

田径科技动态

2022 年第 7~8 期

2022 年 08 月编辑发行

中国田径协会

国家体育总局体育科学研究所 合编

- 刘嘉伟: 2022 尤金世锦赛田径 100m 项目比赛成绩研究-----1
- 刘嘉伟: 2022 尤金世锦赛田径跳高项目比赛成绩研究-----9
- 卢巧配: 2022 尤金世锦赛女子 20Km 竞走项目比赛分段特征研究----15
- 路明月: 国内外女子 10000 m 优秀运动员配速策略分析-----22
- 陈栋: 世锦赛女子铁饼冠军冯彬投掷技术运动学特征研究-----34

2022 尤金世锦赛田径 100m 项目比赛成绩研究

刘嘉伟、苑廷刚、韩鹏鹏 国家体育总局体育科学研究所

1.男子 100m 比赛成绩研究

1.1 多哈世锦赛(2019 年)与尤金世锦赛(2022 年)整体水平对比

对比 2019 年与 2022 年该项目的赛前室外最好成绩 TOP10 可以明确尤金世锦赛该项目整体实力和竞争水平,以及明确该项目的发展现状。从图 1-1 可以看出,2022 年($9.85\pm0.04s$)男子 100m 项目整体水平较 2019 年($9.90\pm0.06s$)有所提高,赛季最佳成绩两年度均为 9.76s,但 2022 年赛季第二好成绩较 2019 年快 0.05s,并且赛季十佳成绩均 $\leq 9.90s$,整体上较 2019 年快约 0.05s。可以看出 2022 年尤金世锦赛男子 100m 项目整体实力更高、竞争更加激烈,并且反映出男子 100m 项目正在逐步提升过程中。

将 2022 年中国男子 100m 项目室外十佳成绩与世界水平进行对比(表 1-1),首先可以看出,中国 TOP10 平均成绩为 $10.31\pm0.08s$ 、运动员平均年龄为 24 ± 4 岁;其次,对比 2022 年世界水平,中国整体实力上存在约 0.46s 的巨大差距、较 2019 年世界水平,中国整体实力上存在约 0.41s 的差距,说明

中国男子 100m 项目的发展仍然任重道远，与世界水平差距较多。

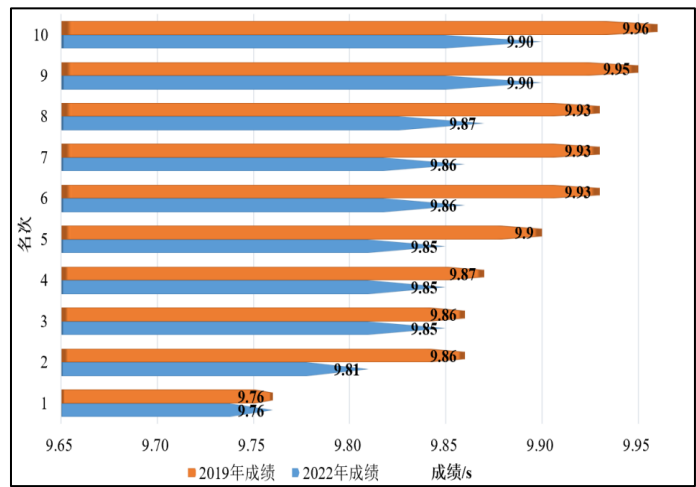


图 1-1 2019 与 2022 年男子 100m 世界室外十佳成绩对比

表 1-1 2022 年中国男子 100m 室外前十佳成绩

排名	运动员	年龄	成绩/s	风速(m/s)
1	苏炳添	33	10.15	+0.1
2	王爽	18	10.23	+0.7
3	谢震业	29	10.27	-0.1
4	吴智强	28	10.28	-0.6
4	石雨豪	24	10.28	+1.0
6	陈冠峰	22	10.32	+0.2
7	代辰帅	22	10.36	-0.5
8	张任杰	22	10.37	-0.5
9	王胜杰	22	10.38	-0.8
10	陆伟一	22	10.39	+1.0
10	莫有雪	26	10.39	0.4
Mean±SD		24±4	10.31±0.08	

1.2 尤金世锦赛男子 100m 项目小组赛成绩研究

表 1-2 体现小组赛后进入半决赛的人员名单，可以看出在 2022 年尤金世锦赛中要想进入男子 100m 半决赛，达到平均成绩 10.04s 较为稳妥，这一成绩对于 2022 年中国男子 100m 赛季最佳成绩来说无人可以达到，中国 TOP10 整体与之相差 0.27s。小组赛中共 7 名运动员打开 10s(平均成绩 9.93s)，其中美国选手 Fred KERLEY 更是跑出 9.79s 的极佳成绩，再度体现出该项目竞争激烈程度。在进入半决赛的名单中 24 名运动员平均年龄在 26 岁左右，最为年轻的运动员是来自博兹瓦纳的 LetsileTEBOGO 年仅 19 岁，年纪最大的是来自牙买加的 Yohan BLAKE 和中国运动员苏炳添，2 人均已达 33 岁，从年龄层面分析中国运动员处在新老交替、新星崛起的时代，中国 TOP10 平均年龄为 24 岁，在年龄方面仍具有进一步提升运动水平的空间。

表 1-2 男子 100m 进入半决赛成绩单

排名	运动员	国家	年龄	成绩/s	风速/(m/s)
1	Fred KERLEY	美国	27.00	9.79	+0.1
2	Trayvon BROMELL	美国	27.00	9.89	+0.6
3	Oblique SEVILLE	牙买加	21.00	9.93	+0.2
4	Letsile TEBOGO	博茨瓦纳	19.00	9.94	+1.1
5	Zharnel HUGHES	英国	27.00	9.97	+0.1
6	Abdul Hakim SANI BROWN	日本	23.00	9.98	-0.3
7	Emmanuel MATADI	利比里亚	31.00	9.99	+0.1
8	Favour Oghene Tejiri ASHE	尼日利亚	20.00	10.00	+0.1
9	Arthur Cisse	科特迪瓦	26.00	10.02	+0.6
10	Lamont Marcell JACOBS	意大利	28.00	10.04	+0.2
11	Yohan BLAKE	牙买加	33.00	10.04	+1.1
12	Marvin BRACY	美国	29.00	10.05	-0.1
13	Aaron BROWN	加拿大	30.00	10.06	+1.1
14	Akani SIMBINE	南非	29.00	10.07	+1.1
15	Christian COLEMAN	美国	26.00	10.08	+0.5
16	Edward OSEI-NKETIA	新西兰	21.00	10.08	-0.3
17	Ferdinand OMANYALA	肯尼亚	26.00	10.10	-0.3
18	Rodrigo DO NASCIMENTO	巴西	28.00	10.11	+0.6
19	Andre DE GRASSE	加拿大	28.00	10.12	+0.5
20	Ryuichiro SAKAI	日本	24.00	10.12	+0.2
21	Bingtian SU	中国	33.00	10.15	+0.1
22	Ackee Blake	牙买加	21.00	10.15	-0.1
23	Raymond EKEVWO	尼日利亚	23.00	10.17	-0.1
24	Erik CARDOSO	巴西	22.00	10.18	+0.5
Mean±SD			26±4	10.04±0.09	

1.3 尤金世锦赛男子 100m 项目半决赛成绩研究

表 1-3 男子 100m 半决赛成绩单

排名	姓名	成绩/s	风速/(m/s)	备注
1	Oblique SEVILLE	9.90	-0.1	Q
2	Marvin BRACY	9.93	-0.1	Q
3	Akani SIMBINE	9.97	0.3	Q
4	Trayvon BROMELL	9.97	0.3	Q
5	Fred KERLEY	10.02	0.1	Q
6	Christian COLEMAN	10.05	0.1	Q
7	Abdul Hakim SANI BROWN	10.05	0.3	q
8	Aaron BROWN	10.06	-0.1	q
9	Yohan BLAKE	10.12	0.3	
10	Emmanuel MATADI	10.12	0.3	
11	Favour Oghene Tejiri ASHE	10.12	-0.1	
12	Zharnel HUGHES	10.13	0.1	
13	Ferdinand OMANYALA	10.14	-0.1	
14	Erik CARDOSO	10.15	-0.1	
15	Arthur Cisse	10.16	0.3	
16	Letsile TEBOGO	10.17	-0.1	
17	Rodrigo DO NASCIMENTO	10.19	0.3	
18	Ackee Blake	10.19	0.1	
19	Raymond EKEVWO	10.20	0.3	
20	Andre DE GRASSE	10.21	0.1	
21	Ryuichiro SAKAI	10.23	0.1	
22	Edward OSEI-NKETIA	10.29	0.1	
23	Bingtian SU	10.30	0.1	
24	Lamont Marcell JACOBS	DNS	-0.1	
Mean±SD		10.12±0.11	9.99±0.06	

2022 年尤金世锦赛男子 100m 半决赛成绩为 10.12s±0.11s，整体水平较小组赛有大幅的下降(约 0.08s)，在半决赛中进入 10s 大关的仅 4 名运动员、

较小组赛少 3 人, 成绩为 $9.94\pm0.03\text{s}$ 、较小组赛慢 0.01s 。在尤金世锦赛男子 100m 项目上进入决赛需要达到 10.05s 左右的水平, 中国 2022 年 TOP10 整体水平与之相差 0.26s 。

1.4 尤金世锦赛男子 100m 项目决赛成绩研究

从表 1-4 可以看出 2022 尤金田径世锦赛男子 100m 决赛在风速 -0.1m/s 的条件下进行, 8 名运动员平均反应时为 0.130s 、反应时最快的运动员 Christian COLEMAN 达到了 0.104s , 与抢跑判罚标准(0.100s)仅相差 0.004s , 反应时最慢的运动员为第 8 名 Aaron BROWN(0.155s); 8 名运动员平均成绩为 9.97s , 冠军 Fred KERLEY 成绩为 9.86s 、亚军及季军成绩均为 9.88s 、第 8 名成绩为 10.07s 。8 名运动员中平均年龄在 27 岁, 年龄最大的为 30 岁、最小的为 21 岁; 8 名运动员中有 4 名美国选手、其中 3 人包揽该项目前 3 名, 体现出美国在该项目上的强大实力, 另外 4 名运动员分属牙买加、南非、日本和加拿大, 需要注意的是日本在该届世锦赛上杀入决赛, 这对于中国队 2023 年亚运会的备战和比赛将构成压力及挑战。

表 1-4 2022 尤金田径世锦赛男子 100m 决赛成绩单(风速 -0.1m/s)

排名	运动员	国家	年龄	道次	成绩/s	反应时/s	Corrected time/s
1	Fred KERLEY	美国	27	4	9.86	0.119	9.86
2	Marvin BRACY	美国	29	3	9.88	0.118	9.88
3	Trayvon BROMELL	美国	27	8	9.88	0.110	9.88
4	Oblique SEVILLE	牙买加	21	6	9.97	0.154	9.97
5	Akani SIMBINE	南非	29	5	10.01	0.129	10.01
6	Christian COLEMAN	美国	26	7	10.01	0.104	10.01
7	Abdul Hakim SANI BROWN	日本	23	1	10.06	0.147	10.06
8	Aaron BROWN	加拿大	30	2	10.07	0.155	10.07
Mean $\pm$ SD			27 $\pm$ 3		9.97 $\pm$ 0.08	0.130 $\pm$ 0.02	9.97 $\pm$ 0.08

注: Corrected time(修正成绩)为排除比赛所在地海拔高度和风速影响, 通过计算得出的 0 海拔高度、0 风速条件下的成绩。

表 1-5 2019 多哈田径世锦赛男子 100m 决赛成绩单(风速 $+0.6\text{m/s}$)

排名	运动员	国家	年龄	道次	成绩/s	反应时/s	Corrected time/s
1	Christian COLEMAN	美国	23	4	9.76	0.128	9.79
2	Justin GATLIN	美国	37	3	9.89	0.148	9.92
3	Andre DE GRASSE	加拿大	25	6	9.90	0.140	9.93
4	Akani SIMBINE	南非	26	5	9.93	0.117	9.96
5	Yohan BLAKE	牙买加	30	8	9.97	0.142	10.00
6	Zharnel HUGHES	英国	24	7	10.03	0.119	10.06
7	Filippo TORTU	意大利	21	2	10.07	0.158	10.10
8	Aaron BROWN	加拿大	27	9	10.08	0.155	10.11
Mean $\pm$ SD			27 $\pm$ 5		9.95 $\pm$ 0.11	0.138 $\pm$ 0.02	9.99 $\pm$ 0.11

对比赛前 2022 年世界十佳成绩来看, 尤金世锦赛决赛冠军成绩 9.86s 仅能排到第 6-8 位, 决赛平均水平 9.97s 与赛前 2022 年世界十佳成绩相差 0.12s ,

决赛也仅有 4 名运动员进入 10s(平均成绩 9.90s)。男子 100m 三个比赛轮次中最佳成绩为预赛中美国运动员 Fred KERLEY 创造的 9.79s, 决赛冠军成绩与之相差 0.07s。由于尤金所处海拔高度为 130m、决赛时风速为 -0.1m/s, 所以修正成绩与官方成绩在百分位上没有差异。

将 2022 年尤金世锦赛男子 100m 决赛成绩与 2019 年多哈世锦赛决赛成绩进行对比, 首先可以看出, 决赛中美国选手数量由 2019 年的 2 人增长至 2022 年的 4 人, 说明美国在该项目上的整体实力水平强劲且在逐年提高; 其次 2 次世锦赛决赛中, 运动员的平均年龄均为 27 岁, 说明男子 100m 运动员在 27 ± 4 岁中能达到个人最佳水平; 此外, 2019 年多哈世锦赛所出海拔高度为 14m、风速为 +0.6m/s, 修正成绩较官方成绩在百分位上慢 0.03s, 对比两次比赛修正成绩 2022 年决赛平均水平较 2019 年有所提高(约 0.02s), 冠军成绩上 2019 年较 2022 年快 0.07s, 但第 8 名成绩上 2019 年较 2022 年慢 0.04s, 说明 2022 年尤金田径世锦赛男子 100m 决赛竞争更加激烈、项目整体水平更高。

2. 女子 100m 比赛成绩研究

2.1 多哈世锦赛(2019 年)与尤金世锦赛(2022 年)整体水平对比

对比 2019 年与 2022 年该项目的赛前室外最好成绩 TOP10 可以明确尤金世锦赛该项目整体实力和竞争水平, 以及明确该项目的发展现状。从图 2-1 可以看出, 2022 年(10.81 ± 0.06 s)女子 100m 项目整体水平较 2019 年(10.87 ± 0.11 s)有所提高, 赛季最佳成绩上 2022 年(10.67s)较 2019 年(10.74s)快 0.07s, 2022 年赛季十佳成绩均 ≤ 10.90 s, 整体上较 2019 年快约 0.06s。可以看出 2022 年尤金世锦赛女子 100m 项目竞争激烈程度和整体水平更高, 此外体现出该项目整体实力得到了快速的提高。

将 2022 年中国女子 100m 项目室外十佳成绩与世界水平进行对比(表 2-1), 首先可以看出, 中国 TOP10 平均成绩为 11.49 ± 0.20 s, 成绩离散值较大, 即 10 人中成绩水平有明显的差距, 运动员平均年龄为 24 ± 3 岁; 其次, 对比 2022 年世界水平, 中国整体实力上存在约 0.68s 的巨大差距、较 2019 年世界水平, 中国整体实力上存在约 0.62s 的差距, 说明中国女子 100m 项目的发展与女子 100m 项目相同, 都有很长的路要走, 仍需砥砺前行。

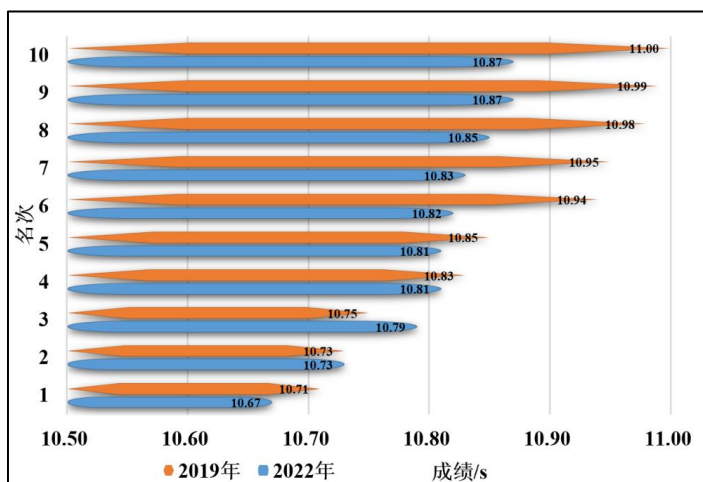


图 2-1 2019 与 2022 年女子 100m 世界室外十佳成绩对比

表 2-1 2022 年女子 100m 中国室外十佳成绩

排名	运动员	年龄	成绩/s	风速/(m/s)
1	葛曼棋	25	11.11	+0.2
2	梁小静	25	11.18	+0.9
3	李贺	21	11.43	+1.8
4	刘群	25	11.51	+1.8
5	冯璐璐	22	11.54	+0.9
6	韦永丽	31	11.56	+0.4
7	林雨薇	23	11.58	-0.6
8	丁超	26	11.64	+0.9
9	马慧欣	19	11.68	+0.8
10	张曼	25	11.70	+0.8
Mean±SD		24±3	11.49±0.20	

2.2 尤金世锦赛女子 100m 项目小组赛成绩研究

表 2-2 体现小组赛进入半决赛的人员名单，可以看出在 2022 年尤金世锦赛中要想进入女子 100m 半决赛，达到平均成绩 11.15s 较为稳妥，这一成绩对于 2022 年中国女子 100m 赛季最佳成绩来说仅葛曼棋(11.11s)和梁小静(11.18s)有实力达到，葛曼棋在小组赛中也通过 11.17s 的成绩闯入半决赛，中国 TOP10 整体与之相差 0.34s。小组赛中共 6 名运动员打开 11s(平均成绩 10.92s)，其中英国选手 Dina ASHER-SMITH 和牙买加选手 Shelly-Ann FRASER-PRYCE 分别跑出 10.84s 和 10.87s 的成绩。在进入半决赛的名单中 24 名运动员平均年龄在 27 岁左右，最为年轻的运动员 21 岁、年纪最大的是来自牙买加的 Shelly-Ann FRASER-PRYCE (36 岁)，从年龄层面分析中国 TOP10 平均年龄为 24 岁，与世锦赛半决赛平均年龄相差 3 岁，在年龄上看中国运动员仍均有较大的发展空间。

表 2-2 女子 100m 进入半决赛成绩单

排名	运动员	国家	年龄	成绩/s	风速/(m/s)
1	Dina ASHER-SMITH	英国	27	10.84	+1.2
2	Shelly-Ann FRASER-PRYCE	牙买加	36	10.87	-0.2
3	Marie-Josée TA LOU	科特迪瓦	34	10.92	+0.8
4	Daryll NEITA	英国	26	10.95	-0.2
5	Twanisha TERRY	美国	23	10.95	+0.8
6	Mujinga KAMBUNDJI	瑞士	30	10.97	-0.1
7	Shericka JACKSON	牙买加	28	11.02	+0.7
8	Melissa JEFFERSON	美国	21	11.03	-0.1
9	Aleia HOBBS	美国	26	11.04	+0.1
10	Julien ALFRED	圣卢西亚	21	11.05	+1.2
11	Ewa SWOBODA	波兰	25	11.07	-0.1
12	Zoe HOBBS	新西兰	25	11.08	+0.7
13	Anthonique STRACHAN	巴哈马	29	11.08	+0.7
14	Aminatou SEYNI	尼日利亚	26	11.09	+1.2
15	Gina LÜCKENKEMPER	德国	26	11.09	-0.2
16	Kemba NELSON	牙买加	22	11.10	+0.8
17	Elaine THOMPSON-HERAH	牙买加	30	11.15	+0.2
18	TyNia GAITHER	巴哈马	29	11.16	-0.2
19	Nzubechi Grace NWOKOCHA	尼日利亚	21	11.16	+0.2
20	Murielle AHOURÉ-DEMPS	科特迪瓦	35	11.16	+1.2
21	Manqi GE	中国	25	11.17	-0.2
22	Michelle-Lee AHYE	特立尼达和多巴哥	30	11.18	+0.1
23	Zaynab DOSSO	意大利	23	11.26	+0.2
24	Edidiong Ofinome ODIONG	文莱	25	11.28	+0.1
Mean±SD			27±4	11.07±0.11	

2.3 尤金世锦赛女子 100m 项目半决赛成绩研究

表 2-3 女子 100m 半决赛成绩单

排名	运动员	成绩/s	反应时/s	成绩/s
1	Elaine THOMPSON-HERAH	10.82	0.128	-0.2m/s
2	Shericka JACKSON	10.84	0.128	-0.2m/s
3	Marie-Josée TA LOU	10.87	0.159	-0.2m/s
4	Dina ASHER-SMITH	10.89	0.143	-0.2m/s
5	Melissa JEFFERSON	10.92	0.140	-0.2m/s
6	Shelly-Ann FRASER-PRYCE	10.93	0.153	+0.4m/s
7	Aleia HOBBS	10.95	0.160	+0.4m/s
8	Mujinga KAMBUNDJI	10.96	0.131	-0.2m/s
9	Daryll NEITA	10.97	0.157	+0.4m/s
10	Anthonique STRACHAN	10.98	0.119	-0.2m/s
11	Twanisha TERRY	11.04	0.150	-0.2m/s
12	Ewa SWOBODA	11.08	0.126	-0.2m/s
13	Gina LÜCKENKEMPER	11.08	0.182	+0.4m/s
14	Manqi GE	11.13	0.132	-0.2m/s
15	Zoe HOBBS	11.13	0.151	+0.4m/s
16	Nzubechi Grace WOKOCHA	11.16	0.139	-0.2m/s
17	Aminatou SEYNI	11.21	0.194	-0.2m/s
18	Michelle-Lee AHYE	11.24	0.120	+0.4m/s
19	Kemba NELSON	11.25	0.159	-0.2m/s
20	Murielle AHOURÉ-DEMPS	11.25	0.123	-0.2m/s
21	Zaynab DOSSO	11.28	0.163	+0.4m/s
22	Edidiong Ofinome ODIONG	11.56	0.158	-0.2m/s
23	Julien ALFRED	DQ	0.095	-0.2m/s
24	TyNia GAITHER	DQ	0.093	+0.4m/s
Mean±SD		11.07±0.18	0.142±0.02	

尤金世锦赛女子 100m 半决赛成绩为 $11.07s \pm 0.18s$ ，平均成绩与小组赛相同，但在半决赛中进入 11s 大关的有 10 名运动员(平均成绩 10.91s)、进入 10.90s 的有 4 名运动员(平均成绩 10.86s)。在尤金世锦赛女子 100m 项目上进入决赛需要达到 11.20s 左右的水平，中国 2022 年 TOP10 整体水平与之相差 0.29s。

2.4 尤金世锦赛女子 100m 项目决赛成绩研究

从表 2-4 可以看出 2022 尤金田径世锦赛女子 100m 决赛在风速+0.8m/s 的条件下进行，8 名运动员平均反应时为 0.142s、反应时最快的运动员为英国选手 Dina ASHER-SMITH(0.116s)、反应时最慢的运动员为科特迪瓦选手 Marie-Josée TA LOU (0.150s)；8 名运动员平均成绩为 10.85s，冠军 Shelly-Ann FRASER-PRYCE 成绩为 10.67s、亚军 Shericka JACKSON 成绩为 10.73s 及季军 Elaine THOMPSON-HERAH 成绩均为 10.81s、第 8 名成绩为 11.03s。8 名运动员中平均年龄在 29 岁，年龄最大的为 36 岁、最小的为 21 岁；8 名运动员中有 3 名牙买加选手且包揽该项目前 3 名，体现出牙买加在女子 100m 项目上的统治力，另外 5 名运动员中 2 人来自美国，其他 3 人分属美国、瑞士和科特迪瓦。

表 2-4 2022 尤金田径世锦赛女子 100m 决赛成绩单(风速+0.8m/s)

排名	运动员	国家	年龄	道次	成绩/s	反应时/s	Corrected time/s
1	Shelly-Ann FRASER-PRYCE	牙买加	36	6	10.67	0.137	10.72
2	Shericka JACKSON	牙买加	28	3	10.73	0.134	10.78
3	Elaine THOMPSON-HERAH	牙买加	30	4	10.81	0.149	10.86
4	Dina ASHER-SMITH	英国	27	8	10.83	0.116	10.88
5	Mujinga KAMBUNDJI	瑞士	30	1	10.91	0.122	10.96
6	Aleia HOBBS	美国	26	7	10.92	0.145	10.97
7	Marie-Josée TA LOU	科特迪瓦	34	5	10.93	0.150	10.98
8	Melissa JEFFERSON	美国	21	2	11.03	0.136	11.08
Mean±SD			29±5		10.85±0.12	0.136±0.01	10.90±0.12

对比赛前 2022 年世界十佳成绩来看，尤金世锦赛女子 100m 决赛平均水平较之相差 0.04s。女子 100m 三个比赛轮次中决赛 3 名平均年龄为 31 岁牙买加运动员创造的成绩为最佳的三个成绩，其中 36 岁的 Shelly-Ann FRASER-PRYCE 更是跑出 10.67s。由于尤金所处海拔高度为 130m、决赛时风速为+0.8m/s，所以修正成绩与官方成绩在百分位上相差 0.05s，决赛修正成绩均值为 $10.90 \pm 0.12s$ 。

表 2-5 2019 多哈田径世锦赛女子 100m 决赛成绩单(风速+0.1m/s)

排名	运动员	国家	年龄	道次	成绩/s	反应时/s	Corrected time/s
1	Shelly-Ann FRASER-PRYCE	牙买加	36	6	10.71	0.134	10.71
2	Dina ASHER-SMITH	英国	27	7	10.83	0.129	10.83
3	Marie-Josée TA LOU	科特迪瓦	24	4	10.90	0.171	10.90
4	Elaine THOMPSON	牙买加	30	5	10.93	0.143	10.93
5	Murielle AHOURÉ	科特迪瓦	35	8	11.02	0.142	11.02
6	Jonielle SMITH	牙买加	26	9	11.06	0.117	11.06
7	Teahna DANIELS	美国	25	3	11.19	0.156	11.19
	Dafne SCHIPPERS	荷兰	30	2	DNS		
Mean±SD			26±4		10.95±0.16	0.142±0.02	10.95±0.16

将 2022 年尤金世锦赛女子 100m 决赛成绩与 2019 年多哈世锦赛决赛成绩进行对比, 首先可以看出, 2 场决赛中牙买加运动员均为 3 人, 但在 2022 年 3 名队员包揽前三名; 其次 2 次世锦赛决赛中, 2019 年运动员的平均年龄均为 26 岁, 较 2022 年决赛平均年龄小 3 岁, 说明女子 100m 运动员运动寿命较长、能在大年龄(28 岁以上)仍取得优异成绩; 此外, 2019 年多哈世锦赛所出海拔高度为 14m、风速为+0.1m/s, 修正成绩较官方成绩在百分位上不存在差异, 对比两次比赛修正成绩 2022 年决赛平均水平较 2019 年有所提高(约 0.05s), 冠军成绩上 2019 年较 2022 年快 0.01s, 但第 8 名成绩上 2019 年较 2022 年慢 0.08s, 说明 2022 年尤金田径世锦赛女子 100m 在保持竞争激烈程度的基础上整体水平进一步提升。

2022 尤金世锦赛田径跳高项目比赛成绩研究

刘嘉伟、苑廷刚、龚旭阳 国家体育总局体育科学研究所

一、跳高项目比赛成绩研究

(一)男子跳高比赛成绩研究

1 多哈世锦赛(2019 年)与尤金世锦赛(2022 年)整体水平对比

对比 2019 年与 2022 年该项目的赛前室外最好成绩 TOP10 可以明确尤金世锦赛该项目整体实力和竞争水平, 以及明确该项目的发展现状。从图 1-

1 可以看出, 2022 年和 2019 年男子跳高项目整体水平较为相同, 成绩均为 $2.33\pm 0.02\text{m}$, 赛季最佳成绩均是有卡塔尔名将 Mutaz Essa BARSHIM 创造的 2.37m 。可以看出, 世界男子跳高在 2019-2022 年度整体实力持续保持在较高水平。

将 2022 年中国男子跳高项目室外十佳成绩与世界水平进行对比(表 1-1), 首先可以看出, 中国 TOP10 平均成绩为 $2.19\pm 0.04\text{m}$ 、运动员平均年龄为 21 ± 2 岁; 其次, 对比 2022 年和 2019 年世界水平, 中国整体实力上存在约 0.14m 的差距, 说明中国男子跳高项目整体实力与世界水平相差较大。

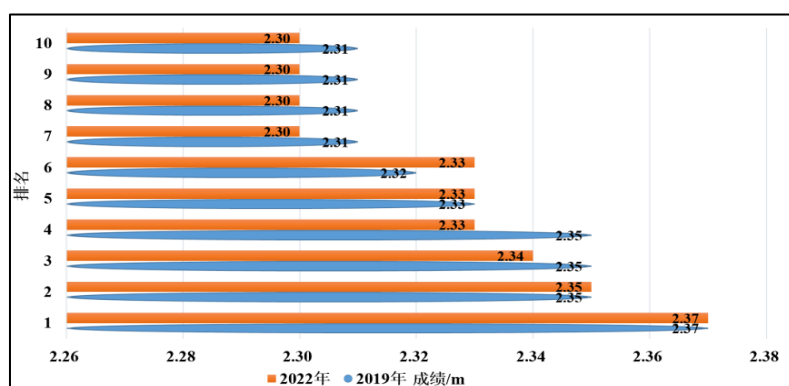


图 1-1 2019 与 2022 年男子跳高世界室外十佳成绩对比

表 1-1 2022 年男子跳高中国室外十佳成绩

排名	成绩/m	运动员	年龄
1	2.25	武国彪	20
2	2.24	李佳伦	27
3	2.20	王振	21
4	2.20	张昊	23
5	2.20	陈龙	20
6	2.20	王鑫宇	19
7	2.15	司佳鑫	19
8	2.15	郑欧坤	21
9	2.15	马佳	20
10	2.15	段玉航	22
Mean±SD	2.19±0.04		21±2

2 尤金世锦赛男子跳高项目资格赛成绩研究

表 1-2 体现资格赛后进入决赛的人员名单, 可以看出在 2022 年尤金世锦赛中要想进入男子跳高决赛, 至少需要达到 2.25m 的水平, 这一成绩对于 2022 年中国男子跳高赛季最佳成绩来说武国彪(2.25m)和李佳伦(2.24m)有能力冲击, 中国 TOP10 整体与之相差 0.06m 。在进入决赛的名单中 13 名运动员平均年龄在 28 岁左右, 最为年轻的运动员是来自美国的选手 Shelby

MCEWEN 年仅 23 岁，年纪最大的是来自乌克兰的运动员 Andriy PROTSENKO，年龄已达 34 岁，从年龄层面分析中国运动员平均年龄 21 岁，距离跳高项目竞技水平高峰年龄仍有年头，中国跳高运动员中“00”后新星不断涌现，在 2023 年的亚运会和 2024 年的奥运会赛场上有能力取得突破。

表 1-2 男子跳高进入决赛成绩单

排名	运动员	国家	年龄	成绩/m
1	Andriy PROTSENKO	乌克兰	34	2.28
1	Django LOVETT	加拿大	30	2.28
1	Mutaz Essa BARSHIM	卡塔尔	31	2.28
1	Sanghyeok WOO	韩国	26	2.28
5	Luis Enrique ZAYAS	古巴	25	2.28
6	Tomohiro SHINNO	日本	26	2.28
7	JuVaughn HARRISON	美国	23	2.28
8	Yonathan KAPITOLNIK	以色列	20	2.28
9	Joel BADEN	澳大利亚	26	2.28
9	Shelby MCEWEN	美国	26	2.28
11	Gianmarco TAMBERI	意大利	30	2.28
12	Edgar RIVERA	墨西哥	31	2.25
12	Mateusz PRZYBYLKO	德国	30	2.25
Mean±SD			28±4	2.28±0.01

3 尤金世锦赛男子跳高项目决赛成绩研究

从表 1-3 可以看出 2022 尤金田径世锦赛男子跳高决赛中 13 名运动员的比赛情况，所有选手在第一试跳高度 2.19m 上均顺利通过；在第二试跳高度 2.24m 上墨西哥选手 Edgar RIVERA 未能通过，试跳成功率为 25%；在第三试跳高度 2.27m 上，德国选手 Mateusz PRZYBYLKO 和以色列选手 Yonathan KAPITOLNIK 三次试跳均未能通过，试跳成功率分别为 44.44%和 66.67%；在第四试跳高度 2.30m 上，共有 5 名运动员试跳失败，试跳成功率分别为 50%、62.50%、50%、70%和 70%；在第五试跳高度 2.33m 上，美国选手 Shelby MCEWEN 在 2 次试跳失败后选择试跳 2.35m，最终仍未能通过，试跳成功率为 80%；第六试跳高度 2.35m 上，意大利选手 Gianmarco TAMBERI 和乌克兰选手 Andriy PROTSENKO 未能顺利通过，试跳成功率均为 63.89%；第七试跳高度 2.37m 上韩国选手 Sanghyeok WOO 在 1 次试跳失败后，2 次挑战 2.39m 未能通过，试跳成功率为 69.05%，冠军选手 Mutaz Essa BARSHIM 一次试跳 2.39m 成功，最终挑战 2.42m 在一次失败后没有在进行尝试，值得注意的是，BARSHIM 从 2.24m 的高度开始起跳，直到最终 2.37m 多的冠军，6 次高度试跳均为一次通过，体现出惊人的技术稳定性和强大的实力水平。

将 2022 年尤金世锦赛男子跳高决赛成绩与 2019 年多哈世锦赛决赛成绩进行对比, 首先可以看出, 2022 年较 2019 年的决赛年龄平均值小 2 岁, 说明男子跳高项目上年龄较低的运动员开始逐渐取得较高的运动成绩; 此外, 对比两次比赛成绩 2022 年决赛平均水平较 2019 年低约 0.01m, 冠军成绩均为卡塔尔选手 Mutaz Essa BARSHIM 的 2.37m, 最后一名成绩上 2019 年与 2022 相同、均为 2.19m, 体现 2019 年多哈世锦赛和 2022 年尤金世锦赛男子跳高项目整体实力水平保持稳定, 没有明显的波动, 竞争水平持续保持在高位。

表 1-3 2022 年尤金田径世锦赛男子跳高决赛成绩单/m

名次	运动员	国家	年龄	成绩	2.19	2.24	2.27	2.30	2.33	2.35	2.37	2.39	2.42
1	Mutaz Essa BARSHIM	卡塔尔	31	2.37	-	O	O	O	O	O	O	-	X
2	Sanghyeok WOO	韩国	26	2.35	O	O	O	O	XXO	XO	X-	XX	
3	Andriy PROTSENKO	乌克兰	34	2.33	XO	O	XXO	O	O	XX-	X		
4	Gianmarco TAMBERI	意大利	30	2.33	O	O	O	XXO	XO	XXX			
5	Shelby MCEWEN	美国	26	2.30	O	O	O	O	XX-	X			
6	Django LOVETT	加拿大	30	2.27	O	O	O	XXX					
6	Luis Enrique ZAYAS	古巴	25	2.27	O	O	O	XXX					
8	Tomohiro SHINNO	日本	26	2.27	XO	XO	O	XXX					
9	JuVaughn HARRISON	美国	23	2.27	O	O	XO	XXX					
10	Joel BADEN	澳大利亚	26	2.27	O	XO	XO	XXX					
11	Yonathan KAPITOLNIK	以色列	20	2.24	O	O	XXX						
12	Mateusz PRZYBYLKO	德国	30	2.24	O	XXO	XXX						
13	Edgar RIVERA	墨西哥	31	2.19	XO	XXX							
Mean±SD				28±4	2.28±0.05								

表 1-4 2019 年多哈田径世锦赛男子跳高决赛成绩单/m

名次	运动员	国家	年龄	成绩	2.19	2.24	2.27	2.3	2.33	2.35	2.37
1	Mutaz Essa BARSHIM	卡塔尔	31	2.37	O	O	O	O	XXO	O	O
2	Mikhail AKIMENKO	俄罗斯	27	2.35	O	O	O	O	O	O	XXX
3	Ilya IVANYUK	俄罗斯	29	2.35	O	O	O	O	XXO	O	XXX
4	Maksim NEDASEKAU	白俄罗斯	24	2.33	O	XO	XO	XO	O	X-	XX
5	Luis Enrique ZAYAS	古巴	25	2.3	O	O	O	O	XXX		
6	Brandon STARC	澳大利亚	29	2.3	O	XO	XXO	O	XXX		
7	Michael MASON	加拿大	36	2.3	O	O	O	XXO	XXX		
8	Gianmarco TAMBERI	意大利	30	2.27	O	O	XO	X-	XX		
8	Hup Wei LEE	马来西亚	35	2.27	O	O	XO	XXX			
10	Yu WANG	中国	31	2.24	O	O	XXX				
11	Jeron ROBINSON	美国	31	2.24	XO	O	XXX				
12	Luis CASTRO RIVERA	波多黎各	31	2.19	O	XXX					
Mean±SD				30±4	2.29±0.05						

二、女子跳高比赛成绩研究

1 多哈世锦赛(2019 年)与尤金世锦赛(2022 年)整体水平对比

对比 2019 年与 2022 年该项目的赛前室外最好成绩 TOP10 可以明确尤金世锦赛该项目整体实力和竞争水平, 以及明确该项目的发展现状。从图 2-1 可以看出, 2022 年(1.98±0.03m)女子跳高项目整体水平较 2019 年

(2.01±0.03m)有所降低，赛季最佳成绩上 2022 年较 2019 年低 0.03m，整体上 2022 年较 2019 年低约 0.03m，且 2019 年前 10 名成绩均高于 2022 年，说明女子跳高水平在 2022 年有所下降、整体实力水平较低。

将 2022 年中国女子跳高项目室外十佳成绩与世界水平进行对比(表 2-1)，首先可以看出，中国 TOP10 平均成绩为 1.80±0.06m、运动员平均年龄为 22±3 岁；其次，对比 2022 年世界水平，中国整体实力上存在约 0.18m 的巨大差距、较 2019 年世界水平，中国整体实力上存在约 0.21m 的差距，说明中国女子跳高项目整体实力与世界水平相差较大。

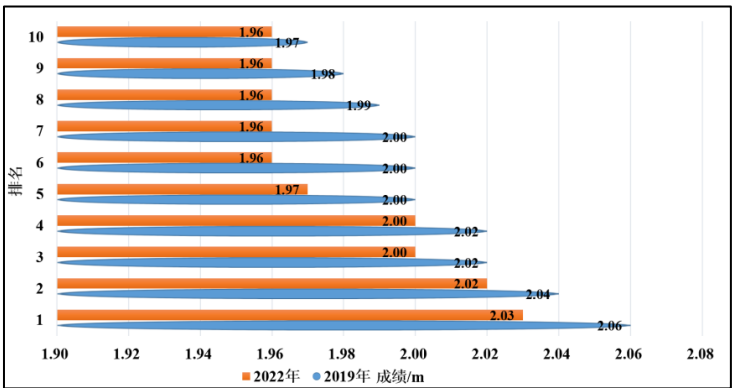


图 2-1 2019 与 2022 年女子跳高世界室外十佳成绩对比

表 2-1 2022 年女子跳高中国室外十佳成绩

排名	成绩/m	运动员	年龄
1	1.91	陆佳雯	20
2	1.87	邵雨琪	20
3	1.85	邓思艺	25
4	1.80	容慧彬	19
5	1.80	陈芷颖	23
6	1.78	刘胥毅	28
7	1.75	迪娜·奴尔兰	24
8	1.75	叶雯琪	18
9	1.75	夏煜琳	22
10	1.75	刘鹭	17
Mean±SD	1.80±0.06		22±3

2 尤金世锦赛女子跳高项目资格赛成绩研究

表 1-2 体现资格赛后进入决赛的人员名单，可以看出在 2022 年尤金世锦赛中要想进入女子跳高半决赛，需要达到 1.90m 的高度水平，这一成绩对于 2022 年中国女子跳高赛季最佳成绩来说仅有陆佳雯(1.91m)可以达到，中国 TOP10 整体与 4.50m 的水平相差 0.10m。在进入决赛的名单中 12 名运动

员平均年龄在 25 岁左右,最为年轻的运动员是来自爱沙尼亚的选手 Karmen BRUUS 年仅 17 岁,年纪最大的是来自罗马尼亚的运动员 Daniela STANCIU, 年龄已达 35 岁,从年龄层面分析中国运动员平均年龄 22 岁,距离达到女子跳高竞技水平高峰的平均年龄仍有差距,运动水平提升具有一定空间。

表 1-2 女子跳高进入决赛成绩单

排名	运动员	国家	年龄	成绩
1	Eleanor PATTERSON	澳大利亚	26	1.93
1	Elena VALLORTIGARA	意大利	31	1.93
1	Iryna GERASHCHENKO	乌克兰	27	1.93
1	Safina SADULLAYEVA	乌兹别克斯坦	24	1.93
1	Yaroslava MAHUCHIKH	乌克兰	21	1.93
6	Daniela STANCIU	罗马尼亚	35	1.93
6	Karmen BRUUS	爱沙尼亚	17	1.93
8	Nadezhda DUBOVITSKAYA	哈萨克斯坦	24	1.93
9	Nicola OLYSLAGERS	澳大利亚	26	1.93
10	Lamara DISTIN	牙买加	22	1.90
10	Kimberly WILLIAMSON	牙买加	29	1.90
10	Lia APOSTOLOVSKI	斯洛文尼亚	22	1.90
Mean±SD			25±5	1.92±0.01

3 尤金世锦赛女子跳高项目决赛成绩研究

从表 2-3 可以看出 2022 尤金田径世锦赛女子跳高决赛中 12 名运动员的比赛情况, 12 名运动员在 1.84m 和 1.89m 两个高度均全员通过, 在第三试跳高度 1.93m 上, 斯洛文尼亚运动员 Lia APOSTOLOVSKI 和牙买加运动员 Kimberly WILLIAMSON 三次试跳均失败, 试跳成功率分别为 50%和 66.67%; 在第四试跳高度上 1.96m 上, 罗马尼亚运动员 Daniela STANCIU 和牙买加运动员 Lamara DISTIN 未能通过, 试跳成功率分别为 20.83%和 75%; 第五试跳高度 1.98m 上, 共有 4 名运动员在该高度止步不前, 试跳成功率分别为 43.33%、50%、80%和 80%; 第六试跳高度 2.00m 上, 剩余 4 名运动员均顺利通过; 在第七试跳高度 2.02m 上, 第 4 名 Iryna GERASHCHENKO 和第 3 名 Elena VALLORTIGARA 三次试跳失败, 试跳成功率分别为 71.43%和 85.71%; 在第八试跳高度 2.04m 上, 亚军 Yaroslava MAHUCHIKH 和冠军 Eleanor PATTERSON 均未能通过, 试跳成功率分别为 75%和 72.92%。

将 2022 年尤金世锦赛女子跳高决赛成绩与 2019 年多哈世锦赛决赛成绩进行对比, 首先可以看出, 2022 年较 2019 年的决赛年龄平均值小 4 岁, 说明女子跳高项目上运动员呈现低年龄高水平的趋势; 此外, 对比两次比赛成绩 2022 年决赛平均水平较 2019 年提高约 0.01m, 冠军成绩上 2019 年较

2022 年高 0.02m，且最后一名成绩上 2019 年与 2022 年均为 1.89m，体现出与男子跳高相同，女子跳高项目在 2019-2022 年中整体实力保持稳定。

表 2-3 2022 年尤金田径世锦赛女子跳高决赛成绩单/m

名次	运动员	国家	年龄	成绩	1.84	1.89	1.93	1.96	1.98	2.00	2.02	2.04
1	Eleanor PATTERSON	澳大利亚	26	2.02	O	O	O	O	XXO	XO	O	XXX
2	Yaroslava MAHUCHIKH	乌克兰	21	2.02	-	O	O	O	O	XO	XO	XXX
3	Elena VALLORTIGARA	意大利	31	2.00	O	O	O	O	O	O	XXX	
4	Iryna GERASHCHENKO	乌克兰	27	2.00	O	O	O	XO	O	XO	XXX	
5	Safina SADULLAYEVA	乌兹别克斯坦	24	1.96	-	O	O	O	X-	XX		
5	Nicola OLYSLAGERS	澳大利亚	26	1.96	O	O	O	O	XXX			
7	Karmen BRUUS	爱沙尼亚	17	1.96	O	XO	XO	XO	XXX			
8	Nadezhda DUBOVITSKAYA	哈萨克斯坦	24	1.96	O	XXO	XXO	XO	XXX			
9	Lamara DISTIN	牙买加	22	1.93	O	O	O	XXX				
10	Daniela STANCIU	罗马尼亚	35	1.93	XO	O	XXO	XXX				
11	Kimberly WILLIAMSON	牙买加	29	1.89	O	O	XXX					
12	Lia APOSTOLOVSKI	斯洛文尼亚	22	1.89	O	XO	XXX					
Mean±SD				25±5	1.96±0.04							

表 2-4 2019 年多哈田径世锦赛女子跳高决赛成绩单/m

名次	运动员	国家	年龄	成绩	1.84	1.89	1.93	1.96	1.98	2.00	2.02	2.04	2.08
1	Mariya LASITSKENE	俄罗斯	29	2.04	O	O	O	O	O	O	O	O	XXX
2	Yaroslava MAHUCHIKH	乌克兰	21	2.04	O	XO	O	XO	O	XXO	O	XXO	r
3	Vashti CUNNINGHAM	美国	24	2.00	O	O	O	O	O	O		XXX	
4	Yuliya LEVCHENKO	乌克兰	25	2.00	O	O	O	O	O	XXO		XXX	
5	Kamila LIĆWINKO	波兰	36	1.98	XO	O	XO	XXO	XO	XXX			
6	Karyna DEMIDIK	白俄罗斯	23	1.96	O	O	O	XO	XX-	X			
7	Ana ŠIMIĆ	克罗地亚	32	1.93	O	O	O	XXX					
8	Tynita BUTTS	美国	32	1.93	O	XXO	XO	XXX					
9	Imke ONNEN	德国	28	1.89	XO	O	XXX						
10	Mirela DEMIREVA	保加利亚	33	1.89	O	XO	XXX						
11	Claire ORCEL	比利时	25	1.89	O	XXO	XXX						
12	Svetlana RADZIVIL	乌兹别克斯坦	35	1.89	XO	XXO	XXX						
Mean±SD			29±5	1.95±0.06									

2022 年尤金世锦赛女子 20km 竞走比赛分段特征研究

卢巧配、苑廷刚、刘嘉伟 国家体育总局体育科学研究所

2022 年世界俄勒冈田径锦标赛女子 20km 竞走比赛于 2021 年 7 月 15 日美国尤金时间 13:10 开赛，本次共有 26 个国家 41 名运动员参与，我国代表队派出切阳什姐、刘虹、马振霞和吴全明四名运动员出战，最终金牌由秘鲁

选手 Kimberly GARCÍA LEÓN 以 1h:26m:58s 的成绩获得；银牌由波兰选手 Katarzyna ZDZIEBŁO 以 1h:27m:31s 的成绩获得；铜牌由我国 31 岁的老将切阳什姐以 1h:27m:56s 的成绩获得。而国 35 岁的历经 4 届奥运会老将刘虹以 1h:29m:00s 位列第 5 名，其余 2 名运动员马振霞和吴全明分别以 1h:30m:39s 和 1h:31m:44s 的成绩获得该项目第 10 名和第 13 名，而该项目世界纪录是由我国运动员杨家玉在 2021 年 3 月创造的 1h:23m:49s，奥运会纪录则是由俄罗斯运动员 LASHMANOVA Elena 在 2012 年伦敦奥运上创造的 1:25m:02s，而世锦赛纪录则是由俄罗斯运动员 Olimpiada IVANOVA 在 2005 年芬兰赫尔辛基创造的 1h:25m:41s。(以下统计数据涉及 2022 年世锦赛前 8 名与我国运动员有交集部分，仅做一次罗列。)

表 1 尤金世锦赛女子 20km 竞走比赛前 8 名和我国运动员成绩情况

排名	运动员	国籍	成绩/(h:m:s)	差距/(m:s)	与 WR 差/(m:s)	与 CR 差/(m:s)	备注
1	Kimberly GARCÍA LEÓN	秘鲁	1:26:58		03:09	01:17	NR
2	Katarzyna ZDZIEBŁO	波兰	1:27:31	00:33	03:42	01:50	NR
3	<u>切阳什姐</u>	<u>中国</u>	<u>1:27:56</u>	<u>00:58</u>	<u>04:07</u>	<u>02:15</u>	
4	Jemima MONTAG	澳大利亚	1:28:17	01:19	04:28	02:36	
5	<u>刘虹</u>	<u>中国</u>	<u>1:29:00</u>	<u>02:02</u>	<u>05:11</u>	<u>03:19</u>	SB
6	Nanako FUJII	日本	1:29:01	02:03	05:12	03:20	SB
7	Alegna GONZÁLEZ	墨西哥	1:29:40	02:42	05:51	03:59	SB
8	Valentina TRAPLETTI	意大利	1:29:54	02:56	06:05	04:13	
10	<u>马振霞</u>	<u>中国</u>	<u>1:30:39</u>	<u>03:41</u>	<u>06:50</u>	<u>04:58</u>	
13	<u>吴全明</u>	<u>中国</u>	<u>1:31:44</u>	<u>04:46</u>	<u>07:55</u>	<u>06:03</u>	

注：来源于世界田联 <https://www.worldathletics.org/>，WR 代表世界纪录，成绩为 1h:23m:49s；CR 代表世锦赛纪录，成绩为 1h:25m:41s，NR 代表国家纪录。

从表 1 中可以看出本届奥运会女子 20km 竞走比赛冠军成绩与世界纪录相差 3min 以上，而与世锦赛纪录相差 1min 以上，说明本届奥运会女子 20km 竞走整体成绩良好，运动员们展现出相对良好的竞技状态。我国三名选手切阳什姐、刘虹、马振霞和吴全明与世界纪录相差了 4min-8min，成绩较 2020 东京奥运会有所提升。值得一提的是，此次，两名小将马振霞、吴全明同两位奥运冠军刘虹和切阳什姐共同出赛女子 20 公里竞走。其中，马振霞早在 2014 年，便夺得了南京青奥会冠军，并在两年后夺得 U20(20 岁以下)田径世锦赛女子 10000 米竞走冠军，并在在 4 月进行的全国竞走大奖赛中，她获得女子 20 公里和 35 公里竞走的双冠，实力不容小觑。

一、竞赛运动员情况分析

从表 2 和图 1 可以看出 2022 年世锦赛女子 20km 竞走比赛中前 8 名和我

国运动员的个人情况：(1)从所属人种来看，白种人占据前 8 名的 62.5%；黄种人占 37.5%，可以看出白种人竞走项目整体水平较高，具有极强的竞争力。(2)从所属年龄段来看， ≥ 30 和 $\leq 20-25$ 年龄段的运动员均占 37.5%， $\leq 25-30$ 年龄段的运动员占 25%，值得一提，前 8 名运动员平均年龄以达到了 27 岁，而本届世锦赛女子金、银和铜牌得主分别是 28 岁、25 岁和 31 岁，而我国 31 岁的切阳什姐和 35 岁的刘虹在此次比赛成绩优异，且均超出前 8 名平均年龄说明运动员的竞技状态的保持与年龄有关，但绝对不是决定因素；此外，24 岁的马振霞和 20 岁吴全明虽然本次无缘前 8 名，但是成绩位列前 13 名之内，从年龄来看，也正值运动生涯的提升时期，仍有很大的潜力可以开采。(3)从所属国家来看，前 8 名运动员遍布于 7 个国家、其中我国运动员占 25%，整体水平较高，秘鲁、波兰、澳大利亚、日本和墨西哥平分秋色，说明该项目国家之间的发展相对均衡，国家竞争日趋激烈。(4)从所属大洲来看，亚洲地区的运动员占据前八名的 37.5%，欧洲占比 25%、大洋洲、南美洲和北美洲均占有 12.5%，不难看出，中俄两国对于女子 20km 竞走项目的垄断和集团优势正在面临极大的挑战，该项目世界顶尖水平运动员更加丰富多元，项目竞争越来越激烈。

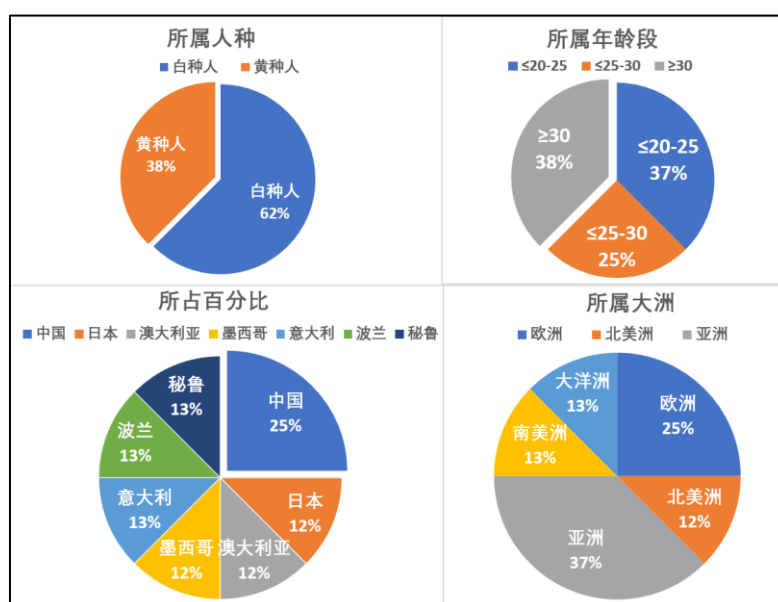


图1 2022 年世锦赛女子 20km 竞走比赛前 8 名和我国运动员情况统计

表 2 尤金世锦赛女子 20km 竞走比赛前 8 名和我国运动员个人情况

排名	运动员	国籍	年龄	人种	大洲
1	Kimberly GARCÍA LEÓN	秘鲁	28	白种人	南美洲-西部
2	Katarzyna ZDZIEBŁO	波兰	25	白种人	欧洲-中欧
3	切阳什姐	中国	31	黄种人	亚洲-东亚
4	Jemima MONTAG	澳大利亚	24	白种人	大洋洲
5	刘虹	中国	35	黄种人	亚洲-东亚
6	Nanako FUJII	日本	23	黄种人	亚洲-东亚
7	Alegna GONZÁLEZ	墨西哥	23	白种人	北美洲-北美
8	Valentina TRAPLETTI	意大利	37	白种人	欧洲-南欧
10	马振霞	中国	24	黄种人	亚洲-东亚
13	吴全明	中国	20	黄种人	亚洲-东亚

二、竞赛运动员分段数据分析

图 2 和表 3 体现了女子 20km 竞走比赛过程中，每 1km 分段中前 8 名及我国其余运动员的分段累计用时和排名情况。比赛开始至 10km，可以看出一个 10 人左右的领先第一集团逐渐形成，而中国 4 名运动员都在其中，此时我国运动员用时均为 44min:08s；而到 15km 时，除了 20 岁的年轻选手吴全明排名跌至 12 名，用时 1h:06m:40s 中国 3 位选手仍都处在第一集团中前 10 名当中，其中刘虹、切阳什姐和马振霞分列第 5、第 2 和第 7 位，三位选手用时均为 1h:06min:37s；赛程至 16km-19km 处，总体排名基本稳定；我国运动员在 19km-20km 处，切阳什姐则继续保持相对排名第 3 名直至比赛结束；我国老将刘虹在第 19km 位列第 6 名，而在最后 1km 加速实现了超越，最后位列第 5 名；马振霞由第 9 名跌至第 10 名结束；吴全明继续保持第 13 名的排名直至比赛结束。

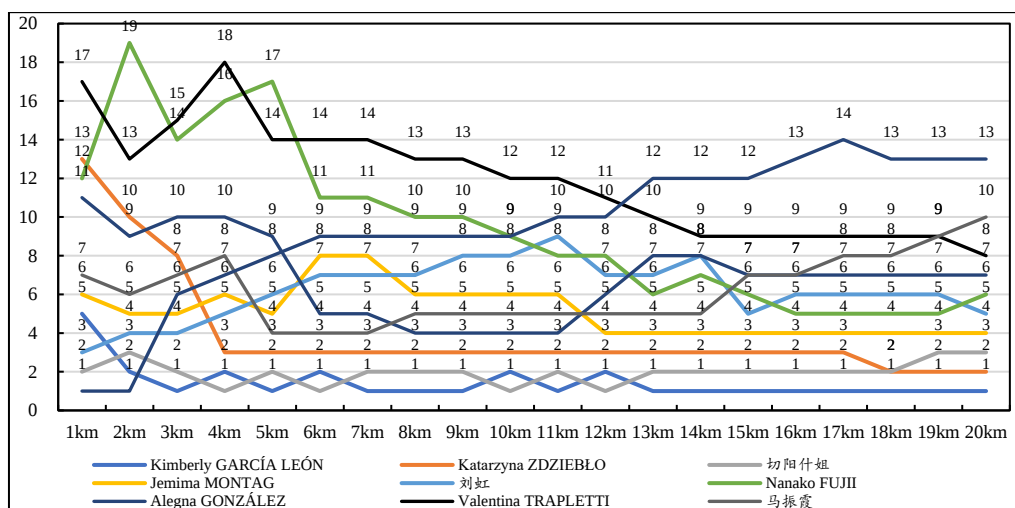


图 2 尤金世锦赛女子 20km 竞走比赛前 8 名和我国运动员分段排名情况

表 3 2022 年世锦赛女子 20km 竞走比赛前 8 名和我国运动员分段时间

排名	分段累计时间/(h:m:s)									
	1 Kimberly GARCÍA LEÓN	2 Katarzyna ZDZIEBŁO	3 切阳什姐	4 Jemima MONTAG	5 刘虹	6 Nanako FUJII	7 Alegna GONZÁLEZ	8 Valentina TRAPLETTI	10 马振霞	13 吴全明
1km	0:04:21	0:04:24	0:04:20	0:04:21	0:04:21	0:04:23	0:04:22	0:04:26	0:04:21	0:04:20
2km	0:8:44	0:08:46	0:8:44	0:08:45	0:08:45	0:08:49	0:08:45	0:08:49	0:08:45	0:8:44
3km	0:13:03	0:13:08	0:13:03	0:13:07	0:13:07	0:13:16	0:13:10	0:13:16	0:13:07	0:13:07
4km	0:17:22	0:17:33	0:17:22	0:17:35	0:17:34	0:17:43	0:17:37	0:17:44	0:17:35	0:17:35
5km	0:21:42	0:21:56	0:21:42	0:22:04	0:22:04	0:22:12	0:22:04	0:22:12	0:22:04	0:22:04
6km	0:26:02	0:26:19	0:26:02	0:26:30	0:26:30	0:26:40	0:26:30	0:26:42	0:26:20	0:26:31
7km	0:30:22	0:30:41	0:30:22	0:30:58	0:30:57	0:31:05	0:30:53	0:31:11	0:30:47	0:30:58
8km	0:34:46	0:35:06	0:34:46	0:35:21	0:35:21	0:35:30	0:35:13	0:35:39	0:35:14	0:35:23
9km	0:39:09	0:39:28	0:39:09	0:39:48	0:39:48	0:39:58	0:39:36	0:40:10	0:39:37	0:39:57
10km	0:43:31	0:43:51	0:43:31	0:44:14	0:44:24	0:44:28	0:44:04	0:44:41	0:44:05	0:44:31
11km	0:47:52	0:48:12	0:47:52	0:48:39	0:48:56	0:48:56	0:48:38	0:49:12	0:48:38	0:49:03
12km	0:52:14	0:52:35	0:52:14	0:53:11	0:53:18	0:53:19	0:53:11	0:53:44	0:53:11	0:53:44
13km	0:56:37	0:56:57	0:56:37	0:57:41	0:57:45	0:57:45	0:57:45	0:58:15	0:57:41	0:58:16
14km	1:00:59	1:01:19	1:01:00	1:02:08	1:02:15	1:02:15	1:02:15	1:02:51	1:02:08	1:02:58
15km	1:05:19	1:05:43	1:05:21	1:06:32	1:06:37	1:06:39	1:06:51	1:07:25	1:06:40	1:07:53
16km	1:09:43	1:10:05	1:09:49	1:10:54	1:11:06	1:11:04	1:11:24	1:11:57	1:11:21	1:12:51
17km	1:14:03	1:14:26	1:14:21	1:15:13	1:15:38	1:15:29	1:15:55	1:16:30	1:16:03	1:17:44
18km	1:18:25	1:18:47	1:18:56	1:19:33	1:20:09	1:19:58	1:20:32	1:21:03	1:20:54	1:22:31
19km	1:22:45	1:23:07	1:23:25	1:23:55	1:24:44	1:24:28	1:25:07	1:25:33	1:25:47	1:27:14
20km	1:26:58	1:27:31	1:27:56	1:28:17	1:29:00	1:29:01	1:29:40	1:29:54	1:30:39	1:31:44

注：来源于世界联 <https://www.worldathletics.org/>

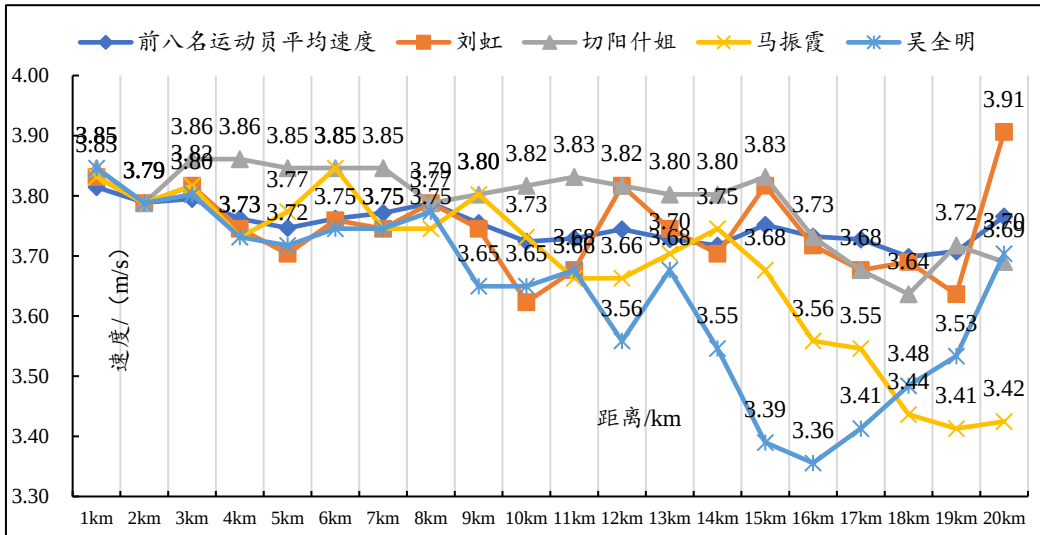


图 3 尤金世锦赛女子 20km 竞走比赛前 8 名和我国运动员分段速度曲线

表 4 2022 年世锦赛女子 20km 竞走比赛前 8 名和我国运动员分段用时

排名	分段独立用时/(m:s)										
	1 Kimberly GARCÍA LEÓN	2 Katarzyna ZDZIEBŁO	3 切阳什姐	4 Jemima MONTAG	5 刘虹	6 Nanako FUJII	7 Alegna GONZÁLEZ	8 Valentina TRAPLETTI	mean	10 马振霞	13 吴全明
1km	04:21	04:24	04:20	04:21	04:21	04:23	04:22	04:26	04:22	04:21	04:20
2km	04:23	04:22	04:24	04:24	04:24	04:26	04:23	04:23	04:24	04:24	04:24
3km	04:19	04:22	04:19	04:22	04:22	04:27	04:25	04:27	04:23	04:22	04:23
4km	04:19	04:25	04:19	04:28	04:27	04:27	04:27	04:28	04:25	04:28	04:28
5km	04:20	04:23	04:20	04:29	04:30	04:29	04:27	04:28	04:26	04:25	04:29
6km	04:20	04:23	04:20	04:26	04:26	04:28	04:26	04:30	04:25	04:20	04:27
7km	04:20	04:22	04:20	04:28	04:27	04:25	04:23	04:29	04:24	04:27	04:27
8km	04:24	04:25	04:24	04:23	04:24	04:25	04:20	04:28	04:24	04:27	04:25
9km	04:23	04:22	04:23	04:27	04:27	04:28	04:23	04:31	04:26	04:23	04:34
10km	04:22	04:23	04:22	04:26	04:36	04:30	04:28	04:31	04:27	04:28	04:34

11km	04:21	04:21	<u>04:21</u>	04:25	<u>04:32</u>	04:28	04:34	04:31	04:27	<u>04:33</u>	<u>04:32</u>
12km	04:22	04:23	<u>04:22</u>	04:32	<u>04:22</u>	04:23	04:33	04:32	04:26	<u>04:33</u>	<u>04:41</u>
13km	04:23	04:22	<u>04:23</u>	04:30	<u>04:27</u>	04:26	04:34	04:31	04:27	<u>04:30</u>	<u>04:32</u>
14km	04:22	04:22	<u>04:23</u>	04:27	<u>04:30</u>	04:30	04:30	04:36	04:28	<u>04:27</u>	<u>04:42</u>
15km	04:20	04:24	<u>04:21</u>	04:24	<u>04:22</u>	04:24	04:36	04:34	04:26	<u>04:32</u>	<u>04:55</u>
16km	04:24	04:22	<u>04:28</u>	04:22	<u>04:29</u>	04:25	04:33	04:32	04:27	<u>04:41</u>	<u>04:58</u>
17km	04:20	04:21	<u>04:32</u>	04:19	<u>04:32</u>	04:25	04:31	04:33	04:27	<u>04:42</u>	<u>04:53</u>
18km	04:22	04:21	<u>04:35</u>	04:20	<u>04:31</u>	04:29	04:37	04:33	04:29	<u>04:51</u>	<u>04:47</u>
19km	04:20	04:20	<u>04:29</u>	04:22	<u>04:35</u>	04:30	04:35	04:30	04:28	<u>04:53</u>	<u>04:43</u>
20km	04:13	04:24	<u>04:31</u>	04:22	<u>04:16</u>	04:33	04:33	04:21	04:24	<u>04:52</u>	<u>04:30</u>

表 5 2022 年世锦赛女子 20km 竞走比赛前 8 名和我国运动员分段速度

分段速度/(m:s)												
排名	1	2	3	4	5	6	7	8		10	13	
运动员	Kimberly GARCÍA LEÓN	Katarzyna ZDZIEBŁO	切阳 什姐	Jemima MONTAG	刘虹	Nanako FUJII	Alegna GONZÁLEZ	Valentina TRAPLETTI	Mean	马振霞	吴全明	
1km	3.83	3.79	<u>3.85</u>	3.83	<u>3.83</u>	3.80	3.82	3.76	3.81	<u>3.83</u>	<u>3.85</u>	
2km	3.80	3.82	<u>3.79</u>	3.79	<u>3.79</u>	3.76	3.80	3.80	3.79	<u>3.79</u>	<u>3.79</u>	
3km	3.86	3.82	<u>3.86</u>	3.82	<u>3.82</u>	3.75	3.77	3.75	3.80	<u>3.82</u>	<u>3.80</u>	
4km	3.86	3.77	<u>3.86</u>	3.73	<u>3.75</u>	3.75	3.75	3.73	3.77	<u>3.73</u>	<u>3.73</u>	
5km	3.85	3.80	<u>3.85</u>	3.72	<u>3.70</u>	3.72	3.75	3.73	3.76	<u>3.77</u>	<u>3.72</u>	
6km	3.85	3.80	<u>3.85</u>	3.76	<u>3.76</u>	3.73	3.76	3.70	3.78	<u>3.85</u>	<u>3.75</u>	
7km	3.85	3.82	<u>3.85</u>	3.73	<u>3.75</u>	3.77	3.80	3.72	3.78	<u>3.75</u>	<u>3.75</u>	
8km	3.79	3.77	<u>3.79</u>	3.80	<u>3.79</u>	3.77	3.85	3.73	3.79	<u>3.75</u>	<u>3.77</u>	
9km	3.80	3.82	<u>3.80</u>	3.75	<u>3.75</u>	3.73	3.80	3.69	3.77	<u>3.80</u>	<u>3.65</u>	
10km	3.82	3.80	<u>3.82</u>	3.76	<u>3.62</u>	3.70	3.73	3.69	3.74	<u>3.73</u>	<u>3.65</u>	
11km	3.83	3.83	<u>3.83</u>	3.77	<u>3.68</u>	3.73	3.65	3.69	3.75	<u>3.66</u>	<u>3.68</u>	
12km	3.82	3.80	<u>3.82</u>	3.68	<u>3.82</u>	3.80	3.66	3.68	3.76	<u>3.66</u>	<u>3.56</u>	
13km	3.80	3.82	<u>3.80</u>	3.70	<u>3.75</u>	3.76	3.65	3.69	3.75	<u>3.70</u>	<u>3.68</u>	
14km	3.82	3.82	<u>3.80</u>	3.75	<u>3.70</u>	3.70	3.70	3.62	3.74	<u>3.75</u>	<u>3.55</u>	
15km	3.85	3.79	<u>3.83</u>	3.79	<u>3.82</u>	3.79	3.62	3.65	3.77	<u>3.68</u>	<u>3.39</u>	
16km	3.79	3.82	<u>3.73</u>	3.82	<u>3.72</u>	3.77	3.66	3.68	3.75	<u>3.56</u>	<u>3.36</u>	
17km	3.85	3.83	<u>3.68</u>	3.86	<u>3.68</u>	3.77	3.69	3.66	3.75	<u>3.55</u>	<u>3.41</u>	
18km	3.82	3.83	<u>3.64</u>	3.85	<u>3.69</u>	3.72	3.61	3.66	3.73	<u>3.44</u>	<u>3.48</u>	
19km	3.85	3.85	<u>3.72</u>	3.82	<u>3.64</u>	3.70	3.64	3.70	3.74	<u>3.41</u>	<u>3.53</u>	
20km	3.95	3.79	<u>3.69</u>	3.82	<u>3.91</u>	3.66	3.66	3.83	3.79	<u>3.42</u>	<u>3.70</u>	

注：来源于世界田联 <https://www.worldathletics.org/>

表 4、表 5 和图 3 显示了比赛前 8 名运动员和我国运动员每 1km 分段的用时及速度情况，可以看出在前 8km 的赛段中我国 4 名选手的速度值及速度变化节奏与领先集团基本趋同；而在 8km 之后，中国 4 名运动员出现了不同的速度变化模式：切阳什姐选择在 8-15km 赛程中逐渐加速，16km-20km 缓慢减速，而在最后 2km 提速平均速度在 3.8m/s 左右，从整体来看，切阳什姐速度值和节奏都更加接近世界前 8 名运动的速度模式；刘虹则在全程速度值和节奏上呈现 M 形状，而在最后 2km 最大速度达到了 3.9m/s，可以看出老将刘虹的体力储备以及比赛经验的丰富；而马振霞和吴全明在 8km-18km 赛段，整体呈现下降趋势，而吴全明则在 18km-20km 开始提速，但是因为全程平均速度低于马振霞，因此最后排名还是排在了马振霞之后，但这也暴露出马振霞竞走后半程速度耐力不足的问题，以及吴全明参赛经验不足等问题，而根据比赛状况和个人情况调控速度的能力，这也是后续在训练中需要格外需要加强的点。

三、比赛情况总结

世锦赛女子 20km 竞走比赛当天正值中午，温度湿度以及太阳光照对于运动员都是一个不小的挑战，我国切阳什姐、刘虹、马振霞和吴全明四名运动员分别来自于青海、和江西、山东、陕西，四人在赛前对陌生的比赛环境没有足够预判、提前做好体能大量消耗的预案和心理准备；此外由于常年与传统女子竞走强国俄罗斯相竞争缺乏对于其他国家对手的资料收集与分析，因此针对性的战术安排准备不足，心理预警不充分。建议在今后的备战和备赛中，充分做好在不同温度湿度下的竞赛准备，以及全面收集世界顶尖运动员的数据信息，全面做好运动员体能、技术、战术、运动智能和心理等因素的赛前准备。

最后恭喜老将切阳什姐夺得 2022 年世锦赛铜牌，同时也要恭贺素有“竞走女皇”之称的刘虹，取得第五的好成绩，在 2016 年奥运会取得了“大满贯”成就后，虽然选择了回归家庭，但出于对实现个人价值和为国争光的集体责任，依然选择了备战 2022 年世锦赛，成为“奥运妈妈级选手”，用实际行动践行了田径人“筑梦、拼搏、追求卓越、实现自我的人生价值”的个人拼搏精神和“为国争光、报效祖国”的个人使命担当。而随着我国科学化训练水平的进一步提高，我国竞走的训练和恢复手段也愈加的科学化、多样化、国际化等等，我国正值竞技提高阶段的马振霞、吴全明等优秀人才也将逐步担起我国女子 20km 竞走的旗帜，大步走向世界前沿。

国内外女子 10000 m 优秀运动员配速策略分析

路明月、邱俊强 北京体育大学

10000 m 跑是体能主导的以有氧代谢为主的周期性耐力项目，有氧供能比例大于 96.8 %。其能量代谢特点是从以无氧代谢为主的混合代谢逐步过渡到以有氧代谢为主的混合代谢。其项目特点为长时间持续的肌肉活动，它需要将速度和耐力发挥到极致。10000 m 跑的成绩受到无氧和有氧参数的制约，是生理、心理、生物力学、环境和战术等因素共同作用的结果。

在比赛期间参赛者必须调节速度，以便在最快的时间到达终点，这种速

度分布被称为“配速策略”。配速策略在一个复杂的系统中进行调节,该系统平衡了最佳表现和运动时动态平衡的关系。影响配速策略的主要因素包括生理、心理和外部因素。其中,生理因素包括跑步机峰值速度(PV)、最大摄氧量(VO_{2max})、跑步经济性(RE)、乳酸阈值(LT)和净血乳酸积累。 VO_{2max} 是 LT 的基础, LT 反映 VO_{2max} 的利用率。更大的 RE 和较低的血乳酸积累能使运动员以较高的起跑速度开始比赛,并在比赛中保持更高的速度。在 10000 m 比赛中,疲劳在 3000 m 对步态产生影响,运动员根据自身疲劳状态改变节奏来保持 RE ,此过程会引起步幅、步频、关节角度等变化。 VO_{2max} 与 RE 之间存在平衡关系,运动能耗越高, VO_{2max} 越高,反之亦然。心理因素是影响配速策略的主要中介,自觉疲劳程度量表(RPE)和运动时的情感反应是改变节奏策略的相关因素, RPE 单独解释了开始阶段运动员最大速度的变化。运动员遵循想象积极结果忽略消极结果的策略,达到激励选择的作用。配速策略同样依赖于环境(温度、湿度、海拔、空气阻力等)、竞争状况、竞争对手等因素的影响。运动员的初始速度一般遵循领先运动员设定的速度,并采用跟随战略,可在比赛结束之前降低能量消耗。Kyle 等人指出,当一个跑步者落后另一个跑步者 2 m 时,空气阻力减少 40 %,能量消耗减少 3 %。

相关研究已经证实,在 10000 m 比赛中,运动员自然选择的起始速度远大于比赛的平均速度。这种快速启动之后速度逐步下降,直到完成整个距离的 90 %,此时运动员再次加速以产生“最后冲刺”。研究指出,在 10000 m 跑中采用的节奏包括最初 400 m 的快速起跑,中间的均匀跑,最后 400 m 的冲刺,该过程通过调节运动强度,防止机体系统内稳态衰竭。Thiel 等人分析了 2008 年北京奥运会 10000 m 成绩,发现奥运会的节奏策略不同于世界纪录模式,主要分为快速的起步、起搏快且速度均匀、最后加速冲刺 3 个阶段。若想在长跑比赛中获得金牌,男女运动员必须分别达到 $6.9-7.1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $7.7-8.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 这是在设计训练方案时要考虑的因素。

综上所述,配速策略是运动员取得优异成绩的关键因素,是一种非常重要的参赛能力,而我国对于各类竞速项目速度节奏的研究较为薄弱。因此,本研究通过总结国内外女子 10000 m 优秀运动员的配速策略,分析差距所在,其中,重点对我国优秀运动员张德顺比赛的数据进行分析,为我国运动

员训练和比赛提供科学支撑。

1 研究方法与对象

1.1 研究对象

选取 2019 年、2017 年和 2015 年世锦赛(以下简称“世锦赛”)女子 10000 m 前 10 名, 2018 年雅加达亚运会女子 10000 m 前 3 名, 2019 年全国田径锦标赛女子 10000 m 前 6 名, 2017 年全运会女子 10000 m 前 6 名, 以及张德顺 2019 年世锦赛选拔赛的成绩和每千米的分段速度进行分析。

1.2 研究方法

1.2.1 文献资料法

通过国际田径联和会的官网(www.iaaf.org/results)查询历届女子 10000 m 比赛成绩及每 km 的分段时间, 获取 2019 年、2017 年以及 2015 年世锦赛的成绩及每 km 的分段时间。通过查询中央电视台 CCTV5 网络平台, 将 2017 年全运会女子 10000 m 决赛和 2018 年雅加达女子 10000 m 决赛的比赛高清视频。

1.2.2 视频拍摄法

通过在比赛现场实地拍摄获取 2019 年全国田径锦标赛以及张德顺 2019 年世锦赛选拔赛的成绩。主要拍摄方法如下:

比赛开始之前提前在跑道内侧使用彩色肌贴进行标记, 标记点为 10000 m 比赛的起点以及起点后的 200 m 处。2 名专业拍摄人员使用 2 台索尼常速摄像机进行扫描拍摄, 分别置于之前标记的 10000 m 起点及起点后 200 m 处, 标记点辅助识别相机扫描位点, 拍摄人员置于跑道外侧较高位置, 能清晰地拍摄到扫描标记点以及运动员号码牌。具体现场拍摄方案如图 1 所示。最后将拍摄内容导出, 最终获得实时比赛视频。

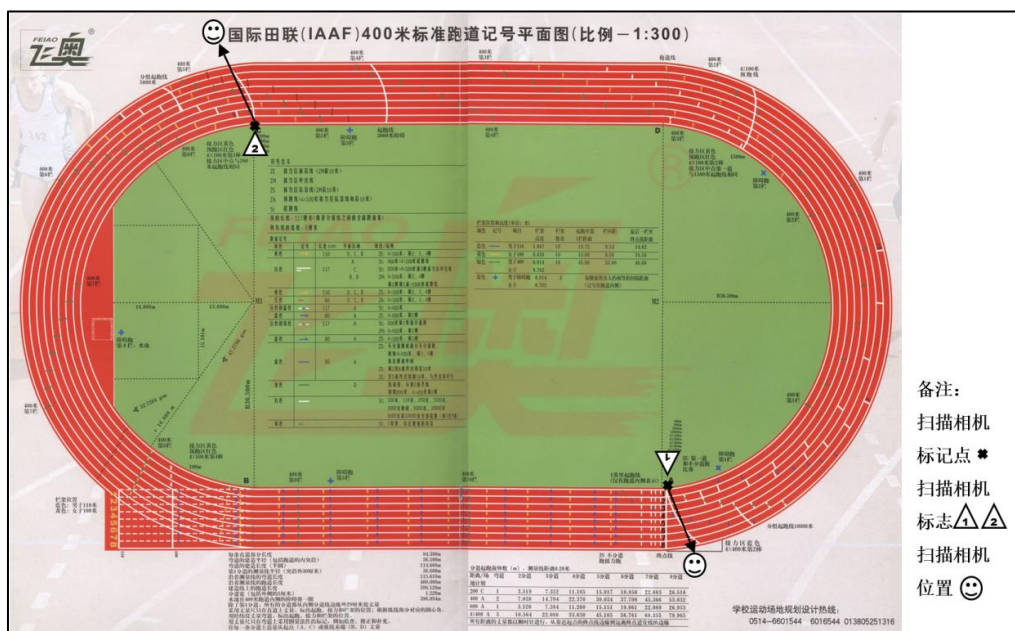


图 1 现场拍摄方案示意图

1.2.3 视频分析法

通过使用 *Kinovea* 软件对所获得的视频进行分析处理, 并通过计算获得每 *km* 的分段时间和速度, 具体分析方法如下:

首先将网络获取以及比赛现场实地拍摄的实时视频上传至 *Kinovea* 软件, 在 *Kinovea* 软件中选择视频中运动员通过关键位置(即 10000 *m* 比赛的起点和起点后 200 *m* 处)时的画面逐帧观看, 分别截取比赛过程中运动员达到每个关键位置所需要的时间, 并通过计算得到每 *km* 所用的时间, 最后计算得出每 *km* 的速度。有报道曾经指出, 视频分析法的典型误差为 0.02 *s*, 当相机的角度和位置合适时, 该方法所得出的数据是有效和可靠的。因此, 本研究数据有效。

1.2.4 统计方法

本研究中的所有数据均采用平均值±标准差表示, 数据分析使用 SPSS 21.0 软件, 首先对国内外每 *km* 的分段速度进行描述性统计, 采用独立样本 *T* 检验分析国内外优秀运动员成绩的差异, 对国内外优秀运动员每 *km* 的分段速度进行重复测量方差分析, 通过 Mauchly's Test 检验球形度(Mauchly 球形度<0.05 时, 不符合球形检验, 主体内效应需采用 Greenhouse-Geisser

进行自由度矫正),然后报告组间、组内因素的主效应,分析时间(10000 m 共 10 个分段)和组别(国外、国内)是否具有交互作用。若存在交互作用,进行简单效应分析;若无交互作用,采用单因素方差分析及独立样本 T 检验分别对组内、组间因素进行纵向或横向对比。本研究以 $p < 0.05$ 作为数据之间存在显著性差异。

2 研究结果

2.1 国内外优秀运动员 10000 m 成绩

表 1 表示的是我国女子 10000 m 优秀运动员与世界顶级水平运动员之间的成绩。我国女子 10000 m 优秀运动员的成绩水平与世界顶级水平之间存在较大的差距($p < 0.01$)。目前来看,我国成绩最好的运动员张德顺与世界最好成绩水平之间的差距在 1 min 56 s 16,差距比较大。

表 1 我国女子 10000 m 成绩与三届世锦赛中前 6 名成绩/min

我国		世界	
张德顺	32:12.78	Almaz AYANA	30:17.62
夏雨雨	33:38.64	Tirunesh DIBABA	30:21.23
次仁措姆	33:48.94	Agnes Jebet TIROP	30:25.20
李丹	34:00.25	Vivian Jepkemoi CHERUIYOT	30:35.75
金铭铭	34:09.07	Gelete BURKA	30:35.82
潘银丽	34:13.59	Emily INFELD	30:44.23

2.2 国外优秀运动员分段速度

在女子 10000 m 比赛中,对国外优秀运动员 10000 m 比赛每 km 的分段速度进行分析,发现 0-2 km 的速度存在显著性差异($p < 0.05$),8-10 km 的速度存在非常显著性差异($p < 0.01$),4-7 km 的速度无统计学意义($p > 0.05$),即 0-2 km 和 8-10 km 的速度变化较大,4-7 km 的速度变化较平稳。结合图 2 可知,国外女子 10000 m 优秀运动员比赛时的速度特点主要分为快速起跑阶段(0-2 km)、中间阶段起搏快且平稳(2-8 km),最后加速冲刺阶段(8-10 km)3 个部分。其中,起跑速度平均比冲刺速度低 $0.76 m \cdot s^{-1}$,中间阶段速度比起跑速度快 $0.39 m \cdot s^{-1}$,比冲刺速度低 $0.37 m \cdot s^{-1}$ 。前 9 km 的速度与比赛成绩的相关系数为 $p < 0.01$,存在非常显著性差异,与万米成绩高度相关,最后 1 km 的速度与比赛成绩的相关系数为 $p > 0.05$,无统计学意义,对成绩的影响不大。但国外运动员的分段速度离散程度较大。

2.3 国内优秀运动员分段速度

在女子 10000 m 比赛中, 对国内优秀运动员 10000 m 比赛每 km 的分段速度进行分析, 发现第 1 km 和最后 1 km 的速度存在非常显著性差异($p < 0.01$), 第 0-3 km 的速度存在非常显著性差异($p < 0.01$), 第 3 km 和第 9 km 的速度存在显著性差异($p < 0.05$)。说明在 1-3 km、3-9 km、9-10 km 的速度变化差异较大。结合图 2 可以看出, 国内女子 10000 m 优秀运动员比赛时的速度特点主要分为起跑后速度下降阶段(0-3 km)、中间阶段速度小幅上升或下降(3-9 km)、最后阶段加速冲刺(9-10 km)3 个部分。

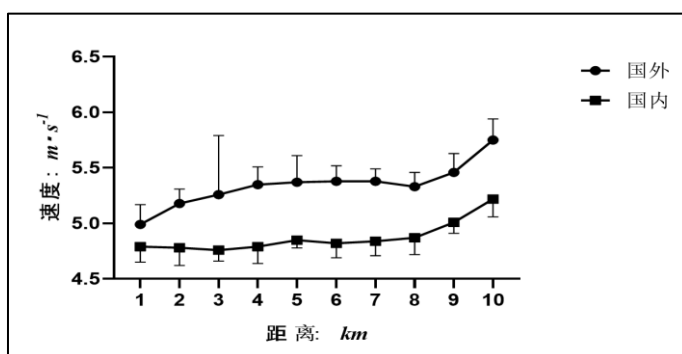


图 2 国内外 10000 m 优秀运动员分段速度

2.4 国内外优秀运动员分段速度对比

表 2 是国内外女子 10000 m 优秀运动员的分段速度的重复测量方差结果($p < 0.01$), 需要进行简单效应分析。

表 2 多变量检验结果

	效应	Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.	Partial η^2
速度	Pillai's Trace	.928	48.863 ^b	9.000	34.000	.000	.928
	Wilks' Lambda	.072	48.863 ^b	9.000	34.000	.000	.928
	Hotelling's Trace	12.934	48.863 ^b	9.000	34.000	.000	.928
	Roy's Largest Root	12.934	48.863 ^b	9.000	34.000	.000	.928
速度 * 组别	Pillai's Trace	.904	35.776 ^b	9.000	34.000	.000	.904
	Wilks' Lambda	.096	35.776 ^b	9.000	34.000	.000	.904
	Hotelling's Trace	9.470	35.776 ^b	9.000	34.000	.000	.904
	Roy's Largest Root	9.470	35.776 ^b	9.000	34.000	.000	.904

简单效应分析结果如表 3 所示, 我国优秀运动员与世界优秀运动员之间的每 km 的分段速度均存在明显的差距($p < 0.01$)。国外运动员起始和结束阶段速度非常快, 中间阶段速度平缓上升, 加速前小幅下降。而国内运动员加速后速度下降, 中间阶段速度起伏变化较大。通过表 2 计算可以得到以下结果: 国内优秀运动员比国外优秀运动员平均每 km 的分段速度分别低 0.20

$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.40\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.50\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.56\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.52\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.56\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.54\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.46\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.45\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.53\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。可见差异非常大。

表 3 女子 10000 m 国内外运动员的分段速度/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$

	$V_{0-1\text{ km}}$	$V_{1-2\text{ km}}$	$V_{2-3\text{ km}}$	$V_{3-4\text{ km}}$	$V_{4-5\text{ km}}$	$V_{5-6\text{ km}}$	$V_{6-7\text{ km}}$	$V_{7-8\text{ km}}$	$V_{8-9\text{ km}}$	$V_{9-10\text{ km}}$
国外	4.99 ± 0.18	5.18 ± 0.13	5.26 ± 0.53	5.35 ± 0.16	5.37 ± 0.24	5.38 ± 0.14	5.38 ± 0.11	5.33 ± 0.13	5.46 ± 0.17	5.75 ± 0.19
国内	$4.79\pm0.14^*$	$4.78\pm0.16^*$	$4.76\pm0.10^*$	$4.79\pm0.15^*$	$4.85\pm0.07^*$	$4.82\pm0.13^*$	$4.84\pm0.13^*$	$4.87\pm0.15^*$	$5.01\pm0.10^*$	$5.22\pm0.16^*$

注：*表示每 km 分段速度与国外相比， $p < 0.01$

2.5. 张德顺与世界优秀运动员分段速度对比

图 3 为 2015 年、2017 年以及 2019 年世锦赛女子 10000 m 前 3 名的平均成绩与我国优秀运动员张德顺在 2018 年雅加达亚运会上取得的最好成绩的对比图。在此次亚运会上，张德顺跑出了个人的最好成绩并取得了铜牌，但是与世界优秀运动员相比，其配速差异很大(见图 3)。张德顺取得的最好成绩除前 2 km 和 8-9 km 外均低于世界优秀水平，尤其是与 2019 年水平差距较大。在最后冲刺阶段，张德顺在 8-9 km 加速之后，最后的 1 km 速度出现了非常明显的下降，经计算，下降的幅度在 $0.57\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ；而世界优秀运动员在最后 1 km 的冲刺速度均保持在较高水平。

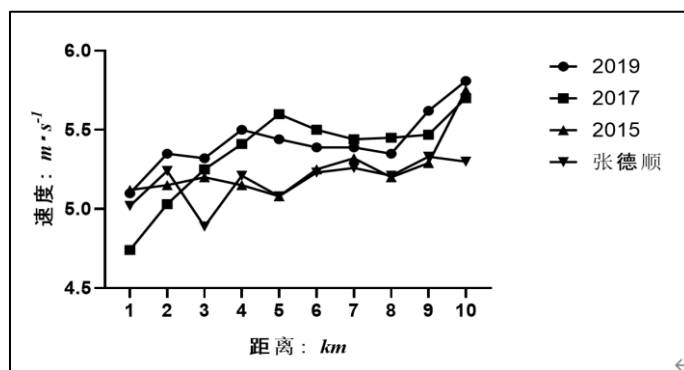


图 3 张德顺与国外 10000 m 优秀运动员分段速度对比

图 4 为 2018 年雅加达亚运会女子 10000 m 决赛的前 3 名的分段速度对比图。我国女子 10000 m 水平与国际水平相差较大，但与亚洲运动员之间差距较小。开始阶段 1-2 km，张德顺比前两名高 $0.04\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ；中间阶段第 2-3 km 与 5-6 km 张德顺速度低于其他人，分别低 $0.04\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.06\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.03\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.06\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.01\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.04\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.01\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.06\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，第 4 km 以及第 7-8 km 均高于其他人，分别高 $0.04\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.14\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.01\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.02\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 0.01

$m \cdot s^{-1}$ 、 $0.05 m \cdot s^{-1}$ ；最后冲刺阶段张德顺明显低于其他人，为 $0.16 m \cdot s^{-1}$ ，差距最大。有趣的是第 1 名的获得者冲刺阶段速度始终保持在持续上升的高水平。此外，有趣的是，国外运动员的运动水平随着时间逐渐增加。

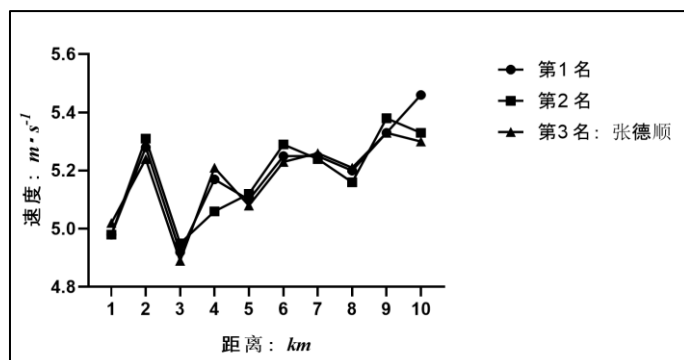


图 4 女子 10000 m 亚运会分段速度对比

图 5 为本研究中选取的张德顺 3 次比赛(即 2018 年雅加达亚运会、2019 年全国田径锦标赛以及 2019 年世锦赛选拔赛)的分段速度对比图，在国内的两次比赛中，张德顺均没有达到亚运会时的水准，配速差异较大。虽然国内比赛最后达到了冲刺加速，但成绩仍然低于亚运会水准。

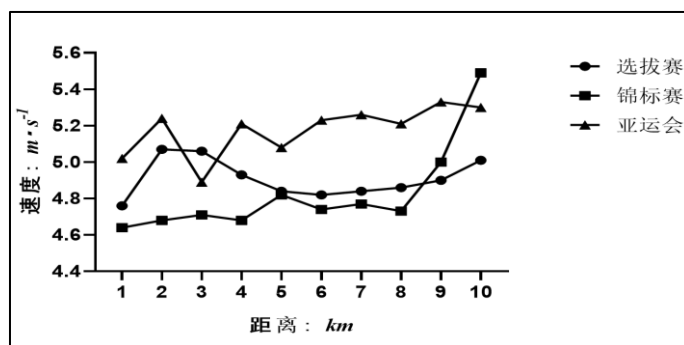


图 5 张德顺三次比赛分段速度对比

3 讨论与分析

3.1 国外优秀运动员的配速策略

在女子 10000 m 比赛中，我国优秀运动员的成绩水平与世界水平之间存在较大的差距，国内外优秀运动员每公里的分段速度均存在较大的差异。国外优秀运动员的配速策略主要由 3 个部分组成：快速启动阶段(0-2 km)，平稳加速的中间阶段(2-8 km)，加速冲刺阶段(最后 8-10 km)。这种配速策略与

之前的研究一致,有报道指出,世界 10000 m 优秀运动员的配速策略主要分为 3 个阶段:快速的起步、起搏快且速度均匀、最后加速冲刺。但不同的是,本研究(0-2 km, 2-8 km, 8-10 km)与之前的研究 (0-1 km, 1-8 km, 8-10 km; 0 m-400 m, 400 m-9600 m, 9600 m-10000 m)对于每个阶段的分段存在差异,出现这种情况可能的原因是其他研究没有将男女运动员分开,或是没有分析比赛时的速度变化,当然,也与每个研究选择的分段有关。第一阶段主要是受技、战术以及心理因素的影响,第 2、3 阶段主要受生理和肌肉参数的影响。最佳配速策略是运动员在比赛过程中最有效地利用生理资源,从而获得最佳的运动成绩的关键。对于 10000 m 这种距离较长的项目,如何有效地利用生理资源取得最佳运动表现对运动员来说尤为重要。

3.2 国外优秀运动员的配速策略

在女子 10000 m 比赛中,我国优秀运动员的配速策略同样分为 3 个部分:起跑后速度快速的下降(0-3 km);中间阶段速度起伏,小幅度上升或下降(3-9 km);在比赛结束前的阶段出现一个快速的冲刺,速度增加幅度较大(最后 1 km)。之前没有研究对我国 10000 m 优秀运动员的配速策略进行分析过。我国运动员在比赛过程中速度起伏较大,尤其是在前两个阶段。开始时速度的下降可能是由于领跑者的位置所决定,中间过程起伏较大,可能会造成运动员在氧气积累阶段的能量消耗较多,从而导致最后加速阶段冲刺时所能利用的能源减少,以至于无法保持较高的速度,冲刺速度下降,无法达到预计的运动表现。最佳配速策略是运动员在比赛过程中最有效地利用生理资源,从而获得最佳的运动成绩的关键。

这些速度的变化代表运动员在疲劳积累的过程中,通过节奏的微小改变来使自己的速度维持在一个较为理想的水平,同时避免出现较为严重的生理损伤。而在比赛结束时的加速冲刺,是由于运动员氧气积累阶段未使用的缓冲能量在最后快速爆发,达到峰值速度,以使运动员取得最佳成绩水平。运动员在比赛结束阶段进行持续的协商,耗尽无氧能量的储备,以达到肌肉糖原的极低值和/或仅在比赛结束时达到体内平衡紊乱的临界水平,从而获得最佳运动表现。运动员比赛开始时采用较快的起搏策略主要由 RPE 决定,不会对其生理方面造成影响,受情感知觉的影响较大,也有战术方面的考虑。

此外,通过对比近3年世锦赛发现,世界高水平运动员的成绩在逐年提升。

3.3 国内外优秀运动员的配速策略对比分析

在女子 10000 m 比赛中,我国运动员分段速度整体低于国际水平,尤其是冲刺前的两个阶段。从能力水平上来看,我国运动员本身低于世界水平,这包括先天性因素,只能通过训练和改变配速策略减小差距。我国运动员初始速度较低,可能是由于领跑者的速度决定的。中间过程起伏较大,会造成在氧气积累阶段能耗较大,导致最后冲刺时所能利用的能源减少,无法维持最佳冲刺速度,冲刺时速度下降。我国优秀女子 10000 m 运动员的平均速度水平均存在冲刺后速度下降的问题。之前的研究对此进行了解释。Fukuba 等人发现,如果 10000 m 比赛的起跑速度低于疲劳阈值的速度,运动员则无法通过最后冲刺弥补起跑丢失的时间。但就国内选手来说,冲刺前本来就没有达到很好的能量储备,比赛最后且不说无法覆盖前面导致的速度下降,就连最终的冲刺都无法保证,成绩可见一斑。Tucker 等人(Tucker et al., 2006)调查了 34 项 10000 m 世界纪录,发现在这 34 项世界纪录中有 33 项的第 1 km 或最后 1 km 的速度大于中间阶段的速度,而中间阶段的速度则一直保持在一个相对平稳的状态。而我国运动员在中间阶段速度的起伏较多,影响了能量储备。此外,RE 是决定运动表现的关键因素。当以正常速度比赛时,经验丰富的运动员可以无意识地选择将能耗降到最低的步长和步频。在比赛过程中,在一定速度下,运动员能量消耗越少,就越轻松,冲刺阶段所积累的加速储备就越高,相同条件下运动表现相对较好。Buckalew 等人发现,女性跑步者在马拉松过程中跑步速度的下降主要是由于步长的缩短,而节奏始终基本保持不变。研究表明,间歇跑、力量训练、高原训练都以提高 RE。因此,通过提高 RE 来提高运动表现是教练员和运动员可以考虑的一种有效的方式。

本研究通过对比发现,国外优秀运动员分段速度的离散程度较大,也就是说,不同的运动员在每一段距离的配速差异较大。造成这种情况的原因可能是由于在不同的比赛中运动员选择的配速策略不同,分段速度也就存在一定的差异。比如说,运动员在较快起跑之后,速度可能出现一定程度的下降,然后维持在平稳的水平,最后进行加速。再比如说,有的运动员在冲刺前的

阶段会有意无意地降低速度,以做好冲刺前的准备,蓄积能量,达到最后的爆发,取得较好的运动成绩,达到理想效果。这是因为在不同的比赛中,战术的考虑也很重要。因为在某些情况下,奖励是基于终点位置的,而不是终点时间,即使在同一项目的同一比赛中运动员的配速策略也是有所不同的。此外,在某些情况下,教练员可能会建议运动员在第1公里时跑的比平时快,以便能够建立一个良好的位置,或者是在比赛结束阶段的冲刺之前选择将自己置于其他运动员之后,这样能够使自己的能量消耗达到一个很好的节省作用,这是大家熟知的跟随战略。Kyle等人指出,当一个跑步者落后另一个跑步者2 m时,空气阻力减少了40%,随之减少了3%的能量消耗。在中长跑的比赛中,无论是高水平的还是普通的一般型比赛,跟随战略被广泛应用,在很多的比赛中都能够看到,是一种提高运动成绩切实可行策略,不过还要看时机以及领跑者的速度和能力如何。在比赛中使用这种战略时,应该全方位分析各种情况,以达到其最佳的效果。

此外,我国优秀运动员分段速度的离散程度较小。即不同的运动员在每一段距离的配速差异较小,本研究中的所有国内优秀运动员在10000 m比赛中的运动表现较为接近。造成这种情况的原因可能是由于国内数据获取困难,分析的国内数据少,年份较为集中,整体水平起伏较小,还可能是运动员选择的配速差异较小。当然,最重要的是国内优秀运动员本身能力水平没有太大差异,而世锦赛的成绩是汇集了世界上各个国家最为优秀的选手,因此,造成了这种情况。有趣的是,近几年来,国外女子10000 m优秀运动员的成绩在逐年升高,而我国的10000 m水平却始终停滞不前,甚至在下降,这应该引起我们的思考,自身能力无法决定,应该从技战术等方面提高改进,争取获得更好的运动成绩。

3.4 张德顺与世界优秀运动员配速策略对比分析

通过研究可知,近几年来,我国女子10000 m运动员中取得的最好成绩是张德顺在2018年雅加达亚运会上的成绩,当时获得了第3名。同样,与世界水平相比,配速方面还是存在很大的差距。有趣的是,张德顺的成绩与当时前2名的亚洲运动员相比,差距却不是特别大(见图4)。从中反映出了一个问題,亚洲运动员本身的能力大都在一个水平,运动能力相差不大,

与世界其他地区,如欧美和非洲地区的运动员相比,在身体机能和运动能力方面,我们自身的能力水平在田径 10000 m 项目上还是有很大的差距的。这是无法改变的,但我们可以从其他方面,如配速策略等尽量来缩小这个差异。

整体观察张德顺 2019 年在国内两次大型比赛中取得的成绩,均没有达到 2018 年雅加达亚运会时的水准(见图 5),但值得注意的是,国内比赛均取得了冠军,不可否认,张德顺已经是我国 10000 m 领域最优秀的女子运动员。造成这种现象的原因与领跑者和竞争者有很大的关系。在 10000 m 比赛中,领跑者的速度相当重要。亚运会上,张德顺跟随水平较高的运动员进行比赛,他的配速策略也相应发生了变化,起始速度很快,中间过程虽然有所起伏,但能够保持一定高的速度,虽然加速时没有保持冲刺,但却取得了高于国内比赛的成绩。国内比赛时,起始速度和中间速度很低,虽然能够储备能量完成冲刺,但是再快的冲刺也无法弥补之前落下的距离。综上,在使用较快的起始和中间速度(国外优秀运动员的配速策略)的时候,虽然冲刺速度下降,但也比使用较慢的起始和中间速度、较快的冲刺(国内优秀运动员的配速策略)取得的成绩要好。因此,我们是否可以进行这样的模拟比赛与训练呢?提高国内运动员的起始和中间速度,尽量保持较高的冲刺,这就要从提高运动员运动过程中的能量储备做起,采取各种训练手段和策略,提高速度,同时减少冲刺前运动员的能量消耗,这样,运动员的运动水平可能会得到大幅度提升,需要进一步的研究去验证。当然,配速策略的重要之处在于,既要在前半部分达到理想的速度,又要在最后阶段保持持续冲刺,二者缺一不可,这需要生理、心理、战术、生物力学以及环境等的共同作用。

战术的重要作用不言而喻,国内比赛中,张德顺均未达到亚运会水准,是因为与领跑者速度有关,领跑者的速度改变了她原有的国内比赛时的配速策略。大多数国外优秀运动员在 10000 m 比赛中采用跟随战略。之前的研究验证了其好处,但也存在一定的缺点,对于运动水平不同的运动员来说,是不同的。有研究指出,前方 1m 处竞争者的屏蔽可以将单圈时间减少 1s。我国运动员本身能力水平低,起跑速度低,当然领跑者的速度也很低,这就造成整体速度低于国际水平。大多数对配速的研究都是在模拟比赛的条件下进行的,各种环境以及人为因素是受控的,而比赛中会发生各种意外情况迫使

运动员改变速度策略。此外,跟随战略对于那些能力不足的选手来说也是有一定风险的,顶级水平运动员可能会以低于理想速度的方法进行跑步,速度节奏可能随整体节奏变化,而成绩稍差的运动员可能会追赶领先的跑步者,这增加过早疲劳的风险,也可能导致速度的决定性和渐进性降低。因此,最重要的是运动员自身的能力水平,比赛中根据自身水平随机应变至关重要。

同样,影响当前肌肉工作速度的心理因素也被认为是运动员选择节奏策略的重要因素,其中最重要的两个因素是 *RPE* 和情感心理认知。多数选手比赛时由于竞争对手的影响选择和自己差距较大的初始速度,超过承受的生理范围,使得成绩下降。*Bertuzzi* 等人研究发现在起搏阶段(前 400 *m*), *RPE* 占 72%, *PV* 解释了中间阶段(400-9600 *m*)差异的 52%,而最大摄氧量和最大动态强度占额外的 23%和 5%。因此,在 10000 *m* 跑步过程中,跑步节奏的影响因子是一个从感知(开始阶段)到肌肉以及生理因素(中间以及最后阶段)的发展过程。

4 结论

4.1 配速策略是决定运动员最佳运动表现的关键,国内外运动员在 10000 *m* 项目中存在的较大配速差距主要是由运动员本身的能力水平决定的。

4.2 国外女子的配速策略分为 3 个阶段:较快的起搏阶段(0-2 *km*),平稳加速的中间阶段(2-8 *km*),加速冲刺阶段(最后 8-10 *km*)。我国运动员的配速策略也分为 3 个阶段:快速起跑后速度下降(0-3 *km*);中间阶段速度起伏(3-9 *km*);最后阶段快速冲刺(最后 1 *km*)。国外选手在快速起跑后速度上升,国内运动员速度下降,且国外运动员中间过程速度平稳上升,国内运动员速度起伏。

4.3 我国优秀运动员张德顺采用与国外相同的策略时成绩最好,但后程冲刺存在问题,应提高运动员中间过程的能量积累,在保持起跑和中间阶段较快的速度时,提高冲刺水平。

世锦赛女子铁饼冠军冯彬投掷技术运动学特征研究

陈栋 北京体育大学

近年来,我国女子铁饼项目竞赛成绩的整体水平出现了较为明显的增长,在2022年尤金田径世界锦标赛中冯彬以69.12米夺得金牌,时隔11年我国女子铁饼项目再度获得世锦赛冠军,这也刷新冯彬个人最好成绩,作为我国传统优势项目的女子铁饼在世界舞台具有一定的影响力。此次世锦赛冯彬表现出色,但在去年的东京奥运会上冯彬未能晋级决赛,资格赛的三次试投成绩中仅为60.45米,经历一段时间的低谷后,冯彬及时进行自我调整,并在今年的尤金田径世锦赛中夺得冠军,冯彬在2021—2022年多次大幅度提升个人最好成绩,其在2021—2022年期间的投掷技术已发生巨大的改变,因此探究我国优秀女子铁饼运动员冯彬投掷技术的变化尤为重要。

当前对铁饼投掷技术的研究不断深入,通过对我国优秀女子铁饼运动员冯彬在2021—2022年比赛成绩为61.77米—66.00米之间的6次试投进行三维录像拍摄,从时间、空间和时空三个方面得出冯彬投掷技术的运动学数据,并对得出的运动学数据进行分析,揭示冯彬投掷技术的具体变化特征,从铁饼投掷技术角度出发,探究冯彬多次刷新个人最好成绩的原因,旨在为冯彬打破70米提供理论性的支撑,同时能为我国女子铁饼运动员的投掷技术完善提供科学化参考依据,从而提高我国优秀女子铁饼运动员的竞技水平。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

以我国优秀女子铁饼运动员冯彬的投掷技术为研究对象,以冯彬在2021—2022年比赛成绩为61.77米—66.00米之间的6次试投的投掷技术变化为研究内容。冯彬在2021年东京奥运会上发挥失常,未能表现出自身真正的竞技水平,这导致冯彬一度想到退役,但经过其教练李维宾指导及自身的心态调整,冯彬再次积极进行训练,并在2021年西安全运会上以刷新个人最好成绩的65.85米夺得冠军。2022年投掷项群通讯赛是冯彬今年的第一场比赛,再次刷新个人最好成绩。2022年尤金田径世锦赛上冯彬又以大幅度提高个人最好成绩夺冠,冯彬在2021—2022年期间多次刷新个人最好成绩。通过本人的跟队观察发现,冯彬尤为重视技术训练,2021—2022年冯彬

的投掷技术也已发生巨大的变化,因此探究冯彬投掷技术变化特征尤为重要。冯彬的个人具体情况见表 1。

表 1 冯彬个人基本情况表

姓名	出生年份	身高(cm)	体重(kg)	单位	运动等级	最好成绩
冯彬	1994	184	93	山东	国际健将	69.12 米

1.2 主要研究方法

1.2.1 录像拍摄法

(1)拍摄对象: 选取冯彬在 2021—2022 年期间比赛成绩为 61.77 米—66.00 米之间的 6 次试投进行录像拍摄,选取的冯彬 2021—2022 年比赛成绩具体见表 2。

表 2 选取的冯彬 2021—2022 年比赛成绩

成绩(米)	赛事名称	比赛日期	比赛地点
61.77	2021 年全国田径冠军赛暨奥运会选拔赛	2021.6.13	浙江上虞
62.08	2021 年投掷项群赛(2)暨省市分区邀请赛	2021.4.2	四川成都
63.19	2021 年投掷项群赛(1)暨省市分区邀请赛	2021.3.30	四川成都
64.77	2022 年投掷项群通讯赛	2022.4.6	山东烟台
65.66	2022 年投掷项群通讯赛	2022.4.6	山东烟台
66.00	2022 年投掷项群通讯赛	2022.4.6	山东烟台

(2)录像拍摄: 采用现场拍摄的方式进行,使用两台索尼 AX60 高速摄像机从不同角度对比赛中的技术动作进行拍摄。比赛拍摄频率设置为 100 帧/秒,其中 1 号机置于投掷圈正后面(后位摄像机)距离 10 米处,2 号机置于投掷圈右侧面(侧位摄像机)距离 10 米处,两台摄像机的摆放目的在于能够保证运动员以及铁饼能够在摄像机拍摄范围内,即为运动员预摆至最大瞬间的前 5 帧到铁饼出手瞬间后 5 帧的范围在两台摄像机的拍摄范围内,两台摄像机主光轴夹角为 60°—120°左右,镜头高度为 1.2 米左右,电子快门速度为 1/1000 秒,比赛过程中采用分段拍摄,并保持摄像机的位置不变,直到比赛结束,保存比赛视频,关闭摄像机。

使用北京体育大学科研中心的 PEAK 三维标定框架及其它辅助器材等对拍摄的空间进行标定,两台摄像机、三维标定框及大地坐标点的摆放位置具体见图 1 和图 2。对三维标定框架进行组装并放置在投掷圈的正中心,对三维标定框的位置进行调整,以确保两台摄像机能准确清楚拍摄到三维标定框架的标志杆及白球,并对两台摄像机所拍摄的每根标志杆的位置进行记录,每场比赛之前和之后对拍摄画面进行标定并建立坐标系。用地标小球建立大

地坐标系，O 为原点，A、D 为 X 轴上点，B、C 为 Y 轴上点，OA 与 OB、OC 垂直，且 OA、OB 和 OC 距离均为 1.25 米，O 点垂直于 XOY 的为 Z 轴，再用皮尺确定 O 点与其他各点的距离相同。

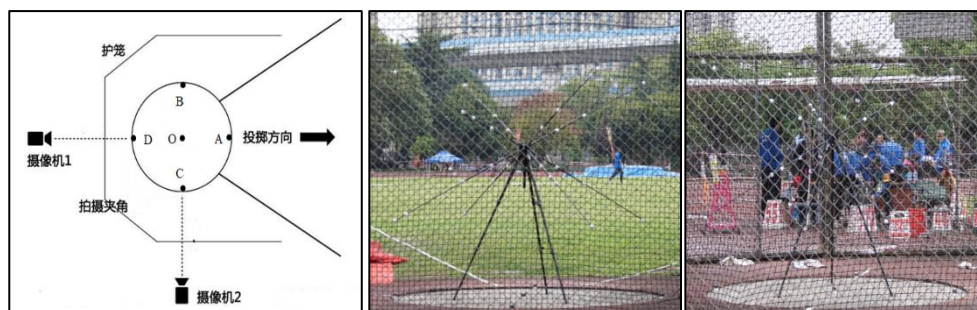


图 1 比赛现场三维标定框架及大地坐标摆放拍摄示意图

(3)视频解析：采用美国 ARIEL 公司的 APAS 运动录像分析系统。比赛视频录像的剪辑是找到运动员同一投次的后位和侧位的两个比赛视频，通过两个视频中对比运动员的同一关键时刻为标准，如：右脚离地瞬间、左脚离地瞬间等，调整两个视频使得运动员处于同一时刻，将同步后的视频进行再次检查，确保两个视频的同一运动员处于同一时刻。采用人体模型 DLT 引导图像测量系统，模型采用日本松井秀治人体模型。对三维标定框架和地标进行标定后将比赛视频录像导入已标定好的框架进行解析，共有 28 个关键人体标志点，根据铁饼项目特征其中选取 21 个关节点，并增加铁饼器械的一个附加解析点，采用逐幅解析的方法对运动员投掷技术视频进行标定，对解析数据进行低滤波平滑处理，平滑系数为 8，采用傅里叶分析法对数据进行大范围平滑，并将局部平滑和大范围平滑相结合以确定截级数据，最后通过解析系统获取所需参数的原始数据。

1.2.2 数理统计法

研究过程中，根据研究目的与研究内容，采用 Excel2016 对运动员的投掷技术指标数据进行整理和计算，从而获取运动员投掷过程中的信息参数，利用 SPSS26.0 软件对运动员的数据进行分析，以保证研究结果的准确性。

2 结果与分析讨论

根据研究的需要，并查阅铁饼技术的相关文献资料，将铁饼投掷过程统一划分为 6 个关键时刻和 5 个技术阶段，具体见图 2。6 个关键时刻为预摆

至最大瞬间设为 T_1 ，右脚离地瞬间设为 T_2 ，左脚离地瞬间设为 T_3 ，右脚落地瞬间设为 T_4 ，左脚落地瞬间设为 T_5 ，铁饼出手位置瞬间设为 T_6 ，具体见图 1。5 个技术阶段为双支撑阶段(预摆至最大至右脚离地瞬间， $T_1—T_2$)、第一单支撑阶段(右脚离地至左脚离地瞬间， $T_2—T_3$)、腾空阶段(左脚离地至右脚落地瞬间， $T_3—T_4$)、第二单支撑阶段(右脚落地至左脚落地瞬间， $T_4—T_5$)、最后用力阶段(左脚落地至出手位置瞬间， $T_5—T_6$)5 个技术阶段。



图 2 冯彬 6 个关键时刻示意图

2.1 时间特征

掷铁饼的整个过程用时短，仅有 1 秒多，合理的铁饼投掷技术应体现出平稳转动、逐渐加速、持续用力，整个投掷过程应注重完整性和连贯性，因此旋转加速过程中合理的节奏尤为重要，是否掌握合理的节奏也是反映运动员投掷技术的重要标准。时间特征主要从各阶段用时及总用时进行分析，各阶段用时则能反映出运动员的速度节奏能力，总用时则反映出运动员旋转及最后用力的速度。冯彬的各阶段用时的变化具体见表 3，各技术阶段用时占比变化见图 4。

表 3 冯彬各阶段用时变化一览表(秒)

成绩	双支撑阶段	第一单支撑阶段	腾空阶段	第二单支撑阶段	最后用力阶段	总用时
61.77	0.53	0.38	0.13	0.11	0.20	1.35
62.08	0.47	0.40	0.11	0.13	0.21	1.32
63.19	0.50	0.38	0.11	0.13	0.22	1.34
64.77	0.51	0.39	0.10	0.14	0.19	1.33
65.66	0.58	0.40	0.08	0.15	0.17	1.38
66.00	0.55	0.42	0.08	0.15	0.18	1.38

从表 3 中可发现，随着运动成绩的提高，冯彬的总用时呈现出增加的趋势，总用时的增加主要在双支撑阶段、第一单支撑阶段及第二单支撑阶段。双支撑阶段的用时增加，增大冯彬对铁饼的做功距离，预摆动作更为充分，身体处于更为扭紧的状态，右侧肌肉拉伸的效果更加充分。第一单支撑阶段的用时同样在增加，反映出冯彬在右腿后留、左腿积极蹬地的程度更为充分，冯彬的左腿支撑和右腿摆动的整体动作更为协调。第二单支撑阶段的用时增

加，有利于冯彬形成较好的超越器械效果，冯彬的左腿向投掷方向形成有效的支撑，将身体形成大幅度的扭紧状态，加快铁饼运行的速度。腾空阶段和最后用力阶段的用时则在缩短，腾空阶段的用时减少，促使冯彬从左腿支撑转换为右腿支撑的速度加快，减少了速度的损耗，在右支撑后身体积极的转动衔接。最后用力阶段用时减少，冯彬在整个旋转过程中积极快速，能将力量快速传导至上肢形成强有力的鞭打动作，增强整个运动链的爆发力。

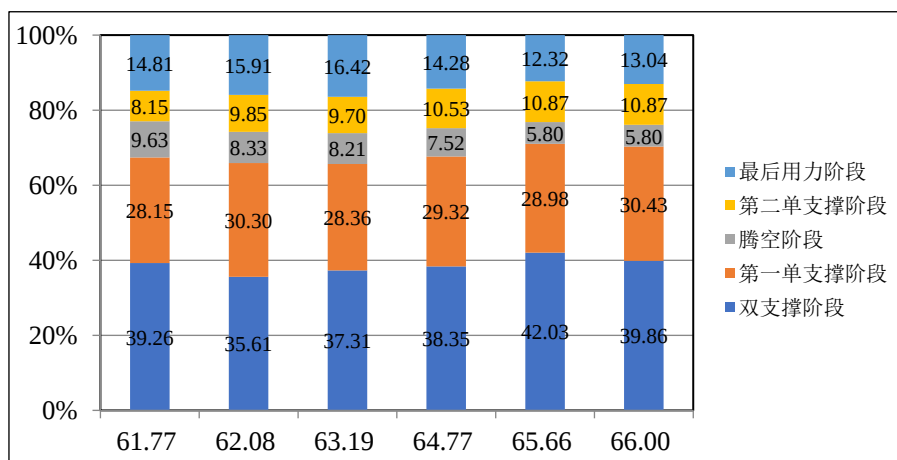


图3 冯彬各技术阶段用时占比变化图(%)

从图3可发现，冯彬在双支撑阶段、第一单支撑阶段及第二单支撑阶段的用时增加，用时的占比也在增大，但在腾空阶段和最后用力阶段的用时则在缩短，用时的占比也在减少。冯彬总用时的减少主要原因是减少了双支撑阶段和第一单支撑阶段的预摆幅度，且第二单支撑阶段减小了重心前倾幅度和超越器械的效果，这也导致腾空阶段的重心起伏较大，最后用力阶段无法有效的形成整体的爆发力。当前，冯彬的速度节奏更为合理，能够通过各个技术阶段旋转形成对铁饼的加速度传导，最后使铁饼以有效的鞭打动作出手。

2.2 空间特征

空间特征反映出各技术阶段的空间距离变化，主要从铁饼运行距离、铁饼的质心高度、身体重心高度和出手高度进行具体分析。铁饼运行距离是反映出铁饼与运动员身体之间用力关系的重要指标，也可表明运动员动作幅度的大小。冯彬的铁饼运行距离变化具体见表4，各技术阶段铁饼运行距离占比见图5。

表 4 冯彬铁饼运行距离变化一览表(米)

	双支撑阶段	第一单支撑阶段	腾空阶段	第二单支撑阶段	最后用力	总距离
61.77	1.83	2.59	1.15	0.97	2.76	9.30
62.08	1.77	2.55	1.11	1.07	2.79	9.29
63.19	1.95	2.54	0.98	1.02	2.78	9.27
64.77	1.96	2.57	1.13	1.15	2.79	9.60
65.66	1.99	2.63	1.27	1.23	2.81	9.93
66.00	2.03	2.65	1.17	1.19	2.95	9.99

从表 4 可发现,铁饼运行距离随成绩的提高出现增加的趋势,在各技术阶段均出现铁饼运行距离的增长的态势。双支撑阶段是获得饼速的重要技术阶段,双支撑阶段的铁饼运行距离增长反映出冯彬的上肢的柔韧性较好,预摆结束后躯干的扭紧效果佳,旋转的身体幅度大。第一单支撑阶段的铁饼运行距离增加,冯彬右肩伸展更为充分,有助于充分的利用投掷圈的空间,使得铁饼有着高效的加速度距离。虽然腾空阶段的用时短,可减少速度的损耗,但用时短不应缩短铁饼运行的距离,而应增加铁饼的加速度距离,使铁饼运行速度始终处于加速状态,保持投掷动作的节奏感和连贯性。第二单支撑阶段,冯彬的右侧稳固支撑,左侧支撑积极转动,转膝和转髋动作协调,躯干处于扭紧的状态,身体的伸展幅度大,促使铁饼运行距离变长,有利于力量和速度的传导,铁饼的运行距离也增加。最后用力阶段加长铁饼运行距离,有利于铁饼的再加速,这一阶段对铁饼的加速对于出手速度的起到关键作用,能实现超越器械的鞭打效应。冯彬在铁饼运行总距离的增加说明其在旋转过程中身体更为扭紧,身体旋转幅度较大,能为提高铁饼的运行速度提供足够的做功距离,且冯彬的爆发力增强,有助于加快出手速度。

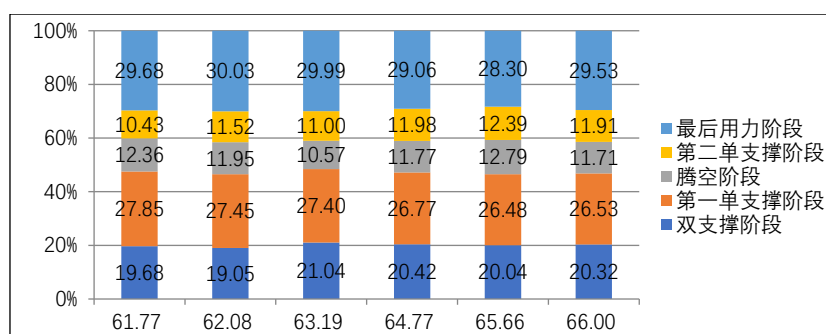


图 4 冯彬各技术阶段铁饼运行距离占比变化图(%)

从图 4 可发现,双支撑阶段、第二单支撑阶段及最后用力阶段的铁饼运行距离的占比增加,而第一单支撑阶段和腾空阶段的铁饼运行距离的占比减

少。双支撑阶段是整个铁饼投掷技术的起始阶段，双支撑阶段需要运动员通过旋转获得足够转动的动能，铁饼运行距离的占比增加有利于加长器械的加速路径，提高对器械的加速效果。第二单支撑阶段的铁饼运行距离的占比增加说明获得的铁饼加速度距离长，能为最后爆发用力创造加速度的条件。最后用力阶段是将旋转过程中对于器械的加速度进行合理的积累，并完成对铁饼的最后加速，这一技术阶段铁饼运行距离占比应有所加大。从整体上看，铁饼运行的总距离在增加，冯彬的加速度距离在增加，保持高速的铁饼运行速度，有利于提高最后用力阶段的出手速度。

依据完整的铁饼投掷技术的铁饼质心高度有两个铁饼质心低点与两个铁饼质心高点，反映出铁饼运行高度的变化。其中从第一低点向第一高点变化时，铁饼质心高度是快速增高，经过第一高点后会出现第二低点，第一高点与第二低点之间的铁饼质心高度下降幅度较小有利于减小铁饼运行速度的损耗，第二低点和第二高点均在最后用力阶段，第二低点之后的第二高点通常为铁饼的出手瞬间。冯彬铁饼质心高度低点、高点具体见表 5。

表 5 冯彬铁饼质心高度低点、高点一览表(米)

	第一低点	第一高点	第二低点	第二高点
61.77	0.90	1.65	0.91	1.78
62.08	0.84	1.62	0.84	1.72
63.19	0.87	1.63	0.87	1.76
64.77	0.88	1.60	0.90	1.80
65.66	0.85	1.63	0.83	1.75
66.00	0.81	1.56	0.90	1.74



图 5 冯彬铁饼质心高度变化示意图

从表 5 中可以发现,冯彬的铁饼质心高度最低点与最高点的差值随成绩的提高而呈现增大的趋势,冯彬铁饼质心高度的最大高低点差值增大,说明冯彬在投掷过程中有明显的高低点,利于最后用力阶段形成强有力的鞭打动作,但在第一高点与第二低点之间,随着运动成绩的提高而两者差值缩小,进一步说明冯彬对于铁饼的控制能力强,减小了铁饼运行速度的损耗,增大铁饼最后的出手速度。

身体重心高度可以反映出各技术阶段重心起伏程度。铁饼投掷技术动作是通过运动员的自身旋转加位移带动器械将铁饼掷出,身体的重心高度也会影响到铁饼运行起伏程度,并最终影响到铁饼的出手速度。

表 6 冯彬身体重心高度变化图(米)

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
61.77	1.08	0.97	1.01	1.06	0.99	1.20
62.08	1.09	0.98	1.04	1.05	1.00	1.21
63.19	1.08	0.96	1.05	1.06	1.00	1.19
64.77	1.06	0.95	1.03	1.04	0.98	1.17
65.66	1.04	0.92	1.02	1.03	0.99	1.18
66.00	1.02	0.90	1.01	1.01	0.98	1.16

从表 6 可以发现,冯彬各个关键时刻的身体重心高度随成绩的提高呈现下降趋势,冯彬重心高度的下降有助于增加身体旋转过程中的向前性,增大摆动的距离,同时有助于减少腾空阶段的用时,降低铁饼运行速度的损失,有利于力量的传导和身体保持扭紧状态。重心高度的下降也说明冯彬的旋转投掷技术动作流畅,铁饼运行的轨迹平稳,始终保持加速度的节奏。

出手高度是影响运动成绩主要因素之一,与运动员的身体形态、投掷技术特点的相关性较大。运动员的出手高度受到众多因素影响,其中运动员的身体形态和投掷技术动作对出手高度的影响较大,若运动员的自身形态高大,臂展更长,且投掷技术采用跳投技术,通常出手高度就会越高。

表 7 冯彬出手高度变化(米)

成绩	61.77	62.08	63.19	64.77	65.66	66.00
出手高度	1.78	1.72	1.76	1.80	1.75	1.74

由表 7 可发现,冯彬的出手高度普遍较高,2017 年伦敦田径世锦赛女子铁饼前三名运动员的出手高度为 $1.51\pm 0.08\text{m}$,冯彬的出手高度是显著高于世界优秀女子铁饼运动员,这是由于冯彬采用的是跳投技术,再加之身体形态高大,因此出手高度普遍较高,但冯彬在控制铁饼飞行姿态、方向以及

技术稳定性较好。

2.3 时空特征

时空特征主要从拉引角、肩髋扭转角、出手角度及出手速度等四个方面进行分析。拉引角反映出运动员肩臂伸展情况，肩髋扭转角则是能有效反映出运动员身体旋转扭紧的状态。拉引角与肩髋扭转角是提高出手速度的重要技术参数，运动员应保持较小的拉引角和较大的肩髋扭转角直到铁饼出手的瞬间。

表 8 冯彬拉引角、肩髋角变化一览表(度)

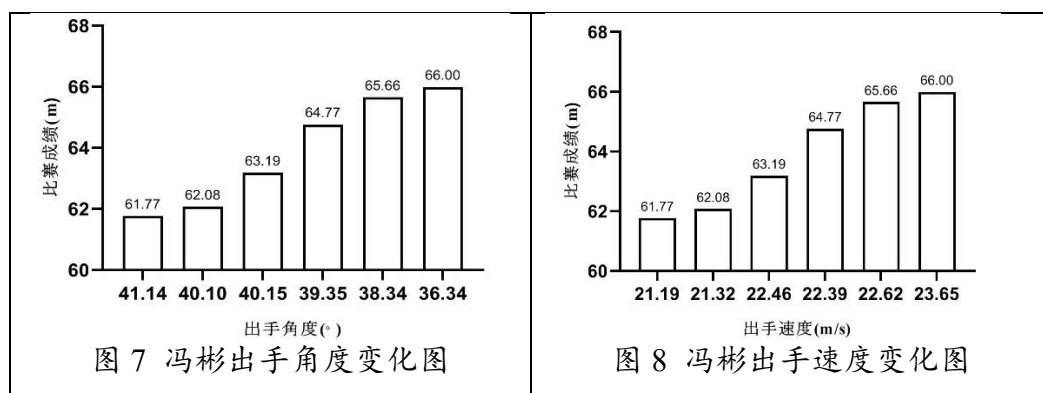
	T1 拉引角 肩髋角	T2 拉引角 肩髋角	T3 拉引角 肩髋角	T4 拉引角 肩髋角	T5 拉引角 肩髋角	T6 拉引角 肩髋角
61.77	118.20 100.90	147.94 48.38	159.24 19.20	149.81 45.37	148.04 42.75	185.36 -7.82
62.08	112.79 101.48	149.41 50.25	153.82 20.20	156.73 47.81	143.29 49.85	175.74 -10.39
63.19	108.98 108.44	134.86 51.57	135.62 22.57	146.37 43.89	136.97 47.77	170.87 -11.56
64.77	105.08 111.94	132.19 51.54	136.81 23.53	133.21 47.50	138.63 49.93	172.22 -14.92
65.66	104.60 115.08	124.28 52.10	131.90 26.80	130.00 53.80	130.80 51.90	186.80 -15.70
66.00	100.56 119.64	122.62 57.08	125.45 29.50	129.94 59.48	128.83 53.69	169.27 -17.09

从表 8 可发现，随着成绩的提高，冯彬在关键时刻 T1 拉引角变小，相反肩髋扭转角则出现增大的趋势，关键时刻 T1 是完整的铁饼投掷技术的开端，身体的预摆幅度达到最大，也是整个投掷技术旋转过程中上下肢的扭紧最大的时刻，冯彬在关键时刻 T1 时提高自身的身體扭紧程度，预摆结束后，身体的重心主要靠近右髋关节，加强了右臂向后的伸展幅度，从而有利于加大对铁饼的做功距离，提高铁饼运行速度。关键时刻 T2 时，拉引角变小，而肩髋扭转角呈现增大趋势，冯彬保持较好的躯干扭紧状态，有利于提高旋转的速度。关键时刻 T3 时，随成绩的提高，拉引角变小，而肩髋扭转角变大，有利于冯彬在进入腾空阶段之前，身体快速转体向前，并保持右臂的伸展幅度，以身体带动投掷臂进行转动。关键时刻 T4 时，冯彬的拉引角变小和肩髋扭转角的变大，能使右脚着地实现快速的蹬转发力，并保证下肢能向投掷方向持续运动，增加对于器械的超越效果。关键时刻 T5 时，冯彬的左腿形成有力的支撑，身体逐渐打开，较小的拉引角度和较大的肩髋扭转角度，

为右肩、右臂的积极向前挥摆创造条件，以完成最后对铁饼的加速。关键时刻 T6 时拉引角减小，而肩髁扭转角为负数，且负数值随成绩的提高有增大的趋势，说明冯彬的右肩明显领先于右髁，且在铁饼出手瞬间能够保持身体扭紧状态，能更好地利用躯干转动增加铁饼的出手速度，超越器械的程度更为充分，拉引角的减小，同时增大铁饼做功距离，也有利于出手速度的增加。

从整体上看，随着成绩的提高，冯彬的拉引角呈现出减小的趋势，而肩髁扭转角则为增大的趋势。冯彬运动成绩的提高得益于在整个投掷动作过程中右臂的伸展幅度明显变大，身体的扭转效果较好等因素。

适宜的出手角度有助于提高出手速度，从而影响到铁饼的飞行距离，因此出手角度是影响铁饼成绩的重要因素。Leigh 等对于不同的精英运动员，铁饼的出手角度具有个性化差异，最佳的出手角度在 35° 至 44° 不等。



从图 7 可发现，随着成绩的提高，冯彬的出手角度呈现出减小的趋势，冯彬的出手角度减小幅度达到 4.8 度，出手角度的减小可以保证铁饼飞行的向前性。2017 年伦敦田径世锦赛女子铁饼前三名运动员的出手角度为 36.17 ± 1.96 度，而冯彬在投出 66.00 米时的出手角度为 36.34 度，随着成绩的提高，冯彬的出手角度在减小，并与国外优秀运动员不存在差距。

出手速度是影响铁饼运动成绩的关键因素之一。Vitasalo 等研究认为出手角度与出手速度之间存在相关，出手角度的减小可能会增加铁饼的出手速度，从图 7 和图 8 可发现，随着成绩的提高，出手角度在减小，相反出手速度则在增加，这也说明冯彬减小了出手角度，有助于提高其出手速度。

出手速度对于成绩的影响较大，冯彬采用的是跳投技术，加长铁饼做功

距离,且能形成稳固的支撑,充分发挥腰部和胸臂转动,为髋和躯干用力提供用力保证,因此出手速度增加。2017 年伦敦田径世锦赛女子铁饼前三名运动员的出手速度为 $24.78\pm 0.74\text{m/s}$,虽然冯彬的出手速度随着运动成绩的提高而增加,但在今后的训练中,仍应重点提高出手速度。

3 结论

3.1 时间特征,冯彬的整个技术阶段速度节奏更为合理,变化主要体现在增加双支撑阶段、第一单支撑阶段及第二单支撑阶段的用时,增大冯彬对铁饼的做功距离,身体处于更为扭紧的状态,右侧肌肉拉伸的效果更加充分。缩短腾空阶段和最后用力阶段的用时,使得整个旋转过程中积极快速,能将力量快速传导至上肢形成强有力的鞭打动作,增强整个运动链的爆发力。

3.2 空间特征,冯彬的投掷技术变化主要体现在双支撑阶段、第二单支撑阶段及最后用力阶段的铁饼运行距离的占比增加,而第一单支撑阶段和腾空阶段的铁饼运行距离的占比减少,但铁饼运行的总距离在增加,身体旋转幅度较大,能为提高铁饼的运行速度提供足够的做功距离;冯彬铁饼质心高度的最大高低点差值增大,但在第一高点与第二低点之间差值缩小,利于最后用力阶段形成强有力的鞭打动作;冯彬身体重心高度在各个关键时刻的身体重心高度呈现下降趋势,有助于增加身体旋转过程中的向前性,增大摆动的距离;冯彬出手高度普遍偏高,但在控制铁饼飞行姿态、方向以及技术稳定性较好。

3.3 时空特征,冯彬的投掷技术变化主要体现在拉引角呈现出减小的趋势,而肩髋扭转角则为增大的趋势,冯彬在整个投掷动作过程中右臂的伸展幅度明显变大,身体的扭转效果较好;冯彬的出手角度呈现出减小的趋势,出手角度的减小可以保证铁饼飞行的向前性;冯彬的出手速度在增加,但在今后的训练中,仍应重点提高出手速度。

★.《田径科技动态》编委会:主席:于洪臣;副主席:田晓君、赵杰修。

主编:苑廷刚;副主编:刘冉、王国杰;编辑:韩鹏鹏、冷欣、刘嘉伟、侯金宝。

★.联系人:韩鹏鹏;电话:010-87182520、13233033817,微信名:hpp9797;E-mail:tkshpp@163.com; yuantinggang@ciss.cn。

★.定价为 15 元/本,全年 12 期为 1 份,共 6 本/份,全年定价为 90 元/份。