组 编

出版 北京体育大学出版社
地址 北京海淀区信息路 48 号
邮编 100084
邮购部 北京体育大学出版社读者服务部 010 - 62989432
发行部 010 - 62989320
网址 <http://cbs.bsue.edu.cn>
印刷 北京京华虎彩印刷有限公司
开本 787 × 1092 毫米 1/16
印张 17.75

2016 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

定 价 55.00 元

(本书因装订质量不合格本社发行部负责调换)

序



人才培养是高等学校的根本任务，对处于学校工作中心地位的教学工作来说，其质量建设是高等学校的永恒主题。作为传授知识、掌握技能、提高素质的载体，教材在人才培养过程中起着非常重要的作用，是高等学校提高教学质量，促进内涵发展的有力抓手。

一本好的教材，不仅要充分体现教材应有的基础性、示范性和权威性，还要正确把握教学内容和课程体系的改革和创新方向，充分反映学科的教育思想观念、人才培养模式以及教学科研的最新成果，集中展现教材体系的创新，教材内容的更新和教学方法、手段的革新，善于处理好理论与实践、继承与创新、广度与深度、知识与技能、利学与利教的关系，成为开拓学生视野、引导学生探索、鼓励学生奋进的学业与人生兼备的“工具书”。

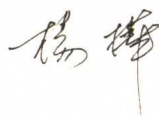
从中央体育学院到北京体育学院再到北京体育大学，这 60 年的办学历程，是继承发展的 60 年，是改革创新的 60 年，也是教材建设硕果累累的 60 年。学校不断探索教材建设的内在规律，引领高等体育教育教材建设的创新之路，发展了具有自身特色的教材体系，形成了特色鲜明的三个发展阶段。第一阶段是在上世纪 50 年代至 60 年代，我校教师在苏联专家的指导下，制定和编写了各专业的教育计划、大纲和主要教材。这批教师在主持和参与 1961 年国家体委组织的体育院校 18 门课程教材编著工作中发挥了重要作用；而这批教材也成为我国独立编写的、对苏联教材模式有所突破的第一批体育院校教材。第二阶段是上世纪 70 年代末至 90 年代，我校教师在大量承担第二次重编体育院校教材牵头组织工作的同时，针对学校“三结合”的办学目标和人才培养模式，开始了多学科、多专业的自编教材建设。第三阶段是进入 21 世纪以后，特别是国家体育总局于 2002 年下拨教材建设专款 480 万元之后，我校教材建设在数量和质量上都取得了重大突破。至 2010 年共立项建设了涵盖我校各专业课程的 187 项教材，其中有 4 项教材获得国家级优秀（精品）教材称号，14 项教材获得北京市精品教材称号。可以说上述三个阶段的发展，使我校教材建设水平达到了一个空前的高度，为高等体育人才的培养发挥了重要的作用。

为全面提高高等体育教育质量，深化高等体育教育教学改革，继续加强体育学精品教材建设，2012 年初，在北京体育大学教学指导与教材建设委员会的具体指导下，我们启动了高等教育体育学精品教材建设工程。学校遴选教育部新颁布的体育学类所属的体育教育、运动

训练、社会体育指导与管理、武术与民族传统体育、休闲体育、运动康复、运动人体科学7个本科专业的部分基础课程和主干课程开展精品教材建设。我们整合了全校的优质资源，组织专家、教授全程参与教材的规划、编写、初审、终审等过程。按照精品教材的要求，以优秀的教学团队编写优质的教材，出精品、出人才为建设思路，编委会优选学术水平与教学水平兼备、具有创新精神的专家、教授担任教材主编，组织优秀教学团队成员参与教材编写；精确定位教材适用对象，准确把握专业知识结构、能力结构和综合素质要求，深刻领会课程内涵，简洁洗练地表达知识点、能力点和素质点；融入最新的教改成果和科研成果，吸收国外优秀教材的先进理念和成果，创新利于学生自学和教师讲授的教材体例；学校还投入专项资金，对教材进行一体规划、一体设计、一体编审，并采用多色印刷技术增加教材的可读性；为全力保证教材编写质量，北京体育大学出版社资深编辑深度介入教材编写的所有环节。当这批教材展现在读者面前时，我们充满了期待。

岁月如流，薪火相传。60年的教材建设成绩斐然，推动着体育学教材建设步入新的起点、站在新的高度。展望未来，一批批体育学精品教材将随世界一流体育大学的建设进程应运而生，不仅在学校内涵式发展的改革进程中发挥重要作用，而且在全国高等体育院校人才培养中做出积极贡献，在高等教育教材建设中留下浓墨重彩的一笔。

北京体育大学校长
校教学指导与教材建设委员会主任



2013年9月

北京体育大学高等教育体育学 精品教材编委会

顾 问：田麦久 金季春 邢文华

主 编：杨 桦

副主编：池 建 谢敏豪 刘大庆 胡 扬

编 委（以姓氏笔画为序）：

马鸿韬 王瑞元 王荣辉 孙 南

毕仲春 朱 晗 曲 峰 李 飞

祁 兵 迟立忠 张延安 张 健

张 凯 邱俊强 罗冬梅 周志辉

高 峰 唐建军 曹建民 章朝琿

葛春林 温宇红 蔡有志 熊晓正

樊 铭

教材编写组

组 长：熊开宇

副组长：何 辉 张一民

成 员（以姓氏笔画为序）：

孔振兴 吕媛媛 刘 刚 李松波

单 威 贺莹莹 倪 震



目录 CONTENTS

基础理论篇

第一章 生物电测试技术基础

- 3 / 第一节 电路基本知识与安全用电
- 7 / 第二节 传感器
- 11 / 第三节 生物医用电极
- 15 / 第四节 测量干扰与抑制
- 17 / 第五节 生物电测试设备的注意事项

第二章 生物电测试技术概述与发展

- 20 / 第一节 肌电产生原理与测试技术
- 46 / 第二节 心电产生原理与测试技术
- 54 / 第三节 脑电产生原理与测试技术
- 74 / 第四节 遥测心率测试技术

第三章 影像诊断技术

- 84 / 第一节 X线影像技术
- 100 / 第二节 超声影像技术

第四章 电泳分析技术

- 127 / 第一节 电泳技术简介
- 133 / 第二节 区带电泳
- 134 / 第三节 SDS—PAGE

第五章 蛋白质测定分析技术

- 142 / 第一节 蛋白质测定分析技术原理

172 / 第二节 蛋白免疫印迹技术

第六章 干细胞培养与鉴定

180 / 第一节 干细胞概述

181 / 第二节 细胞培养基本技术

185 / 第三节 流式细胞分析技术及其在体育科研中的应用

第七章 体质健康测评技术

192 / 第一节 国民体质监测技术

202 / 第二节 生物电阻抗测试技术

207 / 第三节 气体代谢测评技术

213 / 第四节 体力活动测评技术

实验篇

218 / 实验一 肌电图测试方法

220 / 实验二 遥测心率测定方法

222 / 实验三 心电图测试方法

226 / 实验四 脑电图测试方法

228 / 实验五 手腕骨数字 X 线片拍摄方法

231 / 实验六 超声心动图检查方法

236 / 实验七 颈部血管检查方法

239 / 实验八 肌骨超声检查方法

244 / 实验九 DNA 片段琼脂糖电泳方法

248 / 实验十 SDS—PAGE 分离鉴定骨骼肌 AMPK 方法

252 / 实验十一 蛋白免疫印迹法 (Western Blotting) 测定骨骼肌
AMPK 含量

257 / 实验十二 C2C12 细胞爬片吉姆萨染色方法

260 / 实验十三 国民体质测评方法

262 / 实验十四 身体成分测评方法

265 / 实验十五 气体代谢测试仪器的操作方法

267 / 实验十六 体力活动测评方法

269 / 实验十七 健康风险测评方法

272 / 参考文献

基础理论篇



第一章 生物电测试技术基础



○ 本章提要

生物电测试技术是体育科研中常用的检测技术，了解生物电测试技术的基础才能更好地应用生物电的测试技术。本章首先讲述电路基本的知识与安全用电，使学生对生物电有个初步的印象；第二、三节重点讲述体育科研中常用的传感器和生物电极；第四节重点讲述生物电测试的干扰与抑制；第五节重点讲述使用生物电测试设备的注意事项。

第一节 电路基本知识与安全用电

一、电路概述

由金属导线和电气、电子部件组成的导电回路，称为电路。在电路输入端加上电源使输入端产生电势差，电路即可工作。有些直观上可以看到一些现象，如电压表或电流表偏转、灯泡发光等；有些可能需要测量仪器知道是否正常工作。按照流过的电流性质，一般分为两种。直流电通过的电路称为“直流电路”，交流电通过的电路称为“交流电路”。

（一）电路的组成

一个正确的电路由电源、用电器、开关和导线等组成。电源起着把其他形式的能量转化为电能并提供电能的作用；导线起着连接电路元件和把电能输送给用电器的作用；开关控制电能的输送（电流的通断）；用电器将电能转化为其他形式的能量。如果一个电路缺少了这四个基本组成部分中的一部分，这个电路就不能工作或错误或存在危险（短路）。

（二）电路的分类

电路分为直流电路和交流电路。

1. 直流电路

直流电路就是电流方向不变的电路，又称恒定电流。当然电流大小可以改变的，直流电流只会在电路闭合时流通，而在电路断开时完全停止流动。在电源外，正电荷经电阻从高电势处流向低电势处，在电源内，靠电源的非静电力的作用，克服静电力，再从低电势处到达高电势处，如此循环，构成闭合的电流线。所以，在直流电路中，电源的作用是提供不随时间变化的恒定电动势，为在电阻上消耗的焦耳热补充能量。直流电路比如说我们用的手电筒（用干电池的），就构成一个直流电路，一般来说，把干电池，蓄电池当作电源的电路就可以看作直流电路，把市电经过变压整流桥之后，作为电源而构成的电路，也是直流电路，普遍的低电压电器都是利用直流电的，特别是电池供电的电器，大部分的电路都要求直流电源。

2. 交流电路

由周期性交变电源激励的、处于稳态下的线性时不变电路。随时间变动的电流称为时变电流；随时间周期地变动的电流称为周期性电流。在一个周期内平均值为零的周期性电流称为交变电流或简称交流电。类此还可以定义交变电压、电荷、磁通等。

中国电力系统的标准频率为 50 赫。有的国家（如美国）电力系统的标准频率为 60 赫。这一频率称为工业频率，简称工频。在目前的科技领域从远低于 1 赫到约 10¹² 赫的



交流电都有着应用。

(二) 电路的三种状态

1. 通路

接通的电路。特征：电路中有电流而且用电器正常工作。

2. 开路

断开的电路。特征：电路中无电流，用电器不能工作。

3. 短路

定义：电源两端或用电器两端直接用导线连接起来（电流不经过用电器）。

特征：电源短路，电路中有很大的电流，可能烧坏电源或烧坏导线的绝缘皮，很容易引起火灾。并联电路中，一旦一个支路发生短路，整个电路就短路了。开路和通路是电路的常见状态，比如，电灯的亮和灭。而短路是错误的危险状态，是绝对应该避免的。

(三) 串联电路中的局部短路

在串联电路中，由于某种原因或实际需要，使电路中的某个用电器发生短路，而其它用电器仍然工作的电路。如图 1 - 1 所示电路中，当开关 S 闭合时， L_1 发生短路， L_2 仍有电流通过，可以发光。

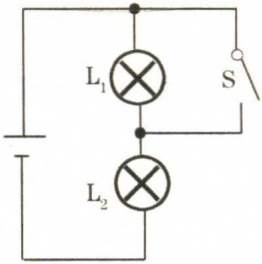


图 1 - 1 串联电路中的局部短路示意图

(四) 电路的连接方式

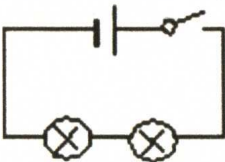
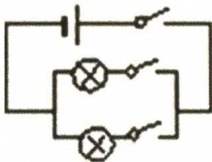
电路的串联和并联是初级阶段必须掌握的电学知识，是进行电路分析和计算的基础。

1. 电路连接方式的比较

表 1 - 1 电路连接方式的比较

	串 联	并 联
定 义	把元件首尾相连逐个顺次连接起来的电路	把元件首首尾尾并列的连接起来的电路
结构特征	电路中只有一条电流路径，没有分支。	电路中有分支（有分开的点和会合的点），电流路径至少要有两条。
工作特征	各用电器相互影响，一处段开所有用电器都停止工作。	各支路中的用电器独立工作，互不影响。
开 关 作 用	控制整个电路	干路中的开关控制整个电路。支路中的开关控制该支路。

续表

	串 联	并 联
电路图		
实 例	装饰小彩灯、开关和用电器	家庭中各种电器、各盏路灯

2. 判断电路串联、并联的常用方法

定义法：将用电器接线柱编号，电流流入端为“首”，电流流出端为“尾”。观察各用电器，若“首→尾→首→尾”连接为串联；若“首→首”、“尾→尾”相连，为并联。

结构特征分析法：在有电路图或实物连接图的情况下，识别电路时，可沿着电流方向分析：电源正极→各用电器→电源负极。若途中无节点（分叉点），电流沿着一条路径前进不分流，该电路中用电器是串联关系；若电路有节点，电流在某一处分开，在另一处又合在一起，这些用电器就是并联关系。

工作特征分析法：去掉任意一个用电器，若另一个用电器也不工作，则这两个用电器串联；若另一个用电器不受影响仍然工作，则这两个用电器为并联。在看不到电路图或电路实物图情况下（如路灯、家庭电路），可根据用电器的工作特征判断连接情况。

二、电子元件

在进行电路分析时，通常把组成电路的实际元件理想化，突出其主要的电磁性质，用这样一些理想元件及其组合来代替实际电路并建立起相应的电路模型。按照这样的电路模型进行理论分析所得出的结果具有实际的指导意义。下面介绍几种常用的模型化电路元件。

1. 电阻、电容、电感

有的电路元件如电阻器、电灯主要是具有消耗电能的性质，我们把它模型化为“电阻”，反映其消耗电能的特征，用字母 R 表示；有的电路元件如电感线圈具有存储磁场能量的性质，我们把它模型化为“电感”，反映其存储磁场能量的特征，用字母 L 来表示；电容器具有存储电场能量的性质，我们把它模型化为“电容”，反映其存储电能的特征，用字母 C 来表示。

2. 电流源、电压源

如干电池、蓄电池等能够提供能量使电路中保持电流流动的元件称为电源。由于电源既能向外电路提供电压，又能向外电路输出电流，故可用电压源模型或电流源模型来表示。

实际的电源可以用一个电源电动势 U 和一个电阻 R 的串联组合来表示，这种电路模型称为电压源。我们把端电压保持定值的电源叫做理想电压源，也称恒压源。电压源的伏



安特性是一条平行于横轴的直线。由此可知，恒压源是内阻为零的电压源。

恒压源实际是不存在的，在应用中，假如一个电源的内阻（ R_s ）较小（ $R_s \ll R_L$ ）， R_s 对电源端电压影响也较小，这时可忽略 R_s ，把电源看作恒压源，如稳压电源、新的干电池都可近似地作为恒压源。引进了恒压源的概念，电压源就可以看作恒压源与内阻的串联组合。

一个实际电源，也可以用—个恒定电流为 I_s 与—个电阻 R_s 的并联组合来表示，这种电路模型称为电流源。我们把输出电流为恒定值的电流源称为理想电流源，也称恒流源。恒流源实际上也不存在。但是，如果一个电流源的内阻 R 远大于负载电阻 R_L 时，电流源输出电流基本恒定，也可以视为恒流源，如光电池，晶体三极管恒流源电路，一般都可以作为恒流源看待。由于恒流源的引进，电流源就可以看作恒流源与内阻的并联组合。

为使电压源和电流源更接近恒压源和恒流源，要求电压源的内阻越小越好，电流源的内阻越大越好。

三、安全用电常识

在采取必要的安全措施的情况下使用和维修电工设备。电能是一种方便的能源，它的广泛应用形成了人类近代史上第二次技术革命。有力地推动了人类社会的发展，给人类创造了巨大的财富，改善了人类的生活。

1. 进入实验室的电源线避免过负荷使用，破旧老化的电源线应及时更换，以免发生意外。
2. 进入实验室的电源总保险与分户保险应配置合理，使之能起到对实验用电器的保护作用。
3. 接临时电源要用合格的电源线、电源插头，插座要安全可靠。破损的不能使用，电源线接头要用胶布包好。
4. 临时电源线临近高压输电线路时，应与高压输电线路保持足够的安全距离（10KV 及以下，0.7 米；35KV，1 米；110KV，1.5 米；220KV，3 米；500KV，5 米）。
5. 严禁私自从公用线路上接线。
6. 线路接头应确保接触良好，连接可靠。
7. 房间装修，隐藏在墙内的电源线要放在专用阻燃护套内，电源线的截面应满足负荷要求。
8. 使用电动工具如电钻等，须戴绝缘手套。
9. 遇有实验用电器着火，应先切断电源再救火。
10. 实验用电器接线必须确保正确，有疑问应及时询问专业人员。
11. 实验用电应装设带有过电压保护的调试合格的漏电保护器，以保证使用实验用电器时的人身安全。
12. 实验用电器在使用时，应有良好的外壳接地，室内要设有公用地线。
13. 湿手不能触摸带电的实验用电器，不能用湿布擦拭使用中的实验用电器，进行实

验用电器修理必须先停电源。

14. 实验用电热设备、暖气设备一定要远离煤气罐、煤气管道，发现煤气漏气时先开窗通风，千万不能拉合电源，并及时请专业人员修理。

15. 使用电熨斗、电烙铁等电热器件。必须远离易燃物品，用完后应切断电源，拔下插销以防意外。

第二节 传感器

一、概念与分类

(一) 概 念

传感器是一种检测装置，能感受到被测量的信息，并能将感受到的信息，按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。它是实现自动检测和自动控制的首要环节。

(二) 分 类

1. 按用途分类

压力敏和力敏传感器、位置传感器、液位传感器、能耗传感器、速度传感器、加速度传感器、射线辐射传感器、热敏传感器。

2. 按原理分类

振动传感器、湿敏传感器、磁敏传感器、气敏传感器、真空度传感器、生物传感器等。

3. 按输出信号为标准分类

模拟传感器：将被测量的非电学量转换成模拟电信号。

数字传感器：将被测量的非电学量转换成数字输出信号（包括直接和间接转换）。

膺数字传感器：将被测量的信号量转换成频率信号或短周期信号的输出（包括直接或间接转换）。

开关传感器：当一个被测量的信号达到某个特定的阈值时，传感器相应地输出一个设定的低电平或高电平信号。

4. 按测量目分类

物理型传感器是利用被测量物质的某些物理性质发生明显变化的特性制成的。

化学型传感器是利用能把化学物质的成分、浓度等化学量转化成电学量的敏感元件制成的。



生物型传感器是利用各种生物或生物物质的特性做成的,用以检测与识别生物体内化学成分传感器。

5. 按其构成分类

基本型传感器:是一种最基本的单个变换装置。

组合型传感器:是由不同单个变换装置组合而构成的传感器。

应用型传感器:是基本型传感器或组合型传感器与其他机构组合而构成的传感器。

6. 按作用形式分类

按作用形式可分为主动型和被动型传感器。

主动型传感器又有作用型和反作用型,此种传感器对被测对象能发出一定探测信号,能检测探测信号在被测对象中所产生的变化,或者由探测信号在被测对象中产生某种效应而形成信号。检测探测信号变化方式的称为作用型,检测产生响应而形成信号方式的称为反作用型。雷达与无线电频率范围探测器是作用型实例,而光声效应分析装置与激光分析器是反作用型实例。

被动型传感器只是接收被测对象本身产生的信号,如红外辐射温度计、红外摄像装置等。

二、常见体育设备的传感器

(一) Cortex 气体代谢仪

Cortex 气体代谢仪是体育教学、科研中常用设备,用于测试评估人体心肺机能,该设备包含有涡轮流量传感器、氧传感器和二氧化碳传感器。

涡轮流量传感器一种精密流量测量装置,测量呼吸时,吸入和呼出的气体总量。

涡轮流量传感器工作原理:流体流经传感器壳体,由于叶轮的叶片与流向有一定的角度,流体的冲力使叶片具有转动力矩,克服摩擦力矩和流体阻力之后叶片旋转,在力矩平衡后转速稳定,在一定的条件下,转速与流速成正比,由于叶片有导磁性,它处于信号检测器的磁场中,旋转的叶片切割磁力线,周期性的改变着线圈的磁通量,从而使线圈两端感应出电脉冲信号,此信号经过放大器的放大整形,形成有一定幅度的连续的矩形脉冲波,可远传至气体代谢仪内部,计算吸入和呼出的气体总量。在一定的流量范围内,脉冲频率 f 与流经传感器的流体的瞬时流量 Q 成正比。

氧传感器、二氧化碳传感器、Cortex 气体代谢仪、氧、二氧化碳浓度测试采用电化学的方法。电化学传感器通过与被测气体发生反应并产生与气体浓度成正比的电信号来工作。典型的电化学传感器由传感电极(或工作电极)和反电极组成,并由一个薄电解层隔开。气体首先通过微小的毛管型开孔与传感器发生反应,最终到达电极表面。通过电极间连接的电阻器,与被测气浓度成正比的电流会在正极与负极间流动。测量该电流即可确定气体浓度。

电化学氧传感器,也称作原电池,属于化学传感器。它由被液体或半固体电解液(通