

# 气象条件与北京国际马拉松比赛成绩的关系

叶殿秀 宋艳玲 张 强

(中国气象局气候研究开放实验室,北京 100081)

**摘要** 利用 1981~2003 年北京国际马拉松比赛成绩资料和同期北京市观象台逐时或定时观测的气象资料,定量分析了气象条件与北京国际马拉松比赛男子平均成绩、优秀成绩、女子优秀成绩之间的相关关系,并简述了主要气象因子对比赛成绩的影响机理。结果表明:气象因素对比赛成绩影响最大值在 9~12 min 之间;不同性别运动员比赛成绩对气象要素反应的敏感程度不同;男子运动员对气温反应最为敏感,女子运动员对风速反应最为敏感;从人类生物气象指数来看,舒适指数是男运动员比赛成绩的最有效指示器,风冷指数是女优秀运动员比赛成绩的较好指示器。

**关键词** 马拉松 气象因子 比赛成绩

## 引言

马拉松比赛成绩的好坏,除主观因素外,气象条件也是非常重要的因素之一。在国外,L. G. Pugh<sup>[1]</sup>研究了马拉松比赛中气温与出汗、失重之间的关系;R. J. Maughan<sup>[2]</sup>探讨了马拉松比赛期间的温度调节;L. M. Trapasso<sup>[3]</sup>等分析了波士顿 1957~1987 年男子马拉松比赛特异成绩与气象条件之间的关系。在国内,常国刚<sup>[4]</sup>、Zhang Suping<sup>[5]</sup>、赵国雄<sup>[6]</sup>等利用 1981~1989 年比赛成绩资料研究了天气条件对北京国际男子马拉松比赛成绩的影响。以上研究结果显示:由于不同地区、不同气候区影响马拉松比赛成绩的气象因子或其适宜临界值可能不同。因此有必要针对具体地区来研究气象条件与马拉松比赛成绩之间的关系。虽然以往我国学者对北京马拉松比赛成绩与气象因素之间的关系有过研究,但由于所用资料时间序列较短,能否真正揭示气象条件与马拉松比赛成绩间的关系值得探究。另外,由于当时资料所限,他们均没有对气象条件与女子马拉松比赛成绩的关系进行研究。众所周知,不同性别的人对气象条件的反应是有区别的。本文欲通过对具有较长时间序列的北京国际男、女马拉松比赛成绩与气象条件之间关

系进行研究,试图寻求影响不同性别运动员取得优异成绩的主要气象因子,在此基础上,确定取得最佳成绩的气象指标,以期能为运动员和教练员在制定战术决策时提供气象科学依据。

## 1 资料来源及处理

1981~2003 年 23 年北京国际马拉松比赛成绩资料取自国家体育总局田径部。同期马拉松比赛日的逐时或定时的气象观测资料为北京观象台观测资料,取自北京市气象局。

为了消除由于运动员个体心理素质、状态、年龄等随机因素所带来的噪音而给分析工作带来不便,在此我们以每次比赛前 6 名成绩的平均(比赛时间)作为该次比赛的优秀成绩,将前 20 名成绩的平均代表该次比赛的平均成绩。由于北京女子马拉松比赛时间序列较短,加之参加的比赛人数少,有的年份跑完全程的女运动员都不足 20 人,为此,本文对男子平均成绩、优秀成绩及女子优秀成绩进行分析。

北京国际马拉松男子前 20 名运动员、女子前 6 名运动员比赛成绩在 2~3 h 之间,为此,统计马拉松比赛时段的气象要素时,如鸣枪时间不为正点的话,以之前整点和之后 2 个整点观测值的平均或之

奥运科技专项“奥运气象保障技术研究”(2002BA904B05)资助

作者简介:叶殿秀,女,1964 年生,硕士,副研究员,主要从事应用气象和气候影响评估研究,Email: ydx@cma.gov.cn

收稿日期:2004 年 12 月 3 日;定稿日期:2005 年 3 月 10 日

和计,如果是正点或接近正点,则以之后 3 h 观测值的平均或之和计。另外,湿球温度、总云量采用 08:00、14:00 两次定时观测的平均。

不同马拉松比赛路线对比赛成绩会有一定程度的影响。尽管每年北京国际马拉松比赛的路线都有变化,但有一半以上基本上是固定不变的。为此本文忽略因比赛路线变化对历年北京国际马拉松比赛成绩的影响。

分析的气象因子包括气温、湿球温度、降水量、日照时数、水汽压、风速、风向、气压、相对湿度和云量。另外,由于人的实际冷热感并不取决于某一气象因子,为此,本文还采用了人类生物气象综合指数——不舒适指数、风冷指数、舒适指数、有效温度指数、湿冷指数,并计算了它们与气象成绩之间的相关系数。采用的人类生物气象综合指数的具体计算公式为:

①不舒适指数 ( $I_{DC}$ )<sup>[7]</sup>

$$I_{DC} = 0.72(t + t_d) + 40.6$$

②风冷指数 ( $H$ )<sup>[7]</sup>

$$H = (33 - t)(10.45 + 10\sqrt{v - v_0})$$

③舒适指数 ( $I_C$ )<sup>[7]</sup>

$$I_C = 1.8t + 32 - 0.55(1 - f)(1.8t - 26)$$

④有效温度 ( $T_E$ )<sup>[7]</sup>

$$T_E = [37 - (37 - t) / (0.68 - 0.14f + 1 / (1.76 + 1.4v^{0.75}))] - 0.29t(1 - f)$$

⑤湿冷指数 ( $H_W$ )<sup>[5]</sup>

$$H_W = (0.37 + 0.51v^{0.63})(36.5 - t_d)$$

其中  $t$  为气温(°C),  $t_d$  为湿球温度(°C),  $v$  为风速(m/s),  $f$  为相对湿度(%)。

2 结果与分析

2.1 比赛成绩的变化特征

图 1~3 给出了 1981 年以来北京国际马拉松比赛成绩的演变曲线。从中可以看出,无论平均成绩还是优异成绩均随着时间的推移存在一定的变化趋势。在此采用线性回归方法拟合了北京国际马拉松男女比赛成绩的趋势变化,其主要参数见图 1~3 中回归方程。

经检验男子平均成绩的趋势系数通过 0.1 信度检验,女子优秀成绩的趋势系数通过 0.001 信度检验,而男子优秀成绩的变化趋势则不明显,其趋势系数没有通过相关显著性检验。由此说明:北京国际

马拉松女子优秀运动员的成绩在过去 15 年中呈非常显著提高的变化趋势,男子运动员平均成绩在近 23 年里比男子优秀运动员成绩提高得要快,男子优秀运动员的成绩存在不明显的提高趋势。从竞技倾向率<sup>[8]</sup>来看,女子优秀运动员的成绩提高最快,为每 10 年 479 s,男子平均成绩每 10 年提高 113 s,而男子优秀运动员的成绩每 10 年提高仅 71 s。

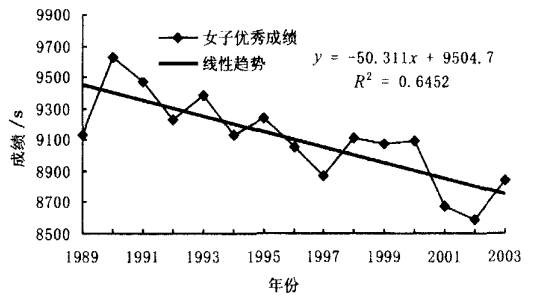


图 1 北京国际马拉松比赛女子优秀成绩演变曲线

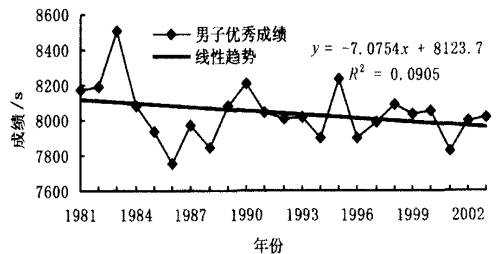


图 2 北京国际马拉松比赛男子优秀成绩演变曲线

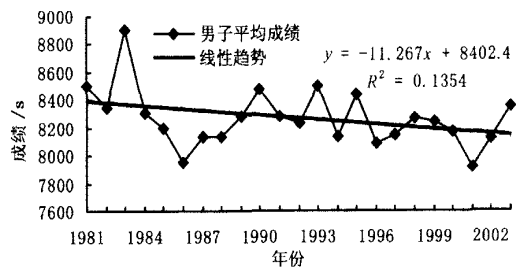


图 3 北京国际马拉松比赛男子平均成绩演变曲线

2.2 气象成绩的分离

马拉松比赛成绩是由许多因素共同作用的结果。这些因素间作用机制非常复杂,但总体可归纳为两方面因素的影响:①马拉松比赛成绩随着运动员的素质和训练水平等因素作用所体现的趋势项,即技术成绩;②气象条件对运动员生理和心理产生不同的影响而引起比赛成绩出现波动项,即气象成

绩。利用实际成绩减去技术成绩即为气象成绩,其中的随机误差忽略不计。

从分离的气象成绩(表略)来看,气象成绩虽然只占实际成绩的一小部分,但变化较大。如果将气象成绩最大值减去最小值称为气象成绩的极差,并认为该极差为气象条件对比赛成绩的最大影响值。统计结果显示:不同性别、不同水平选手,其最大影响值不同。其中男子优秀选手约为 12 min、男子平均水平约为 11.5 min、女子优秀选手为 9 min 左右。关于这一点从 2 年北京国际马拉松比赛成绩的差异也可以得到印证。如 1983 年 9 月 25 日北京国际马拉松比赛,因气温超过 25 °C,气象条件差,致使最好成绩为 2 h 18 min 51 s(比当时的世界纪录慢 12

min 之多),而 1986 年是大家公认的对马拉松比赛较为适宜的天气,当时最好成绩为 2 h 7 min 35 s(接近当时的世界纪录),2 次比赛的最好成绩相差近 12 min。由此说明适宜的气象条件对运动员取得较好成绩是非常重要的,同时也说明我们所提取的气象成绩与实际情况较为相符。

### 2.3 气象因子与比赛成绩的关系

计算北京国际马拉松的气象成绩与气象因子之间的相关系数,结果发现男女运动员的比赛成绩均与水汽压、日照时数、湿球温度关系不显著,但不同性别、不同水平的运动员成绩与气温、相对湿度等气象因子以及炎热指数、风冷指数等综合气象指数的关系较显著(见表 1)。

表 1 北京国际马拉松比赛气象成绩(时间)与气象因子相关系数

	风速	相对湿度	气压	降水	气温	云量	不适指数	风冷指数	舒适指数	有效温度指数	湿冷指数
男子平均	×	- 0.356*	×	- 0.432**	0.630***	- 0.386*	0.533***	×	0.6181***	0.497**	×
男子优秀	×	- 0.356*	- 0.357*	- 0.465**	0.622***	×	0.524**	×	0.633***	0.381*	×
女子优秀	- 0.542**	×	×	×	0.437*	×	0.463*	- 0.618**	×	0.587**	0.563**

注: \* 为通过 0.1 显著性检验; \*\* 为通过 0.05 显著性检验, \*\*\* 为通过 0.01 显著性检验, × 为不显著。

表 1 说明,尽管马拉松比赛成绩与某些气象条件密切相关,但不同水平、不同性别运动员比赛成绩对气象条件的敏感性也有差异。

#### 2.3.1 气温与比赛成绩

由表 1 看出,气温与男女运动员比赛成绩相关较为显著,且均为正相关,说明气温越高,比赛耗时越多,成绩越差。因为气温过高,运动员出汗太多,会丧失大量水分和钾、钠、钙、镁等物质,如果不及时补充,就可能发生脱水现象。尤其是在炎热的环境中进行耐力性项目的比赛,其无氧代谢的能量供应相对增加,结果血液和组织中的乳酸堆积就会增加,使工作能力下降,并提前出现疲劳状态。也就是说,高温天气不利于马拉松运动员实际成绩的发挥。

气温与男、女运动员比赛成绩的密切程度有别。由表 1 可知,男子比女子对气温的变化更为敏感。之所以出现这种情况,一方面可能因为男子运动员的成绩一般比女子运动员的成绩好,运动强度大,对气温就更敏感,另一方面从生理角度来看,女性可能比男性的“耐热”能力更强。

#### 2.3.2 湿度与比赛成绩

表 1 显示相对湿度与男子比赛成绩呈 0.1 显著

水平的负相关,即相对湿度越高,男子比赛成绩越低,耗时越长;与女子马拉松比赛成绩关系不显著。有研究指出<sup>[9]</sup>:当气温适中时,湿度的变化对人体的影响较小,但气温较高时,湿度变化才对人体的温热感产生影响。在女子参加的 14 届北京国际马拉松比赛中,没有遇到较高的气温,因此湿度对女子比赛成绩影响不显著也就可以理解了。

实际上,在高湿天气里,人在呼吸过程中既吸进了氧,同时也吸进了大量的水汽。水汽填塞了肺部的部分极细小支气管,减少了肺泡内的气体交换量,使吸进的氧不能很好地进入循环系统,造成运动员吸氧大幅度下降。另外,空气湿度过大,也不利于汗液的蒸发和身体的散热,容易使运动能力下降,甚至使人出现昏迷现象;如果再加上高温,出汗多,大气中大量水汽使体表汗液蒸发困难,比赛成绩将受到很大影响。但湿度太小,空气过于干燥,马拉松运动员排汗过多,容易脱水,自然也会影响比赛成绩。通常对比赛比较适宜的空气相对湿度范围应是 30%~60%。

#### 2.3.3 风与比赛成绩

北京马拉松比赛往返路线一般变化不大,因此风

向的作用可忽略不计。至于风速所产生的作用,据统计,北京国际马拉松比赛期间(1983~2003年间,北京国际马拉松比赛时的气温多数情况下在 $12\sim 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,且80%的风速小于 $3\text{ m/s}$ ),风速与女子优秀运动员比赛用时呈显著负相关,相关系数达0.05显著水平,说明在一定风速范围内,风速越大,比赛用时越少,比赛成绩越好。风对运动员比赛成绩影响表现在两方面,一是散热,二是阻力或推力,风冷指数与比赛成绩之间也显著相关(参见表2),说明风力使女子运动员体内散热更快起主要作用;由于散热快运动员处于良好的竞技状态而有利于取得好的比赛成绩。但男子运动员比赛成绩受风速的影响则不显著。本结果与“不同性别对风速的反应不同,在 $15\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,增加风速后女性皮肤温度下降较男性快”<sup>[10]</sup>的结论基本一致。

#### 2.3.4 降水与比赛成绩

微量降水是马拉松比赛取得好成绩的理想指标<sup>[3,4]</sup>。在北京举办的23届国际马拉松比赛中,仅有一届比赛遇到微量降水,而且这届成绩是23年中最好的一届,其中一般成绩和优秀成绩的实际成绩比趋势成绩分别提高了6.4s和5.4s。因为在女子参加的15届(1989~2003年)比赛中均未出现过降水天气。但微量降水对女子马拉松比赛取得好成绩也是有益的。悉尼奥运会女子马拉松比赛正好赶上小雨,天气较为凉爽,日本女运动员高桥尚子成绩是2h23min14s。赛后,业内人士普遍认为,女子马拉松比赛的成绩之所以如此好,完全得益于春雨带来的凉爽天气。

#### 2.3.5 气压与比赛成绩

气压对马拉松比赛成绩的影响不像气温、风和湿度那么显著,但也有一定的影响,主要是气压低时,人体肺内的氧分压也随之降低,血红蛋白不能饱

和,出现血氧过少的现象,运动员容易疲劳。因而气压高,有利于取得好成绩。在北京国际马拉松比赛中,气压与男子优秀运动员比赛成绩呈显著负相关,即气压越高,用时越少,成绩越好;但气压与男子一般运动员成绩的关系不显著。由此说明:运动强度越大,对气压的反应越敏感。从北京国际马拉松比赛男子优异成绩与气压散点图(图略)看出,男子优秀运动员好成绩一般出现在气压为 $1010\text{ hPa}$ 以上。女子参加的15次比赛气压均在 $1010\text{ hPa}$ 以上,气压在较适宜的范围内,加之其运动强度没有男子优秀运动员运动强度大,故气压没有成为影响比赛成绩的显著因子。

#### 2.3.6 综合气象指数与比赛成绩

男女运动员比赛成绩对综合气象要素的反应既有共性也有差异。由表1可以看出:不舒适指数与男女运动员比赛成绩均呈显著相关,且不舒适指数越高,比赛成绩越差,说明不舒适指数可以作为预测马拉松比赛成绩好坏的指示器。但风冷指数与女运动员比赛成绩关系密切,且风冷指数越小,女子优秀运动员成绩越好;舒适指数与男子运动员比赛成绩的相关系数大,且舒适指数越高(由舒适指数计算公式知,气温越高,舒适指数越大),比赛成绩越差。男女运动员比赛成绩对综合气象指数反映的差异进一步证实了男子运动员对热较为敏感、女子运动员对冷较为敏感的结论。

#### 2.4 适宜马拉松比赛的气象指标

由前面分析可知,气象条件对马拉松比赛成绩有一定的影响,那么,怎样的气象条件才有利于北京国际马拉松比赛取得好成绩呢?为了回答这一问题,我们根据杨贤为等<sup>[11]</sup>提出的综合指标法确定了北京国际马拉松比赛的适宜气象指标(表2)。

由前述所知,不同性别、不同水平的运动员马拉

表2 北京国际马拉松比赛各气象要素及人类生物气象综合指数的适宜指标

	相对湿度 %	气温 $^{\circ}\text{C}$	风速 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	气压 $\text{hPa}$	不适 指数	舒适 指数	风冷 指数	有效气 温指数	湿冷 指数
男子	30~60	14~16	2~4	1015~1020	57~60	57~60	400~500	9~14	32~38
女子	35~60	14~16	2~5	1015~1023	57~60	57~60	400~500	8~13	32~38

松比赛成绩与气象条件的关系紧密程度不同,但从表2可以看出,适宜他们比赛取得好成绩的主要气象影响因子的变化范围差异不大。也就是说适宜男

女运动员马拉松比赛的气象条件基本是一致的,只是不同性别不同水平的运动员对气象条件的敏感性有差异。

### 3 小结

(1) 马拉松比赛成绩受气象条件影响较大。但不同性别、不同水平选手,其最大影响值不同,其中男子优秀选手约为 12 min、男子平均水平约为 11 min、女子优秀选手为 9 min 左右。

(2) 就单个气象要素来看,气温是北京国际马拉松比赛气象成绩的理想指标之一,且气温越高,成绩越差;微量降水天气有利于马拉松比赛取得好成绩;风对优秀运动员的散热作用也很重要,在一定风速范围内风速大,有利于取得好成绩。

(3) 从人类生物气象综合指数来看,不适指数是马拉松比赛成绩最有效指示器;但对不同性别而言,舒适指数与男子比赛成绩、风冷指数与女子比赛优秀成绩有密切联系,由此说明男女运动员对不同气象要素反应的敏感程度不同。

(4) 北京国际马拉松赛中,有利于男女运动员取得好成绩的主要气象影响因子变化范围差异不大。

(5) 马拉松比赛成绩受许多气象因素的影响,因此针对不同性别或不同水平的选手选取适宜的气象参数对正确评估气象因素对马拉松比赛成绩影响非常重要。

### 参考文献

- 1 Pugh L G, Corbett J I, Johnson R H. Rectal temperature weight losses and sweating rates in marathon running. *Appl. Physiol.*, 1967, 23:347
- 2 Maughan R J. Temperature regulation during marathon competition. *Br. J. Sports Med.*, 1984, 18:257 - 260
- 3 Trapasso L M, Cooper J D. Record performances at the Boston Marathon: Biometeorological factors. *Int. J. Biometeor.*, 1989, 33(4):233 - 237
- 4 常国刚,朱富康.北京国际马拉松赛的气象条件分析. *北京气象*, 1991, (2):7 - 12
- 5 Zhang Suping, Meng Guanglin, Wang Yanwen, et al. Study of relationship between weather condition and the malathon race, and meteorotropic effects on distance runners. *Int. J. Biometeor.*, 1992, 36(2):63 - 68
- 6 赵国雄.气象因素对马拉松比赛成绩的影响. *湖北气象*, 1998, (3):26 - 28
- 7 吴兑,邓雪娇.环境气象学与特种气象预报.北京:气象出版社, 2001.167 - 174
- 8 施能,陈家其,屠其璞.中国近 100 年来 4 个年代际气候变化特征. *气象学报*, 1995, 53(4):431 - 439
- 9 张书余.医疗气象预报基础.北京:气象出版社,1999.38
- 10 夏廉博.人类生物气象学.北京:气象出版社,1986.98
- 11 杨贤为,黄朝迎,张强.东北春玉苣荬生长发育气象条件的适应性分析. *气象*, 1993, 19(10):25 - 28

## Relationship between Weather Conditions and Athletes' Performance in Beijing International Marathon

Ye Dianxiu Song Yanling Zhang Qiang

(Laboratory for Climate Studies, CMA, Beijing 100081)

**Abstract:** By means of the data on athletes' performance in Beijing International Marathons from 1981 to 2003 and the daily or hourly meteorological data during the same time period, the relationships between athletes' performance in the marathons (both men and women) and weather conditions were analyzed quantitatively. The results show that weather factors have a great influence on the athletes' performance in the marathons: about 9 to 12 minutes. The correlation between temperature and athletes' performance is significant. The higher the air temperature is, the worse the performance. Drizzle benefits for acquiring better results. The comfort index is a good indicator of marathon performance for men athletes, and the wind-chill index for women.

**Key words:** marathon, meteorological factor, athletes' performance