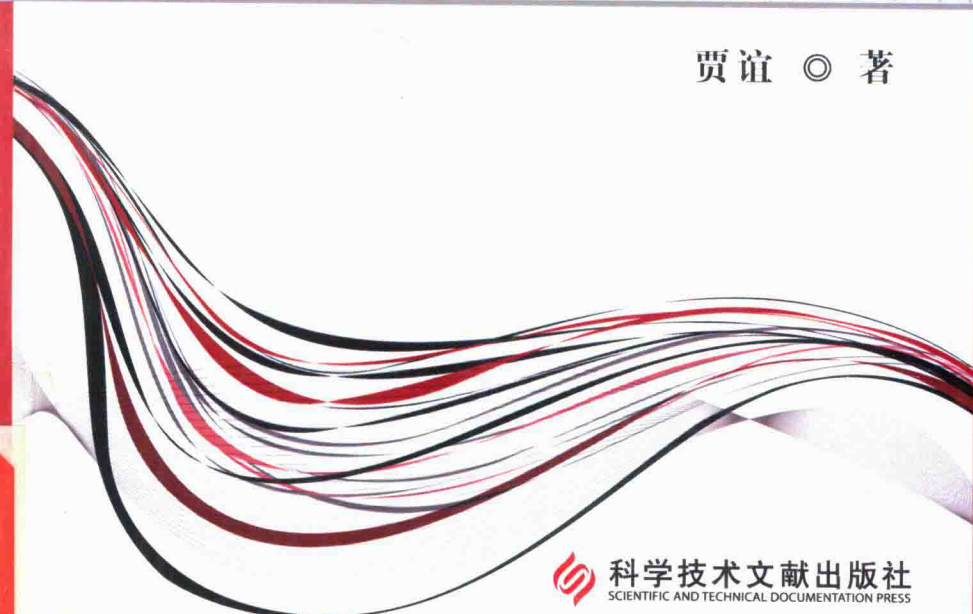


人 体

运动影像测量 理论与方法



贾谊 ◎ 著



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

人体运动影像测量 理论与方法

贾 谊 著



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

图书在版编目(CIP)数据

人体运动影像测量理论与方法/贾谊著. —北京:科学技术文献出版社, 2012. 12

ISBN 978-7-5023-7602-4

I. ①人… II. ①贾… III. ①运动人体测量学 IV. ①G804.49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 238200 号

人体运动影像测量理论与方法

策划编辑:周国臻

责任编辑:周国臻 马 帅

责任出版:张志平

出 版 者 科学技术文献出版社

地 址 北京市复兴路 15 号 邮编 100038

编 务 部 (010)58882938, 58882087(传真)

发 行 部 (010)58882868, 58882866(传真)

邮 购 部 (010)58882873

官方网址 <http://www.stdp.com.cn>

淘宝旗舰店 <http://stbook.taobao.com>

发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销

印 刷 者 中印集团数字印务有限公司

版 次 2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷

开 本 850×1168 1/32 开

字 数 138 千

印 张 5.75

书 号 ISBN 978-7-5023-7602-4

定 价 28.00 元



版权所有 违法必究

购买本社图书,凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换

前 言

本书是在笔者博士学位论文的基础上,对运动生物力学学科中最为常用的测量方法——运动影像测量方法的相关理论及实践运用中遇到的具体问题进行的概括和总结。书中数据资料均来源于笔者学位论文当中的实验数据以及相关参考文献资料,书中部分内容已经以学术论文的形式在国内期刊发表。

本书在归纳、总结前人研究成果的基础上,吸收了国内外相关研究方向的先进理论与实践内容,并结合目前运动影像测量过程中遇到的具体问题和某些误差来源,提出了相应的解决措施和消除、修正的方法。其最主要的就是为了对这一测量方法的测量规范化进行阐述,并对测量精度进行评价。同时也期待通过本书中的相关研究结果,提示广大读者,在使用此方法得到数据并进行比较研究时,一定要对数据的精度做到心中有数,否则,其研究结论的科学性和可靠性将无法保证。

本书坚持继承与创新,坚持实事求是,从运动生物力学研究的实际出发,突出针对性、实用性、科学性和先进性,力求从专业的视角来分析人体动作技术分析中最为简便、直观的研究方法,使读者能够对此测量方法有一个全面的了解。全书共7章内容,分别对平面定机拍摄、立

体定机拍摄、平面扫描拍摄、立体扫描拍摄 4 种影像测量拍摄方法的原理、使用设备、实施步骤、解析过程以及数据处理等环节进行了介绍,并给出了各种拍摄方法测量精度的大致范围,可供研究人员参考。

本书的完成要感谢西安体育学院博士生导师严波涛教授,严老师在研究的选题、影像资料的拍摄、实验的设计、书稿的修改过程等方面都给予了大力的支持与帮助。

在本书所涉及的相关实验中,西安科技大学赵国梁老师,中北大学李海涛副教授、张红萍老师也都给予了无私的帮助;在本书的书稿修改和出版过程中,中北大学陈红教授、牛慧卿老师提出了非常宝贵的意见,在此一并表示衷心的感谢!另外,本书还借鉴和吸收了众多学者的研究成果,这些成果在参考文献中均有说明,在此对这些专家表示感谢!

真诚希望广大师生、研究人员和专家对本书提出宝贵意见,以便今后对其进行修订,并逐步加以完善和提高。

目 录

第一章 绪论.....	1
第二章 人体运动影像测量的拍摄设备	12
第一节 人体运动影像测量的摄像器材介绍	12
第二节 人体运动影像测量拍摄的辅助仪器	19
第三章 平面定机影像测量方法	25
第一节 平面定机摄像测量的拍摄方法	25
第二节 平面定机摄像测量方法的误差分析	33
第三节 对平面定机摄像测量中某些误差源的修正	51
第四章 立体定机影像测量方法	61
第一节 立体定机摄像方法的测量原理	62
第二节 立体定机摄像测量的拍摄方法	64
第三节 立体定机摄像测量方法的误差分析	67
第五章 平面跟踪与立体跟踪影像测量方法	90
第一节 平面跟踪影像测量方法	90
第二节 立体跟踪摄像测量方法	95

第六章 光学式动作捕捉系统及其测量精度·····	103
第一节 动作捕捉系统的工作原理·····	103
第二节 动作捕捉系统的误差源及误差估计·····	108
第七章 运动影像资料的解析·····	120
第一节 运动学参数的获取·····	120
第二节 运动学参数的计算·····	123
第三节 信号、噪声和数据平滑·····	126
第四节 解析误差对三维重构精度的影响·····	132
附录1 全站仪前方交会测量方法原理及测量过程·····	149
附录2 不同运动项目的拍摄方案·····	155
参考文献·····	166

第一章 绪 论

一、人体运动影像测量的定义

影像测量属于近景摄影测量学科范畴,是通过摄影或摄像手段以获取人体的外部形态指标和运动状态的测量方法。而人体运动影像测量则是利用影像测量的理论与方法,获取人体运动过程中的运动学参数,从而实现对人体动作技术的量化分析的过程。人体运动影像测量被广泛运用于医学领域及人体动作技术分析当中。

与其他测量方法相比,人体运动影像测量方法有如下一些优点:

(1)与其他运动学参数的获取手段相比,如测角仪、加速度传感器等,影像测量方法的操作更为简便易行,是一种非接触的定量测量方法。在不影响训练和比赛,不给运动员增加任何负担的情况下,就可通过对运动技术图像的获取、解析,获得人体运动的位移、速度、人体重心等各项特征参数,以及运动器械运动的各种运动学的定量参数,从而比较真实地反映出运动的情况。

(2)可重复性。采集到的视频资料可以无限制地重复观看。通过这些参数和图像的比较分析,能使教练员、运动员和科研人员观察到技术细节,发现运动员动作过程中的优缺点,探索运动技术原理,建立正确的动作技术模式,为改善运动训练、改进和优化运动技术、提高运动成绩、预防运动损伤提供科学依据。

(3)本方法基于严谨的理论而构建,采用现代化的软硬件设



备,具有较高的精度和可靠性,且测量过程简单,投入相对较少。

和所有测量技术一样,人体运动影像测量方法也有它的不足之处:

- (1)测量环节较多,可能引入不同性质和大小的误差;
- (2)对测量环境,如光线、位置等有一定要求。

二、人体运动影像测量的研究任务

根据人体运动影像测量的内容,可将其研究任务归纳为以下几点:

(1)获取与人体运动相关的运动学参数。人体运动影像测量的主要任务之一是获取人体运动学参数。通过此方法,可以获得人体关节点的运动轨迹、位移、速度、加速度、关节角度、角速度、角加速度等参数。

(2)辅助计算人体运动的动力学参数。利用影像测量得到的人体运动学参数,结合人体惯性参数模型,可以计算出人体总重心或某环节重心的运动学参数,亦结合逆向动力学方法估算人体关节力矩、环节力矩等动力学参数。

三、人体运动影像测量方法的发展历程

随着人类科技水平的不断提高,人体运动影像测量方法由最初的影片分析法到目前的录像分析以及红外光分析,经历了漫长的发展过程。我国学者郑秀媛曾对这一发展历程进行了如下总结:

1. 摄影测量技术

自从1878年梅布里奇对一匹马的动作进行分析后,影像测量技术已经逐步发展成为一门独立的学科,并在计算机视觉技术、模式识别技术和人工智能技术的帮助下继续向前发展。

最初的有关人体运动的影像测量还不能做到对人体动作的量



化分析,而只能够对人体运动轨迹做一基本描述。随着科学技术的发展,到 20 世纪 80 年代之前,研究人员已经开始采用高速电影摄影机来采集运动图像,然后对影片进行数字化处理,进一步作出分析。这一阶段用于摄影分析的仪器主要有:电影摄影机、胶片和影片数字化仪器。用于人体动作分析拍摄的电影摄影机通常为 35mm 或 16mm 电影摄影机,例如美国生产的 Photosonic16mm 间隙式高速摄影机等,镜头多为中长焦距镜头。而用于影片数字化处理的影片数字化仪一般由控制器、显示器、游标键盘和数字化版组成,例如 TYF-2 型影片分析仪(图 1-1)等。

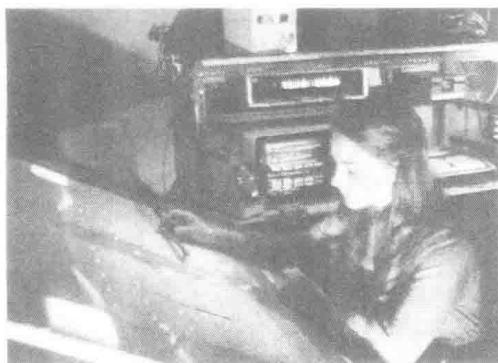


图 1-1 影片数字化仪

影片数字化仪是将电影摄影机拍摄的影片转换成统一的、可操作的坐标数值,它是完成模数转换工作的仪器。它首先用分析放影机将放大的图像投影到数字化版上,然后用游标键盘取出需要的坐标值(x, y),输入到计算机储存。要求该分析放影机具有可停、可慢放、可倒放的功能。影片数字化模板转换工作一般采用两种原理:一种是用超声检测原理,当光笔放在某点上接通开关后便发生超声信号,通过 x 轴和 y 轴传向坐标原点的时间与坐标成正比关系测得该点的坐标值(x, y);另一种是运用感应同步器原理,在数字化板内有横向层及纵向层排列的金属微丝,两层之间绝



缘,游标键盘的线圈发出 3000Hz 正弦波电信号,在纵向层及横向层微丝中,可感应出相应的正弦波信号,原正弦波信号和感应正弦波信号之间的相位差与正弦波发源地的坐标位置有线性关系,于是便可检测出游标键盘十字丝处的 x 、 y 坐标,同时以数字形式进行显示。数字化了的坐标数据直接进入计算机内储存。影片数字化仪的读数精度约为 0.01mm,若用于 16mm 影片,获得 1cm 以内精度是不成问题的。

然而,受到手工操作的限制,这种处理方法的速度较慢。通常情况下,一个经验丰富的操作员一分钟可以得到 15 个左右的标志点坐标值。以此速度推算,若拍摄频率为 50Hz,拍摄长度为 3s 的运动画面,假设每幅图片需要解析 5 个标志点,那么这段影片的解析时间需要 30min。而此过程中,人为误差所占比例很小。假设物距为 4m,人工解析误差的均方根值可以控制在 1~1.5mm。摄影技术的优点在于:①拍摄频率高;②图像分辨率高。缺点是:①高速摄影需要使用大量胶片,器材消耗较大;②更换和冲洗胶片过程繁琐;③光圈、快门速度及焦距调整不方便;④受马达转速的影响,拍摄频率不稳定以及其他形式的噪声干扰。

2. 摄像测量技术

由于摄影测量,从现场拍摄到后期处理需要较长时间,且需要使用大量胶片,器材消耗较大,因此,此种方法随后逐渐被摄像或录像技术所取代。摄像机的基本原理是把光学图像信号转变为电信号,以便于存储或者传输。当我们拍摄一个物体时,此物体上反射的光被摄像机镜头收集,使其聚焦在摄像器件的受光面(例如摄像管的靶面)上,再通过摄像器件把光转变为电能,即得到了“视频信号”。光电信号很微弱,需通过预放电路进行放大,再经过各种电路进行处理和调整,最后得到的标准信号可以送到录像机等记录媒介上记录下来,或通过传播系统传播或送到监视器上显示出来。

与传统的高速摄影技术相比较,高速摄像或录像有其潜在优势。其反馈速度快,价格相对低廉,图像处理简便,能用计算机控制,但图像精度比摄影稍差,分辨率约为 640×800 ,而普通 16mm 摄影机的分辨率约为 5000×3750 。

3. 光电子技术

随着竞技体育项目成绩的不断提高,运动训练科学化已成为一股世界潮流,而在科学化训练中,对技术动作形态的分析、比较和反馈是必不可少的。为精确测定在完成技术动作过程中运动员的动作特征:包括关节点位置、位移、速度、加速度等参量,常用的方法是高速摄影和录像。采用这两种方法的优点是无需对受试者施加任何约束和影响,因此既可用于运动训练,又可用于正式比赛场合。但这两种方法的共同缺点是:为得到关节点位置及人体运动棍图,并进行分析、比较,必须经过手工对摄影胶片或录像带上的画面逐帧进行处理,即把画面上的关节点位置通过数字化仪逐点输入计算机。这是一项十分繁重的手工劳动,因此不能及时得到反馈信息。另外,这些方法要用肉眼来确定每幅画面上的关节点位置,由于人体在运动时关节点会发生位移,对同一个关节点,每幅画面的位置不同,但又要求每幅画面重复点到同一关节点上,这样必然会产生较大的人为误差。由于受到处理过程中人为误差的影响,上述两种方法的测量精度都不高,难以检测微小的位移量。

20 世纪 60 年代末至 70 年代初,人们开始将光电技术用于运动检测中,并于 70 年代初制成各具特色的光电运动检测系统,如:如瑞典 SELCOM 公司的 SELSPOT 系统、英国 OXFORD 公司的 VICON 系统、美国 AMTI 公司的 COD 系统和意大利 BTS 公司的 ETITE 系统。到了 80 年代,这些系统都日趋完善,推出了新的产品型号,下面分别介绍其基本原理。



SELSPOT 系统

这个系统首先是由瑞典 Selcom 公司研制并制成产品的, 20 世纪 70 年代为 I 型, 80 年代为 II 型。由于这种系统优点很多, 因此其他国家也有类似产品, 如加拿大的 Northern Digital INC (北方数字公司), 日本的 Hamamatsu (滨松公司) 等。在中国, 清华大学电机工程系也研制出了同类的产品, 并用于实际测试。

整个系统由 4 部分组成: 红外发光二极管、馈电和控制小盒、红外光电摄像机以及微型计算机(包括 A/D 转换板)。工作时, 首先将红外发光二极管作为标志物固定在待测点上。然后把每个发光二极管都用细导线与控制小盒相连接, 小盒又与计算机相连接, 其连接方式可以有线的, 也可以是无线的。馈电控制小盒的功能是对红外发光二极管进行脉冲式供电, 并使它们以很高的转换速率轮流发光, 当某一待测点上的发光二极管发光的时候, 它就会作为一个点光源成像于红外摄像机的光电位置传感器上。这样, 点在空间的位置就对应着传感器上光点的位置。凭借着传感器件所具有的特殊功能, 传感器上光点的位置又进一步转化为 4 个电流信号。用硬件对这 4 个电流信号进行适当的运算处理, 就可以最终获得所希望得到的空间位置信号。

VICON 系统

Vicon MX13 运动捕捉红外线影像记录器是 OMG (Oxford Metrics Group) 公司用于运动捕捉的专业产品。该系统根据同一采样时刻不同摄像机对在扫描空间内运动的反光球的像进行运算, 得出反光球该时刻在空间的三维坐标, 根据这些坐标进行运动学和动力学分析, 可以得到研究对象的位移、速度、加速度以及动量和动能等物理量的变化规律。在最高分辨率 1280×1024 (130 万像素) 时的采样频率可达 482fps (帧/秒), 最高采样频率可达 10000fps。Vicon 光学动作捕捉系统是一组网络连接的 Vicon 运动捕捉摄像机, 和其他设备共同工作以提供实时光学数据。这些



数据可以被应用于实时在线或者离线的运动捕捉、分析,应用领域涉及生命科学、工程学以及娱乐媒体、动画制作等方面。用与 Vicon 相配套的运动捕捉软件 Workstation 完成反光球的运动捕捉后,利用生物力学建模软件 BodyBuilder 根据研究目的进行建模分析,最后在多媒体整合软件 Polygon 中输出包括图表、三维图像、视频等信息的多媒体报告。

它与三维测力台组合在一起,在许多发达国家的医院和康复中心中得到应用。这种系统的优点是:只在待测部位上固定反射标志物,由于标志物是无源材料,就省去了身上佩带的馈电控制小盒,去掉了人与摄像机之间的连线。整个系统由 6 个部分组成。

(1)反射标志物 将圆柱或圆锥状的标志物固结在待测点上。该标志物的表面涂敷着具有逆向反射性质的特殊材料,如果有一束光向标志物射去,其反射光中相当大的部分将沿着入射的方向反射回来。

(2)频闪摄像机 这是系统的核心,它兼有发射红外光束和摄取反射信号的双重作用(如图 1-2 所示)。其摄像机部分以高灵敏度的红外摄像管或 CCD 器件为传感器,每秒可记录 625 线的 50 帧画面上的像素为 25 万个。在摄像机镜筒的外圈,安放成环状的红外发光二极管,它以 50Hz 频率发射中心波长为 940nm 的红外光,形成了向前发射的强光束,可照亮整个视场。为了使反射标志物能清晰地成像于传感器上,而环境光又受到充分抑制,还要在摄像机的镜头前安放中心波长为 940nm 的滤光片。

(3)同步信号发生器 产生 50 帧/s 的场同步信号和每帧 625 线的线同步信号。它一方面和摄像机相连,向摄像机发出场同步和线同步信号,另一方面,又和坐标发生器相连,控制坐标发生器的置零。

(4)阈值检测器 从摄像机输出的反射光点的标志信号总是高于阈值,因此可以通过阈值检测器而被送入坐标发生器,但视场

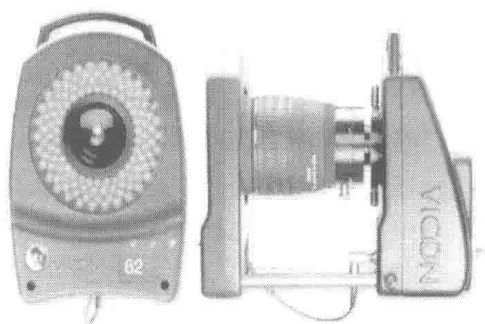


图 1-2 VICON 系统中的频闪摄像机

中的噪声信号由于低于阈值而被阻挡。

(5)坐标发生器 其功能是利用时间计数器来确定标志信号横坐标和纵坐标的位置。

(6)计算机。

我国自主研发的人体运动图像实时分析系统

清华大学从 1987 年开始研制红外光点运动分析系统,目前已取得成功,填补了国内空白。该系统包括一架或多架红外光点摄像机,一个红外光点发光控制器及若干个用做标记点的红外发光二极管,一台用做数据采集和处理的微型计算机及相应的软件包。整个系统的造价大大低于进口同类设备。研究人员曾利用该系统对射箭瞄准阶段运动员身体稳定性进行了测试和分析,并将分析和技术诊断结果及时反馈给教练员和运动员,收到了良好的效果。

红外光点运动分析系统硬件由红外光点发光控制器、用做标记点的若干个红外发光二极管、红外光点摄像机、微型计算机等 4 个部分组成。系统工作时,将小巧的发光二极管固定在待测点上,发光控制器控制这些光点顺序轮流发光。当某个待测点上的发光二极管发光时,它会成像于安放在适当位置的各个特别红外光点摄像机的光电传感器上,传感器的输出信号经像机中硬件运



算电路的处理,即可由像机输出与光点位置坐标成线性关系的电压信号,此信号经转换,由计算机采集下来,就可形成关于待测点位置的数据文件,计算机对此数据文件进行各种处理,能得到待测点运动的各种信息。

本系统的主要技术指标为:红外光点摄像机视场角 22.5° ,可拍摄距离 $1\sim 5$ 米,在此范围内检测精度优于视场范围的 0.5% ,在良好的工作条件下优于 0.1% 。系统在进行多点($8\sim 16$ 点)测量时,可得到 100 帧/秒的采样率,如测点数为 4 点或更少,可得到 400 帧/秒的采样率。

为验证本系统的测量精度和测量效果,研究者对射击运动员的动作技术进行了测试。测试采用正交摄影方法对运动员射箭瞄准阶段身体上若干关键点的位移晃动情况进行测量,需事先布置好实验现场。测试中采样频率为 100 帧/秒,采样时间为 8 秒,测试分两轮进行,第一轮采用 30 米靶距,每位运动员射 24 支箭,第二轮采用 50 米靶距,每人射 36 支箭。

测试开始之前,先分别在运动员持弓手腕部,两个肩峰上和扣弦手臂的肘部及身体侧面固定红外发光二极管,开机测试视场范围和进行标定后,即可对待测点在水平面、矢状面和额状面内的位移情况进行记录。采样过程中固定在弓上的一个传感器可以记录下运动员每支箭的撒放时间,在数据处理时每支箭的一组身体晃动位移数据,均以撒放时刻作为各光点位置及时间的原点,从此点外推各点位移的时程曲线。

由系统采集的原始数据存入磁盘,可作为永久资料保存。同时此数据在系统计算机中进行实时处理,经过二阶巴特沃兹数字滤波处理后,在几十秒内即可给出各个测点各方面位移的时程曲线,从而达到实时反馈的效果。

几种运动分析系统性能的比较

表 1-1 是对目前市场上较为常见的运动分析系统的性能进行



的比较。

表 1-1 不同运动分析系统性能比较

系统名称	取像速度	从采集到计算所需时间	系统光源	反射信号形式
Ariel	30 帧/s	—	普通光源	可用可不用反射信号,若用对数字化方便
Cod-3	最快到 300 帧/s	3min~5min	弧形灯	透明的金字塔型记号(内含 4 个全反射棱镜)
Elite	最快到 100 帧/s	实时	红外线或可见光	半球形反光体(直径 1mm~8mm)
ISIS	—	58s	150W 卤素化水晶灯	平面黑色记号(10mm×20mm)
MIE	3kHz	15min	普通光源	无
Motion Analysis (Expert Vision)	最快 200Hz (直接) 2000Hz (间接)	30min	2400W 灯	圆形反光记号(2.54cm 或 5.08cm, 最多用 30 个)
NAC	200/400 帧/s	长时间	200W 灯 (闪光持续时间 20ms)	无