

影象分析技术及 优秀选手的运动学参数

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= \arctan[(X_1 + X_{10})/(Y_1 + Y_{10})] \\ \beta_0 &= \arctan[(X_1 + X_{10})^2 + (Y_1 + Y_{10})^2] \\ k_1 &= \sqrt{(X_1 + X_{10})^2 + (Y_1 + Y_{10})^2} \cdot \tan(\beta_0 - \alpha_1) / V_0 \\ \omega &= \arctan[(k_1 - k_2) / \sqrt{(X_1 + X_{10})^2 + (Y_1 + Y_{10})^2}] \\ X_2 &= (X_1 + X_{10} + X_{20}) \cdot \tan(\alpha_1 + \omega) - (X_1 + X_{10}) \end{aligned} \right\} \dots\dots(3c)$$

$$\left. \begin{aligned} r &= \arctan[k_1 / \sqrt{(X_1 + X_{10})^2 + (Y_1 + Y_{10})^2}] \\ Z_{12} &= (OA \cdot V_1 + k_1 \cdot k_2 \cdot \cos(r)) - (OA - V_0) \cdot k_1 / OC \\ \text{式中 } OA &= \sqrt{(X_1 + X_{10} + X_{20})^2 + (Y_1 + Y_{10} + Y_{20})^2} \dots\dots(3d) \\ OC &= \sqrt{(X_1 + X_{20})^2 + (Y_1 + Y_{20})^2 + (X_1 + X_{10})^2} \\ V_1 &= k_1 - k_2 - (V_0) \end{aligned} \right\}$$

内 容 简 介

体育运动中的影像分析,是运动技术诊断和优化研究的主要手段。本书讨论了高速摄影影片分析及提高数值精度的方法;特别是较系统地讨论了扫描摄影影象定量解析的原理和方法,这是摄影测量在体育运动技术测量方面的创造性应用。随着录像技术的发展和普及,人们在探索借助於录像及其影像分析,来从运动生物力学的研究,本书探讨性地讨论了录像影象分析技术。

上述问题的理论探讨是运动生物力学方法学的重要发展。并且,由於着重讨论普及型照相机的影像分析,研究费用低、成象清楚,软件设计合理,易於向广大科研人员、教练员、运动员、体育教师以及体育工作者推广使用。

国内外高水平的体育竞技,电视上几乎天天可以看到。这些电视影象不仅使我们可以欣赏到精馐的运动技艺,而且由於体育竞赛场地,有严格的尺寸规定,可以利用比赛现场的标志点、线或标记物,对不知拍摄位置、变焦距、扫描摄影摄得的影象利用本书讨论的方法可以解析出定量技术参数信息,大大深化对运动技术的认识。所有这些都大大促进体育运动训练、竞赛、教学的科学化。

作为理论研究成果的实际应用,本书第二、第三部份刊出了当今世界和我国田径、游泳部分项目最优秀选手在全程各分段距离上的时间、步数、步长、步频、速度等运动学参数,这是国内外现代优秀选手的模式参数,资料比较完整,是人们渴求知道的、可贵的工具参考资料。必将促进我国体育运动训练、竞赛、教学向科学化方向迈进一步。

作 者 的 话

为了开创性地在中华人民共和国第六届运动大会期间进行运动生物力学的调研工作，国家体委组织了六运会国家体委运动生物力学研究队。经专家们商定，决定用录相摄象及影象解析来测试研究田径径赛中短、中跑项目全程各分段距离上的步长、步频、速度等运动学参数。并推荐由我来负责这一研究工作。

这是一项前人并未进行过的创新性工作，需要完成下述研究任务：

①高速电影摄影是在快门开启的很短时间间隔内，物体影象在胶片上同时曝光成象；而录相影象是电子扫描成象，一帧画面影象是两场影象的叠合，因而画面上各象素点成象的时间不同。用每秒 25 帧摄录速度的普通摄录相机摄得的影象，来解析研究体育运动技术，必须考虑到录相影象的成象特点；

②田径径赛短、中跑项目的比赛，要拍摄清楚比赛的全过程，只能借助于扫描跟踪摄影。在体育运动技术的影象分析中，国内外公认的是采用定点、定焦距、小视场开角的摄影，用扫描跟踪摄影摄录的影象，要能用于定量解析，这需要严格的理论论证和可靠的实测数值精度校验，这是摄影和影象解析的又一重要方法学问题需要研究解决；

③录相影象解析，国内外还处于探索研究中，并没有成熟的录相影象解析系统。因而需要研制出成本低廉、易于普及推广的录相影象解析系统。并且，为了能快速度、高效率地反馈测试技术信息，需研制出优化的测试软件。

多年来从事高速摄影与影片分析工作的探索研究，积累了一定的素材和经验，为完成上述研究课题具备了一定的基础。没有申请课题

经费，靠私人筹集资金和厂家的资助，虽然困难，但仍按时完成上述研究，并研制出 STK—1 型录相影象解析系统，于 1987 年 6 月在六届全运会预选赛上试用。随即进一步完善，于 11 月在第六届全运会上投入测试使用，发布快速反馈材料 75 份，较好地完成了研究队交给的任务。1988 年 5 月，由国家体委和四川省科委联合组织技术鉴定，《扫描跟踪摄影及其影象解析方法》、《录相影象定量解析技术》以及《STK—1 型影象分析系统的研制》通过了部、省级技术鉴定，1988 年 6 月 21 日中央电视台对这一研究成果作了新闻报导。

24 届奥运会上，世界最优秀选手的精湛技艺，深深拨动着从事体育工作的每一个人的心弦。这是现代科技进步的结晶，是科学训练的硕果。高超的技术，激发起定量分析了解它的欲望，因而又探索研究了在一定条件下的《未知拍摄位置、变焦距扫描跟踪摄影的影象分析方法》，利用电视台广播的比赛实况，对田径径赛和游泳部份项目进行定量解析。在本书中同时也发表出这方面的讨论文和实测结果。

《六运会国家体委运动生物力学研究队》是在国家体委科教司直接领导下进行工作，研究队队长是王云德同志，全队共 53 人，录相组在全运会期间有八人参加工作，他们是：四川体科所安朝臣（任组长），武汉体院周湘泉，贵州体科所李正华，四川体科所秦大华，沈阳体院胡晓进，西南交大学彭强，武汉体院苏晨、陈适辉等。在予选赛期间四川体育科研所严萍同志曾参加过工作。这些同志都认真地完成了全运会期间的工作任务。

除了讨论体育运动中的影像分析技术外，还刊出中华人民共和国第六届全运会和 24 届奥运会田径径赛短、中跑项目以及游泳部份项目决赛前八名优秀选手的一些重要的运动技术参数，当今世界和国内最优秀运动员的模式参数，必将为我国的训练和比赛提供出难得的参考资料，促进科学化训练的发展。

我是六运会国家体委运动生物力学研究队的成员，本书是我个人

参加研究队工作的总结汇编成的专著。成果是研究队成果的一部分,如果有缺点、错误是我个人的责任。在此感谢国家体委科教司、中国体育科学学会运动生物力学学会,以及四川省体委领导对我的信任和支持。

作 者 1989 年 7 月

目 录

(1)	前 言	(1)
(2)	影象减少数值误差的方法	(4)
(3)	STK-1 型影象分析系统的软件设计	(15)
(4)	录相摄像的成象特点及其影象解析技术的初步研究	(28)
(5)	跟踪摄影及其影象解析数值转换计算的初步探讨	(35)
(6)	用录相摄像及其影象解析求田径径赛项目的步长、步频、 速度参数的软件设计	(44)
(7)	扫描摄影测量原理简述	(51)
(9)	第 24 届奥运会电视实况录相的影象解析方法	(63)
(10)	扫描摄影及其影象解析实测数据的数值精度校验	(71)

中华人民共和国第六届全国运动会田径短、中跑项目录相影象解析 技 术 资 料 集

(1)	男 子	100 米	决 赛	(85)
(2)	男 子	200 米	决 赛	(91)
(3)	男 子	400 米	决 赛	(96)
(4)	男 子	800 米	决 赛	(100)
(5)	男 子	110 米栏	决 赛	(106)
(6)	男 子	400 米栏	决 赛	(110)
(7)	女 子	100 米	决 赛	(114)
(8)	女 子	200 米	决 赛	(120)
(9)	女 子	400 米	决 赛	(125)
(10)	女 子	800 米	决 赛	(129)

(10)	女 子	100 米栏	决 赛	.....	(135)
(12)	女 子	400 米栏	决 赛	.....	(139)

第 24 届奥运会田径径赛电视实况录像影像解析 技 术 资 料 集

(1)	男 子	100 米	决 赛	.....	(143)
(2)	男 子	200 米	决 赛	.....	(149)
(3)	男 子	400 米	决 赛	.....	(154)
(4)	男 子	800 米	决 赛	.....	(158)
(5)	男 子	110 米栏	决 赛	.....	(164)
(6)	男 子	400 米栏	决 赛	.....	(168)
(7)	女 子	100 米	决 赛	.....	(172)
(8)	女 子	200 米	决 赛	.....	(178)
(9)	女 子	800 米	决 赛	.....	(183)
(10)	女 子	100 米栏	决 赛	.....	(189)
(11)	女 子	400 米栏	决 赛	.....	(193)

第 24 届奥运会游泳部份项目电视实况录像影像解析 技 术 资 料 集

(1)	女 子	50 米	自由泳	.....	(197)
(2)	女 子	100 米	自由泳	.....	(202)
(3)	女 子	100 米	仰 泳	.....	(208)
(4)	女 子	100 米	蛙 泳	.....	(213)
(5)	女 子	100 米	蝶 泳	.....	(219)
(6)	男 子	100 米	自由泳	.....	(226)

前 言

竞技体育在一定程度上代表一个国家、一个民族的政治、经济以及科学文化的发展水平，世界各国都重视发展。现代体育运动训练和竞赛越来越多地使用先进器械、设备和科研仪器，培养优秀选手，已开始从经验型逐渐向科学化训练过渡。随着体育运动技术的发展，越来越需要对运动动作进行精细的分析。目的在于对运动技术进行诊断分析的《运动生物力学》，以高速摄影和影象分析为手段，能测定出运动技术动作的细微变化，如质点运动的位移、轨迹、时间、速度、动量、环节角度、角速度、角加速度等等参数，像放大镜和显微镜一样，能使教练员、运动员和科研人员观察到技术细节，为改进和优化运动技术提供科学数据，并且高速摄影不接触人体，不需要在运动员身上附加仪器装置，不违犯比赛规则，允许在比赛条件拍摄，以取得竞技技术的第一手资料，因而颇受欢迎。

早在 1882 年有人用 24 台照像机按一定的时间间隔，记录人体的运动过程，这可以说是用影象进行运动分析的初期实验。1930 年，费恩首先用电影胶片进行定量分析，虽然当时只能是费时费工的人工打点测定，但这对影象分析的发展却具有开拓性的意义。

近一二十年来，《运动生物力学》在体育运动发达的国家和我国，都有迅速的发展。今天国际上有《国际运动生物力学协会》，每两年要举行一次世界性的学术报告会议，我国在《中国体育科学学会》下，成立有《全国运动生物力学学会》，已举行了六次学术报告会议，成为一门很活跃的学科。1986 年，国际田联决定在《世界青年田径锦标赛》上，组织一支科研测试队伍，成为大会编制的一部份，对优秀选手进行科

学测试，这支研究队伍完全由世界各国的生物力学专家共约 50 人组成，并决定在今后的国际比赛中都要组织这样的研究队伍。1987 年，国家体委决定组织《六运会国家体委运动生物力学研究队》，在全运会上发布快速反馈材料，以促进我国训练和竞赛工作的科学化。现今，国内外对《运动生物力学》的发展都相当重视，并得到了较迅速的发展，世界各发达国家，都有一支有素养的研究队伍，其中包括不少著名的力学专家，并拥有较先进的仪器设备。例如，在我国就拥有瑞士生产的红外光点记录仪，日本的 NAC GP 2000 图象分析系统，瑞士 KISTLER 公司的三维测力仪，以及高速摄影机，立体摄影机等国际上 80 年代的科研设备。同时国内已经研制生产出能适应运动生物力学研究所需要，但价格远远低于进口同类产品的设备，例如，上海和江苏体科所研制的影片解析装置，已经在国内二十多家使用的四川体科所研制的三维测力系统；以及最近研制成功的价格低廉，精度适用的录相影象分析系统等等，这些都有力地促进了我国运动生物力学的发展。

运动生物力学是研究人体运动、或人体运动与受力状态关系的科学，目的在于对体育运动技术的合理性进行诊断、分析研究，促使其更加完善，它是直接服务于运动技术的改进和提高的。研究运动技术首先需要对运动技术进行运动学和动力学的测试，必然带来有测试仪器和测试方法的研究。因而《运动生物力学》包括下属研究领域：

- (一) 用摄影和影象分析来研究人体的运动学关系；
- (二) 用三维动态力值测试来研究运动技术的动力学关系；
- (三) 用肌电测量，从人体解剖学的角度来研究肌肉用力与运动动作的关系；
- (四) 《运动生物力学》测试仪器的研制；
- (五) 《运动生物力学》测试方法学的研究。

肌电测量，现阶段只能对表层肌肉用力与动作的关系进行定性的

观察研究；三维动态力值测试，需要用三维测力平台系统，由于安装条件与比赛规则的限制，只能在实验条件下进行，应用也受到局限。因此对运动技术的测试研究，使用最多，测试方法比较成熟的是摄影和影象分析。自然，摄影和影象分析方法学的研究，在运动生物力学的研究中也占有相当大的比重。

国际上公认的是定点、定焦距的高速电影影片摄影与影象解析。随着录相技术的迅速发展，并具有操作简易、成象清楚、反馈速度快、使用成本低廉等优点，使得录相在电视广播中几乎完全取代了电影摄影，从而使电影摄影使用的影片及其加工制作越来越稀贵。人们越来越多地考虑用录相及其影象解析来从事《运动生物力学》的研究。同时，随着运动技术的发展，往往需要在更广阔的视场范围内来研究运动技术，考虑用扫描摄影摄得的影象能用于定量解析。因此，扫描摄影的影象解析及录相影象解析是从事运动生物力学研究的人们所关注的。近几年来，作者在这方面作了些试探性的研究工作，并汇集成这本专著，愿它能为促进我国《运动生物力学》的发展，推动我国体育运动水平的提高作出一点贡献。

影象测量减少误差的方法

随着体育运动技术的发展,越来越需要对运动技术进行精细的研究。以研究体育运动技术动作为主要目的的《运动生物力学》,近年来发展迅速,成为一门很活跃的学科。高速摄影与影象分析,能解析出长度、角度、面积、坐标位置、位移、角位移、时间等等参数值。位移、角位移对时间一次微分,可以计算出速度、角速度、动量等;进而还可推导出加速度、力、功、动能、角加速度等参数。同时高速摄影不需要在运动员身上附加仪器装置,这就可以在现场比赛的条件下来拍摄取得第一手资料,不受时间条件限制。因此,高速摄影与影象分析是《运动生物力学》研究的重要方法。

早在1882年有人用24台照象机按照一定的时间间隔,记录人体的运动过程。1930年费恩首先对电影胶片进行了定量分析,当时只能是费时费工的人工测定。随着科学和工业技术的进步,越来越先进的仪器设备被应用到体育科学研究中来。影片分析仪大大地提高了分析效率和精度。现今,美国、苏联和其他先进国家,对技术影片的分析,分别使用着不同型号、配有电子计算机的图象分析系统。在我国体育界,国家体育科研所和四川体育科研所都备有日本NAC GP2000图象分析系统。有的科研所或体育院校,正在着手研制或拟购买图象分析仪。

近年来,我国运动生物力学的发展迅速,各地学者专家写出众多篇研究报告和论文,其中很重要的一部份是依靠高速摄影与影象分析的。例如,对朱建华的跳高技术分析,对吴敬德抓举破世界纪录的技术分析等,可以作为这方面的代表著作。

高速摄影与影象分析是通过摄影机拍摄物体，使其在胶片平面内成象，经过冲洗、拷贝等加工过程，再对胶片上成象的影象放映到屏幕上进行测量观察。由于各种原因，不可避免地存在有数值误差。数值误差主要来自两大方面：摄影过程和影象分析过程。

(一) 摄影过程

对体育运动技术进行普通摄影、特别是普通高速摄影，可以将瞬间的运动技术动作记录在胶片上，用慢速甚至逐幅地放映，将时间“放大”，细致地观察分析，定性地评价技术动作的优劣，好象用显微镜观察微生物世界一样。

如果要获得运动技术的定量参数，那么对摄影器械和摄影条件都必须遵从严格的要求和规定，特别是立体摄影。现就平面测量摄影讨论于后一：

(1) 摄影机必须要有时间标记。没有时间标记装置的摄影机，包括价格昂贵的进口摄影机，在摄影过程中，由于电压波动、胶片拉力的变化或者机械传动系统某一部份阻力增大等原因，转速是不可能稳定可靠的，定量测量用的摄影机须要有受电子振荡控制的时间标记装置，以便在摄影过程中，在胶片中打上时间信号，在影片分析时能判断出移动过去的画面所走过的时间间隔。没有时标的摄影机可以在拍摄现场同时拍摄下时钟，以校正拍摄速度。

(2) 摄影机要有足够的精度，镜头成象应清晰，畸变小。尽可能使用中焦距或标准镜头，使摄影机视场边缘与主光轴的夹角减小，一般说来，这一夹角应小于6度。广角镜头边缘部份成象变形大，不宜采用。

(3) 在一般情况下，摄影机应固定不动、固定距离、固定焦距拍摄，摄影机主光轴应与所测物点的运动平面垂直。在视场内设置参照点，其轮廓应清晰易辨认，标定比例尺应设置在质点运动平面内。在实验条件下，上述条件容易满足。但在体育比赛现场，为了拍摄某些

珍贵的运动技术图片，不能满足上述条件时，需要对测量参数进行数值转换计算，下面结合实例来讨论有关数值转换计算方法。

实例 1：在某次比赛中，拟摄取 100M 跑决赛第四道运动员途中跑的运动技术参数。根据当时的现场条件，摄影机安置在距离 100M 跑道内缘 88 米、正对 50M 分段线处；在距离跑道内缘线 2 米处设置标定比例尺，求解析参数的尺寸比例系数值。

〔解〕如图 2-1 所示，第四道运动员跑进中心线距离跑道内缘线为 $3 \times 1.22 + 0.5 \times 1.22 = 4.27$ 米；标定比例尺距离跑进中心线为 6.27 米。从图 2-1 可见，要与标定比例尺 AB 的成象尺寸相等，在第四道中心线上的 A'B' 必应有下述关系：

假设在 AB 处的尺寸比例系数为 K_0 ，则在四道中心线处的尺寸比例系数应为 $k_4 = 1.0729 \cdot k_0$ ，即

$$A'B' : AB = (88 + 4.27) : (88 - 2) = 1.0729.$$

就是说，1.0729 就是使用标定比例尺 AB 时的转换系数值。

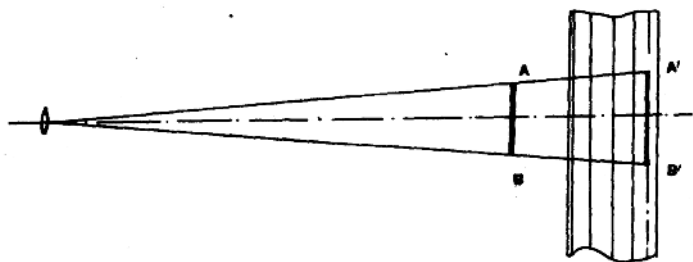


图 2-1：比例尺不能设置在物点运动平面时，数值转换计算示意图

实例 2：拟拍摄某次跳高比赛的过竿技术参数。由于条件的限制，摄影机安装的位置不能使主光轴垂直于运动员质心运动平面。将摄影

机正对横竿中央，过横竿中点作垂线交地面于 O 点，定为坐标原点，并以横竿高度为标定比例尺。设从物点运动平面 M 到成象平面的夹角为 β （沿反时针方向旋转取正值，反之取负值， β 角可以通过试跳后测量足踏跳点来求得）；设某瞬时物点在其运动平面内的真实坐标位置为 $P(X, Y)$ ，而在象点所在平面内坐标测量值为 $A(U, V)$ ； L 为摄影机主法线到过横竿中心点象平面的垂直距离； h 为镜头距离地面的高度（参见图 2-2）； K_0 为成象尺寸比例系数。

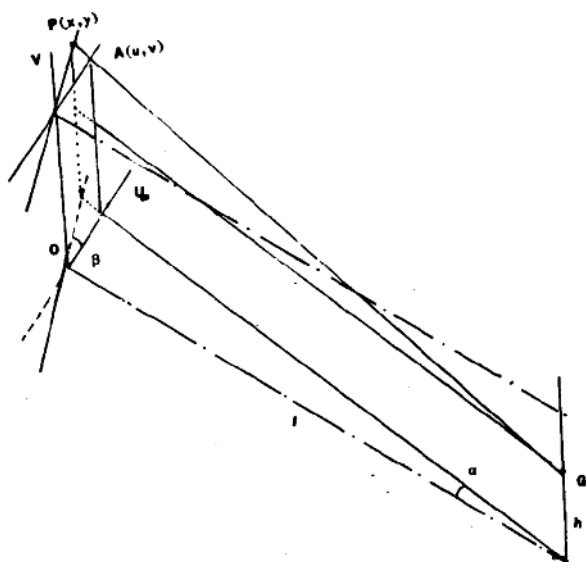


图 2-2、物点运动平面和摄影方向线不正交时，坐标转换计算示意图

从图 2-2 可以推证出：

$$X = L \cdot \frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha + \beta)},$$

$$y = h + [\sqrt{L^2 + (U \cdot K_0)^2} + U \cdot K_0 \cdot \sin(\beta) / \cos(\alpha + \beta)] \cdot \tan(\gamma).$$

式中: $\alpha = \arctan(U \cdot K_0 / L)$;

β ...为运动平面与象点平面的夹角;

$$\gamma = \arctan[(V \cdot K_0 - h) / \sqrt{L^2 + (U \cdot K_0)^2}];$$

L摄影机安置点到过横竿所作的垂直平面的垂直距离;

h摄影机镜头距离地面的高度;

X 、 Y ...物点在其运动平面内的实际坐标值;

U 、 V ...象点在象平面内的坐标测量值;

K_0 ——成象尺寸比例系数。

定点、定焦距摄影,只能测试研究运动过程中某一局部范围,要想测试研究较大范围或过程,例如研究100M比赛全程技术的某些运动学参数,只能借助扫描跟踪摄影,请参考本书中有关论述。

(二) 形象解析过程

将在胶片上成象的影象,放映到解析仪的屏幕上进行分析测量时,不可避免地会产生误差。误差主要来源于下述几个方面;

(1) 测量工具或测量系统本身存在的误差,称之为系统误差,这直接决定于使用工具或仪器系统的精度。

在测量过程中使用量尺和标尺,是产生误差的一个不可忽视的因素。木制的、塑料制的、有机玻璃的或者油漆纤维带的量尺、标尺、卷尺,由于形变、热胀冷缩、干湿度的变化等因素的影响,其精度是很低的,只能保证2%的精度或者更低;而钢尺和钢卷尺的精度,能保证在1%以内的误差。因此,不论是摄影现场的测量或者影片解析测量过程中,在选用测量工具时,应用钢尺或钢卷尺。不得已需要选用木制的、塑料的或纤维带卷尺作为量尺时,应当对量尺本身进行校正,以

确保测量精度。

在制作或选用放映屏幕，以测量象点的座标位置时，座标纸易于受温度和干湿度的影响，并且易于拉伸变形，其测量精度只能保证在4%以内。特制的座标测量板，会大大提高精度。工厂里生产的座标测量板，需要选用不易变形，并不易受温度或湿度变化而伸缩的材料，同时应经过比较标准的量尺校验过。现代使用的解析仪，工具显微镜等测量仪能保证测量精度在1%以内。

现代解析测量仪都配套使用各式电子计算机，测量信号进入电子计算机都必须配备模/数转换板。如果，配的是八位A/D转换板，其采样精度为256分之一。十位数的A/D转换板，其采样精度为1024分之一（双向512分之一）。而12位数和16位数的A/D转换板精度就更高了。

（2）胶片在放映过程中，由于齿孔位置和尺寸精度的影响，单幅胶片的定位可能产生误差。

在测量画面中选择某一个不动点作为测量数值的基本参照点（或座标原点），则胶片的定位误差消除，但增加了对该基本参照点的测量误差。一般说来，对基准点的测量误差小由于胶片定位不准所产生的误差。

我们曾用日本纳库16HD高速摄影机，选定时间闪烁频率为每秒100Hz，定点拍摄某一画面中的轮廓很清楚、轮廓较清楚和轮廓不清楚的三个静止不动点，经过224幅画面，每隔一幅测一组，共测得112组数据对比其标准误差的绝对值为：

	轮廓很清楚 A 点	轮廓较清楚 B 点	轮廓不清楚 C 点
不 选 基 点 时 :	9. 972	10. 271	11. 147
相对于A点的标准差:	0. 000	4. 749	7. 835

从实验数据可以看出：测量点的清晰度越好，测量的标准误差越小；不选基准参照点与选基准参照点，其测量标准误差的比值分别是 10. 27；4. 749 和 11. 147；7. 835。

对一个点进行测量时，测量值必等于其真实值加上测量误差值，在选取某一个点作为基准点时，对另一个点的测量误差，等于对该测量点的测量误差 r_1 和对基准点的测量误差 r_0 两者之和，和的或然误差为：

$$r = \sqrt{r_0^2 + r_1^2}。$$

当我们不是选取一个点，而是选取两个，三个甚至于四个点（特别是处于画面边缘处对角线上的点）的平均计算值作为参照点时，则这个计算出来的基准点的测量误差值为两个、三个甚至四个点单次测量计算出的正负误差值之和的平均值，这一平均值必然小于单点测量的误差值，从而可以提高测量精度。

但是，实验证明，并非是选取基准点的数目越多，测量精度越高，选取超过四个以上点求平均值作基准点时，减少误差的效果就不明显了。我们曾对站着不动的人体拍摄高速影片，经过 64 幅画面，测量静止不动踝关节，并同时测量画面中多个静止不动点的平均值作为基准点，64 组数据，分别求出标准误差如下：

	不选基准点	选一个基准点	测 2 点求平均 值作基准点	测 4 点求平均 值作基准点	测 8 点求平均 值作基准点
标准误差:	0.63602	0.44316	0.34169	0.33473	0.33913

(3) 人的眼力能分辨的最小尺寸有一定的限制，对象点座标位置的判读会产生误差。同时用不同的方式输入记录数据时，还可能出现操作产生的误差。判读误差和操作误差，是随机的测量误差。显然，所测象点的轮廓越清晰，影片质量越好，影象放大的倍数越大，判读误差越小。根据我们使用日本纳库 GP-2000 图象分析系统对高速影片