

## 100 m 短跑运动员内能消耗过程的仿真分析

刘小湘

(湖南工程学院 体育部,湖南 湘潭 411101)

**摘 要:**以 100 m 优秀运动员实测运动生物力学数据为依据,用能量法分段计算出势能、动能、阻力功等机械功和用于这些机械功的内能消耗及各自所占的百分比,总结出每步的机械功率、平均每段的机械功率、每步的内耗功率和平均每段的内耗功率的分布规律及影响功率的因素。步幅加大可以节省阻力功和势能消耗。调控速度的能力强,有利于合理分配体能。进行限定输出功率水平的耐力训练,有利于减少比赛时极限速度的波动频率和幅度。

**关 键 词:**内能消耗; 功率分布; 仿真分析; 100 m 跑运动员

**中图分类号:**G822.114 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7116(2003)03-0118-03

### Artificial analysis of the procedure of momentum loss of world top 100 m short - distance runner

LIU Xiao-xiang

(Department of Physical Education, Hunan Institute of Engineering, Xiangtan 411101, China)

**Abstract:** On the basis of the real biodynamic figures of the excellent 100m athlete, one can determine the power such as potential energy, power, resistance and the proportion used in each power with the method of divided, summarize the reason of power efficiency of each step, the power efficiency of each division, and the law of the distribution and the effective power. Large steps may save resistance power up the ability to control the speed may help the athlete to use the energy rational. The training of using the limited output power will reduce the liquid frequency and the range of the limited speed during the exercise. The opinions above will be detailed in it.

**Key words:** momentum loss; power distribution; artificial analysis; 100 m short - distance runner

能量转换与守恒是自然界物质运动的普遍规律。运用能量法分析体育运动中的现象,目前在体育界和科技界受到普遍重视。主要采用直接测定法和间接测定法两种方法,直接测定法是应用专门的热量计直接测定机体表面所散发的热量,然后按一定的效率系数折算出人体消耗的能量,这种方法虽能精确测出机体表面散热,但因效率系数难以确定、仪器复杂、在线测量时困难,目前在体育运动中应用很少。间接测热法是测定三大营养物质(糖、脂肪和蛋白质)在体内氧化时耗氧量和二氧化碳呼出量,根据一定的生理反应推算出产生的热量,用运动时产生的总热量减去基础代谢热量,可得运动消耗的能量,该法需收集被测者运动时呼气进行分析,测量工作虽比直接测量简单,但对有位移的项目,测量工作难度仍较大。用能量法依据模糊数学、统计学和运动生物力学理论,对运动中机械能进行分析,可以分析出 100 m 短跑运动员的能耗、功率及其随时间变化的情况。同时可以预测运动过程中的能量消耗,为运动过程中能量的合理利用提出指导性意见,有利于运动各阶段的运动技术合理运用和整

体运动方案的制订,对训练手段的科学化和运动成绩的提高均有重要价值。

### 1 研究方法

(1)通过查阅文献,确定 100 m 短跑运动员的运动生物力学数据。

(2)将 100 m 分成 10 段,分段计算出运动员外部机械功、内能消耗和功率输出等数据,并依据数据进行分析。

### 2 结果与分析

#### 2.1 运动过程中的机械功

在 100 m 短跑运动过程中,人体生理内能通过肌肉做功包括在保持运动时具有势能、达到一定的动能,以及克服地面阻力和空气阻力做功等 3 项机械功。运动过程中 3 项机械功分布如表 1 所示。3 项机械功是依据文献[1,2,4]提供生物力学数据,利用能量模型仿真计算所得结果如表 2。

表 1 运动过程中的机械功分布 J

分段	势能	动能	克服阻力做功	$\Sigma_1$
10 m	690.71	1 230.77	519.83	2 410.31
20 m	416.31	1 848.68	593.39	2 858.38
30 m	288.44	1 056.04	572.15	1 916.63
40 m	254.83	294.19	563.04	1 112.06
50 m	254.83	239.40	578.24	1 072.47
60 m	264.96	-56.42	597.49	806.03
70 m	261.80	40.49	593.64	895.93
80 m	245.95	138.22	603.85	988.02
90 m	250.39	-400.75	548.81	398.45
100 m	251.03	31.42	554.16	836.61
$\Sigma_2$	3 179.25	4 422.04	5 724.60	13 325.89

表 2 100 m 短跑运动生物力学分段仿值结果

分段	水平速度/(m·s <sup>-1</sup> )	蹬伸次数/次	步幅/m	蹬伸时间/(s·次 <sup>-1</sup> ) <sup>[4]</sup>
10 m	5.93	7.12	1.37	0.158
20 m	9.38	5.10	7.92	0.112
30 m	10.87	4.23	2.37	0.090
40 m	11.25	4.02	2.49	0.085
50 m	11.55	4.082	2.48	0.082
60 m	11.48	4.18	2.40	0.084
70 m	11.53	4.13	2.43	0.083
80 m	11.70	3.88	2.56	0.081
90 m	11.20	3.95	2.52	0.085
100 m	11.24	3.96	2.55	0.085

(1)垂直方向机械能。在 100 m 短跑运动时,运动员(体重为 70 kg)垂直方向势能和动能相互周期性转换,垂直方向总能量依靠每次蹬伸来维持在 245.95 ~ 690.71 J 的水平上。垂直方向最大总能量发生在 10 m 段落,能量为 690.71 J,随后逐渐减少到 245.95 J,下降幅度为 64.40%。垂直方向总能量在起跑阶段(30 m 以内)逐渐降低,在途中跑和冲刺阶段维持在 245.95 J 水平上。起跑阶段是增加水平速度的阶段,需要增加蹬伸做功的次数,故采用步频低,步幅短的技术

方案。随着速度增加,为了减少垂直方向总能量消耗,蹬伸次数逐渐减少,步频加快,步幅加大。

(2)水平方向动能。在 100 m 短跑项目中,运动员提高运动速度,就是通过蹬伸做功增加水平方向的动能实现的。动能增加在 20 m 段出现最大值,达 1 848.68 J,在 90 m 段出现最小值,为 -400.75 J。动能增加主要贡献段是前 30 m 起跑段,增加的动能占总动能的 93.52%,动能的增加与速度的平方差成正比。在 100 m 短跑的 10 个分段中,60 m 和 90 m 段动能出现负增长。在 60 m 段,动能减少到 -56.42 J,速度从 11.55 m/s 下降到 11.48 m/s;在 90 m 段,动能减少到 -400.75 J,速度从 11.70 m/s 下降到 11.20 m/s。速度下降或动能减少,说明运动员生理内能在这两段供应不足,克服不了此速度下的空气及地面阻力做功,使动能和速度下降。

(3)克服阻力的功。阻力主要指地面和空气阻力。在 100 m 短跑项目中,阻力功主要体现在每一次蹬地过程的速度和动能变化中。蹬地过程分两阶段:缓冲和蹬伸。缓冲阶段动能和速度下降,蹬伸阶段速度增加和动能增加,其动能增加量等于缓冲阶段动能损失量与一个跨步阶段阻力功之和。缓冲阶段动能损失量和阻力功均是水平速度的高次方有关的函数。由文献[4]可知,缓冲阶段速度损失(0.129 ± 0.08)m/s,蹬伸阶段速度增量(0.195 ± 0.09)m/s。表 1 显示,最大阻力功发生在 80 m 段,阻力功为 603.85 J,最小阻力功发生在 10 m 段,阻力功为 519.83 J。阻力功的最大影响因素是速度,其次是步幅。在 80 m 到 90 m 段,速度下降 0.5 m/s,下降幅度为 4.27%,阻力功下降 55.04 J,下降幅度为 9.11%,每一步的阻力功,最大时为 155.63 J,发生在 80 m 段,最小为 71.01 J,发生在 10 m 段。在 100 m 跑程内,步长增加 0.1 m,阻力功减少 224.60 J,占总阻力功的 3.92%。

2.2 内能消耗的构成与分布

由生理反应提供的内能一部分用于做机械功,另一部分转变成热能消耗。一般机械功只占生理反应产生的能量的 25% ~ 30%<sup>[4,5]</sup>。

表 3 内能消耗的构成与分布

分段	保持势能		保持动能		克服阻力功		$\Sigma_1$	
	E/J	%	E/J	%	E/J	%	E/J	%
10 m	2 762.84	28.29	4 923.08	50.41	2 079.32	21.29	9 765.24	100
20 m	1 665.25	14.56	7 397.72	64.66	2 373.54	20.76	11 433.51	100
30 m	1 153.77	15.05	4 224.16	55.10	2 288.59	29.85	7 666.52	100
40 m	1 019.31	22.91	1 176.76	26.45	2 252.16	50.63	4 448.23	100
50 m	1 019.31	23.76	957.60	22.32	2 312.95	53.92	4 289.86	100
60 m	1 059.83	32.87	-225.68	-6.99	2 389.96	74.13	3 224.16	100
70 m	1 047.20	29.22	161.96	4.52	2 374.54	66.30	3 583.70	100
80 m	983.81	24.89	552.88	58.07	2 415.38	61.11	3 592.07	100
90 m	1 001.56	62.84	-1603.00	-100.57	2 195.25	137.74	1 593.81	100
100 m	1 004.10	30.00	125.68	3.76	2 216.65	66.24	3 346.43	100
$\Sigma_2$	12 716.98	23.97	17 688.16	33.18	22 898.34	42.85	53 303.48	100

(1)保持势能的内能消耗分布。由表 3 可知在 100 m 短跑全程内,用于保持势能的内能消耗从 10 m 段到 100 m 段,

有下降的趋势。内能消耗最多的是 10 m 段,消耗内能 2 762.84 J,最小的内能消耗在 80 m 段,为 983.81 J。10 ~ 30

m 段,内能消耗逐渐减少,在 40~100 m 段,内能波动小,内能消耗与步长的关系较大。步幅大,内能消耗大。保持势能的内能消耗中的比例波动较大,平均保持势能的内能消耗占总内能消耗的 23.97%,内能消耗所占总能量比例与动能增量相关,动能增量小,保持势能的内能消耗所占的比重大,保持势能的内能消耗占总内能消耗最多的是 90 m 段,达 62.84%。动能增量,保持势能的内能消耗所占的比重小,占总内能消耗最小的是 20 m 段,只占 14.56%。

(2)保持动能的内能消耗分布。从表 3 可以看出,在 100 m 全程范围内,前 30 m 用于保持动能的内能消耗增加剧烈,体现了起跑阶段的加速作用。途中跑的 70 m,用于保持动能的内能消耗波动较大。由于内能不足,在 60 m 和 90 m 段,保持动能的内能消耗出现负值。在 90 m 段的内能短缺,给运动成绩带来很大影响,如果在 90~100 m 段内,保持 80 m 段内的速度,运动成绩将提高 0.05 s。未能保持 80 m 段内的速度的主要原因是人体达到极限速度的生理功率只能维持一定时间,超过某一时间,肌肉神经系统出现疲劳。内能消耗的功率提高,维持极限功率的时间将缩短。保持动能的内能消耗占总内能消耗的比例波动很大,最大比例发生在 20 m 段,占 64.66%,最小比例发生在 90 m 段,占 -100.57%,平均内能消耗占总内能的 33.18%。内能消耗所占比例与内能消耗相关。内能消耗大,所占比例同样大。

(3)克服阻力的内能消耗。在 100 m 跑全程中,其内能消耗波动较小,最小发生在 10 m 段,内能消耗为 2 079.32 J,占总内能的 21.29%,最大发生在 80 m 段,克服阻力的内能消耗为 2 415.38 J,平均克服阻力的内能消耗为 22 898.34 J,占总内能消耗的 42.85%。克服阻力的内能消耗占总能量比重变化较大。在 20 m 段仅占 20.76%,在 90 m 段占到 137.74%。在 90 m 段,克服阻力的内能消耗高于总内能,原因是有一部分动能转变成为克服阻力的内能消耗。

### 2.3 机械功率和内能消耗功率

机械功率和内能消耗功率计算结果如表 4 所示。

表 4 机械功率和内能消耗功率 W

分段	每步机械功率	平均机械功率	每步内耗功率	平均内耗功率
10 m	2 174.20	1 457.28	8 684.80	5 814.40
20 m	4 990.08	2 679.04	19 967.68	10 701.44
30 m	5 041.60	2 090.24	20 166.40	82 462.40
40 m	3 260.48	1 251.20	13 034.56	5 004.80
50 m	2 260.48	1 251.20	13 027.20	4 997.44
60 m	2 296.32	927.36	9 192.64	3 709.44
70 m	2 620.16	1 030.40	10 465.92	4 121.60
80 m	3 091.20	1 162.88	12 592.96	4 658.88
90 m	1 177.60	448.46	4 754.56	1 795.84
100 m	2 487.68	942.08	9 972.80	3 760.96
N	2 811.52	1 361.60	11 231.36	5 446.40

从表 4 可以看出,在 100 m 短跑全程内,总平均内能消耗功率 5 446.40 W,每步平均内能消耗(蹬伸瞬时)功率 11 231.36 W。有用的总平均机械功率为 1 361.60 W,每步平

均瞬时机械功率为 2 811.52 W。在 100 m 短跑全程内,按区段划分,平均内部消耗功率值在 1 795.84~10 701.44 W 之间。在 20 m 和 30 m 段,内能功率最大分别为 10 701.44 W 和 8 316.24 W。在 90 m 段,内耗功率最小为 1 795.84 W。明显是由于疲劳和 80 m 段的过度加速导致功率急剧下降,80 m 段加速小,可以减小 90 m 段功率急剧下降。在 30 m 段,内耗功率下降,是由于加速已近极限所致。在途中跑,内能消耗功率在 60 m 出现下降,说明在 50 m 段的加速已达到了极限功率,运动员维持极限功率的时间很短。运动员的内耗功率总在以极限值为基准上下波动,越到最后,波动频率越快。通过训练,可以减少上下波动频率和幅度。从表 4 还可以看出,内能功率越大,维持时间越短,在一定输出功率水平上连续做功的时间越长,波动频率越快,幅度越大。在比赛时,过度提高内耗功率,会提早进入疲劳状态,降低机械效率,增大阻力能量消耗,不利于运动成绩提高。在训练时,要保证与比赛功率输出水平相当,进行反复训练,才能有利于 100 m 成绩的提高。目的是提高一定内能输出水平的持续时间,减少比赛时功率输出的波动频率和幅度。

### 3 结论

(1)运动中能量消耗由势能、动能和阻力功三部分构成。

(2)运动过程中,机械功消耗时,势能部分维持在 245.95~690.71 J 的水平上。最大势能发生在 10 m 段,途中跑势能水平较低。动能增加量在 20 m 段出现最大值,达 1 848.68 J。在 90 m 段出现最小值,为 -400.75 J。动能增加的主要贡献段在前 30 m,增加动能占全程增加量的 93.52%。阻力功波动较小,最大阻力功发生在 80 m 段,阻力功为 603.85 J,最小阻力功发生在 10 m 段,阻力功为 519.83 J。

(3)100 m 短跑中,平均内耗功率在 1 795.84~10 701.44 W 变化。内耗功率在 20~30 m 段有较大值分别为 10 701.44 和 8 316.24 W。内耗功率最小为 1 795.84 W,发生在 90 m 段。途中跑阶段,内耗功率在 4 416 W 水平上下波动。

(4)在内能消耗中,步幅和速度的影响最大。步幅增加,内能消耗中势能部分和阻力功部分下降明显。速度增加,内能消耗中的动能和阻力功呈指数增加,增加速度快。

(5)训练中,加大步幅的练习,调控速度的能力训练,保证功率输出水平的训练,是提高 100 m 短跑成绩的有效途径。

### 参考文献:

- [1] 申伟华.优秀运动员的步态变化对 100 m 速度的影响[J].体育科学,2002,22(3):66-69.
- [2] 钱铁群.中外优秀男子百米运动员比较[J].田径,1999(5):18-19.
- [3] 《运动生物力学》编写组.运动生物力学[M].北京:人民体育出版社,1981.
- [4] 《运动生物力学》教材小组.运动生物力学[M].北京:人民教育出版社,1990.
- [5] 史绍蓉.决定超等长训练效果的因素[J].体育科学,1996,16(3):50-51.

[编辑:周威]