

冰质条件与短道速滑运动成绩相关性

——基于 CO₂ 跨临界直冷制冰技术的数据

穆 亮 李海霞 柯雁容 吴 迪 贺 鹤 赵明元

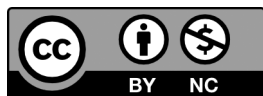
哈尔滨体育学院冬季奥林匹克学院，哈尔滨

摘 要 | 北京冬奥会冰上项目场馆采用 CO₂ 跨临界直冷循环技术，不仅可以为减少碳排放，而且也可以有效保证冰道表面的平整度和稳定性。一般认为，冰质条件与短道速滑运动成绩之间存在明显的相关性。但是这一点只能通过运动员口述得以体现，缺少量化这种关系。为了通过数据证明短道速滑比赛场馆冰面质量因素对提高竞技成绩的影响，本研究选取 2022 年第 24 届北京冬季奥林匹克运动会以及相临近世界锦标赛短道速滑比赛场馆冰面质量指标数据与短道速滑官方成绩进行相关性分析。通过此项研究结论可以为提高冰上项目运动员运动表现以及运动成绩提供技术基础。研究结果表明，男子 500 米、女子 500 米以及女子 1000 米三个项目与场馆冰道质量呈现显著正相关性，皮尔逊相关系数为分别 0.982、0.562 以及 0.588。另外，男子 1000 米成绩与场馆冰道质量呈现正相关，皮尔逊相关系数为 0.266。数据证明，北京冬奥会冰上项目场馆采用 CO₂ 跨临界直冷循环技术为短道速滑运动员提高成绩提供了重要的科技保障。

关键词 | 短道速滑；冰质条件；运动成绩；北京冬季奥运会

Copyright © 2022 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



基金项目：国家重点研发计划课题，制冰机研发及应用示范（课题 4 直冷冰场冰质需求），2021YFF0306804。

通讯作者：赵明元（1976-），男，黑龙江省克山人，讲师，博士，研究方向：体育教育训练学。

文章引用：穆亮，李海霞，柯雁容，等. 冰质条件与短道速滑运动成绩相关性——基于 CO₂ 跨临界直冷制冰技术的数据 [J]. 中国体育研究, 2022, 4 (4) : 232-240.

<https://doi.org/10.35534/scps.0404024>

1 引言

制冰机是人工冰场建设的关键核心,从历届冬奥会冰场来看,主要采用氟利昂等人工合成制冷剂技术或者氨制冷技术,前者具有严重的温室效应问题、后者具有安全隐患。以二氧化碳(CO₂)为制冷剂、冰面下直接蒸发的制冰机技术被认为是一种绿色低碳、高效节能的方案。此次北京冬季奥林匹克运动会以绿色、科技冬奥为契机研发、设计和建造了具有自主知识产权的 CO₂ 跨临界直冷制冰机组,在首都体育馆冰场进行示范应用,服务冬奥会和国家冰雪战略,这是自 1924 年法国夏蒙尼第一届冬季奥运会迄今为止首次采用的制冰技术,碳排放量接近于零。突出了北京冬奥会“科技、智慧、绿色、节俭”的特色。

这项技术的应用回应了《蒙特利尔议定书基加利修正案》《奥林匹克 2020 议程》等环保共识(M Schnitzer, et al., 2019)、“十四五”能耗“双控”和 2030 年前碳达峰(Di Wang, et al., 2019),以及全民健身冰雪运动的持续开展(Jiaming Zhang, 2020)等三个方面的要求。CO₂ 跨临界直冷制冰技术主要体现为以下两个方面。第一,工质变化。常用制冰工质的全球变暖潜能值(GWP)差异较大(McLinden MO, et al., 2019),因而选用高效并且低 GWP 制冷工质是践行北京冬季奥林匹克运动会绿色环保理念。第二,工艺变化。以直冷制冰技术代替间冷制冰技术。直冷制冰技术是直接(膨胀)供冷将冰场的冷却排管作为制冷循环中的蒸发器,制冷剂通过输送泵循环机械设备直接膨胀制冷。

相对间冷系统而言,直冷制冰技术可以保证冰上运动项目场地冰面温度均匀(W Lin, et al., 2019),并且冰面温差不超过正负 0.5℃。冰面温差越小,冰面的平整度和稳定性就越好,也就越可以保短道速滑赛事冰面的质量优质率。

那么,CO₂ 跨临界制冷循环技术提高了冰面质量优质率是否有利于运动员的稳定发挥。对此问题,本研究 2022 年第 24 届北京冬季奥林匹克运动会短道速滑官方成绩和时间相近的三次国际赛事成绩进行比较,采用冰场赛道冰质与运动员成绩相关性分析的方法加以检验。通过此项研究结论可以为提高冰上项目

运动员运动表现以及运动成绩提供技术基础。

2 研究对象与研究方法

2.1 研究对象

本文以 2022 年北京冬季奥林匹克运动会首都体育馆冰质条件下短道速滑成绩为研究对象（表 1），主要基于以下三点考量。

表 1 首都体育馆冰质数据（部分）
Table 1 Capital stadium ice data (partial)

Date	Time	Thickness of ice (cm)	ice surface temperature (C°)	Indoor Temperature (C°)	ice condition (good\ normal\abnormal	indoor humidity(%)
2.13	18:13	4.7	-6.6	17.2	G	23.8
2.13	19:23	4.7	-6.2	18.2	G	25.6
2.13	20:10	4.7	-6.9	18.5	G	25
2.15	8:07	4.7	-6.8	16.5	G	12.6
2.15	12:46	4.7	-6.7	16.8	G	18.7
2.16	18:45	4.6	-6.9	16.8	G	17
2.16	19:48	4.6	-7.1	17.5	G	25
2.16	20:53	4.6	-7.2	17.8	G	20

第一，在体育比赛中，顶尖选手之间的差距往往很小。运动员的装备和服装为提高运动员的运动表现和竞技成绩提供了辅助作用，（Brownlie, et al., 2004）。除此以外，需要考虑环境和场地相关因素对提高竞技成绩的影响（Jill Borresen, 2008；Stephen C. Hollings, et al., 2012）。

第二，场馆采用新的制冰技术。由于场馆采用 CO₂ 跨临界直冷制冰技术，可以为冰上竞赛项目提供相对稳定的冰道质量，冰场硬度均匀，更有利于运动员出成绩。

第三，较为理想的运动空间。研究表明，比赛中存在着一些诸如场地高度、天气条件、人群噪音和运动员的身心健康不能控制潜在的混杂变量（Kuper and Sterken, 2008）。因受疫情防控需要，本届冬奥会滑冰赛事场馆内观众较人数少，极大地减少了人为因素介入对运动员成绩的影响。

2.2 研究方法

2.2.1 数据的来源与收集

本研究目的是通过收集记录与整理赛事运动员成绩,总结冰场赛道冰质对运动员成绩的影响规律,分析二氧化碳跨临界直冷冰场对冰上运动项目运动员成绩影响规律。对此,本研究以短道速滑为例,使用的数据是主要来自三个方面。第一,场地参数来自短道速滑比赛场地首都体育馆,主要指标包括时间、室内温度、室内湿度、冰道厚度、冰道硬度、冰道表面温度以及冰面质量优质率等;第二,2022 年第 24 届北京冬季奥林匹克运动会短道速滑官方成绩。第三,从国际滑冰联合会(ISU)网站获取与北京冬奥会奥运最近两次世界单程锦标赛或世界杯短道速滑成绩。

2.2.2 数据整理与分析

由于短道速滑比赛,运动员在转弯的过程中,身体要尽量靠近圆弧的切线,因为这样才是最短路径;同时左肩要明显低于右肩,完成蹬冰动作。重心的变化,在短道滑的时候,人的两个脚的冰刀,基本上是接触于冰面的,所以冰面也会给这个人一个斜着的作用力,这个作用力可以提供人的向心力,冰质的好坏和均匀程度是保障弯道高速滑行的重要因素,与获得优异成绩有重要关系。

为了验证这种关系,分别对短道速滑男子 500 m、女子 500 m、男子 1000 m 和女子 1000 m 等 4 个单项的比赛结果进行了分析,未列入男子 1500 m、女子 1500 m 和接力比赛。并且,因受伤、疾病或跌倒导致的比赛结果差异被排除在比较之外。比较每组滑冰运动员的比赛结果,并记录成绩之间的差异,用来探究 CO₂ 跨临界直冷制冰技术冰质条件与高水平运动员速度滑冰成绩之间的关系。所有的分析采用 SPSS 26.0。首先,对场馆基础条件以及短道速滑项目比赛成绩进行描述统计;其次,将 CO₂ 跨临界直冷冰场赋值为 1,其他场馆赋值为 2,最后,采用 Person 系数进行描述与分析 CO₂ 跨临界直冷制冰技术冰质条件与高水平运动员速度滑冰成绩之间的相关性。其中,为 $r>0$ 为正相关,显著性水平通过“*”的数量表示。

3 结果与发现

3.1 短道速滑成绩数据特征

数据显示（表 2），北京冬奥会（CHN）短道速滑男子 500 米决赛 8 人，比赛成绩平均值（M）为 40.934 秒，标准差为（SD）为 0.423。女子 500 米决赛运动员比赛成绩平均值（M）为 43.6621 秒，标准差（SD）为 0.20721。男子 1000 米比赛成绩平均值（M）为 94.776 秒，标准差（SD）为 5.164。女子 500 米比赛成绩平均值（M）为 42.846 秒，标准差（SD）为 0.256。女子 1000 米比赛成绩平均值（M）为 90.972 秒，标准差（SD）为 4.485。

表 2 北京冬奥与近期大赛短道速滑成绩

Table 2 Beijing Winter Olympics and recent competition short track speed skating results

Year	Event	N	Man (500 m)		N	Women (500 m)		N	Man (1000 m)		N	Women (1000 m)	
			M	SD		M	SD		M	SD		M	SD
2022	CHN	8	40.934 ± 0.423		8	42.846 ± 0.256		7	94.776 ± 5.164		9	90.972 ± 4.485	
2021/22	JPN	7	44.011 ± 6.310		8	43.662 ± 0.207		8	92.324 ± 9.131		8	99.505 ± 12.801	
2021/22	NED	8	43.688 ± 8.426		8	45.247 ± 6.965		9	85.401 ± 1.739		9	91.189 ± 2.367	
2021/22	HUN	8	44.421 ± 6.533		6	43.203 ± 0.589		6	85.275 ± 1.069		6	98.019 ± 9.645	

2021/22 国际滑联世界杯赛名古屋（日本 JPN）男子 500 米决赛运动员比赛成绩平均（M）为 44.011 秒，标准差为（SD）为 6.31。女子 500 米决赛运动员比赛成绩平均值（M）为 43.662 秒，标准差（SD）为 0.207。男子 1000 m 决赛运动员 8 人比赛成绩平均值（M）为 92.324 秒，标准差为（SD）为 9.131。女子 1000 m 决赛运动员 8 人，比赛成绩平均值（M）为 99.5050，标准差（SD）为 12.801。

2021/22 国际滑联世界杯赛多德雷赫特（荷兰 NED）男子 500 米决赛运动员比赛成绩平均值（M）为 45.247 秒，标准差（SD）为 8.426。女子 500 米决赛运动员比赛成绩平均值（M）为 45.247 秒，标准差（SD）为 6.965。男子 1000 m 决赛

运动员 9 人比赛成绩平均值 (M) 为 85.401 秒, 标准差为 (SD) 为 1.739。女子 1000 m 决赛运动员 9 人, 比赛成绩平均值 (M) 为 91.189 秒, 标准差 (SD) 为 2.367。

2021/22 国际滑联世界杯赛德布勒森 (匈牙利 HUN) 男子 500 米决赛运动员比赛成绩平均值 (M) 为 44.421 秒, 标准差 (SD) 为 6.533。女子 500 米决赛运动员比赛成绩平均值 (M) 为 43.203 秒, 标准差 (SD) 为 0.589。男子 1000 m 决赛运动员 6 人比赛成绩平均值 (M) 为 85.275 秒, 标准差为 (SD) 为 1.069。女子 1000 m 决赛运动员 6 人, 比赛成绩平均值 (M) 为 98.019 秒, 标准差 (SD) 为 9.645。

3.2 冰质情况与短道速滑成绩的相关性

进一步统计采用 CO₂ 跨临界直冷循环技术北京冬奥会短道速滑男子 500 米、女子 500 米、男子 1000 米和女子 1000 米决赛成绩之间的数据间距。通过数据间距反映与北京冬奥会短道速滑成绩之间的差距, 主要考察各组成绩之间是否具有统计学意义上的显著差异, 依次来说明采用 CO₂ 跨临界直冷循环技术以后场馆冰质与运动员成绩之间的相关性。

数据显示 (表 3), 北京冬奥会短道速滑各项目与平均值间距分别为 2.329、0.8935、-5.332 和 3.949。2021/22 国际滑联世界杯赛名古屋 (日本 JPN) 短道速滑各项目与平均值间距分别为 -0.748、0.078、-2.880 和 -4.584。2021/22 国际滑联世界杯赛多德雷赫特 (荷兰 NED) 短道速滑各项目与平均值间距分别为 -0.425、-1.508、4.043 和 3.732。2021/22 国际滑联世界杯赛德布勒森 (匈牙利 HUN) 短道速滑各项目与平均值间距分别为 -1.158、0.537、4.169 和 -3.098。

表 3 北京冬奥与近期大赛短道速滑成绩相关性分析

Table 3 Beijing Winter Olympics and recent competition short track speed skating results

冰质情况	赛事	Man (500 m) 数据间距	Women (500 m) 数据间距	Man (1000 m) 数据间距	Women (1000) 数据间距	Pearson's r
1	CHN	2.329	0.8935	-5.332	3.949	0.982*
2	JPN	-0.748	0.078	-2.880	-4.584	0.562*
2	NED	-0.425	-1.508	4.043	3.732	0.266
2	HUN	-1.158	0.537	4.169	-3.098	0.588*

通过相关分析显示,男子 50 米、女子 500 米以及女子 1000 米三个项目与场馆冰质呈现显著正相关性,皮尔逊相关系数为分别 0.982、0.562 以及 0.588。另外,男子 1000 米成绩与场地冰质呈现正相关,皮尔逊相关系数为 0.266。

4 结论

对 CO₂ 跨临界直冷循环技术以后场馆冰质条件下运动员在北京冬奥会以及相近时期国际大赛中的成绩统计、描述与分析,主要目的是考察冰道冰质情况与成绩之间的相关性。数据显示,北京冬奥会冰上项目场馆采用 CO₂ 跨临界直冷循环技术为短道速滑运动员提高成绩提供了重要的科技保障。

参考文献

- [1] Schnitzer M, Haizinger L. Does the Olympic Agenda 2020 Have the Power to Create a New Olympic Heritage? An Analysis for the 2026 Winter Olympic Games Bid [J]. Sustainability, 2019, 11 (2): 442.
- [2] Di Wang, Wei He, Ruyi Shi. How to achieve the dual-control targets of China's CO₂ emission reduction in 2030? Future trends and prospective decomposition [J]. Journal of Cleaner Production, 2019 (213): 1251–1263.
- [3] Jiaming Zhang. Research on the Integrated Development of Ice and Snow Sports and National Fitness [J]. International Journal of Social Science and Education Research, 2020, 3 (8): 330–335. [4] McLinden MO, Huber ML. Evolution of Refrigerants [J]. Journal of Chemical and Engineering Data, 2020, 65 (9): 4176–4193.
- [5] Lin W, Liu X, Zhang T. Investigation of displacement and jet ventilation systems applied in an ice rink [J]. Journal of Building Engineering.
- [6] Kuper G, Sterken E. Do skin suits affect the average skating speed [J]. Sports Tech, 2008 (4): 89–95.
- [7] Brownlie L, Kyle C, Harber E, et al. Reducing the aerodynamic drag of sports

- apparel: development of the NIKE Swift sprint running and SwiftSkin speed skating suits [M] . The Engineering of Sports, 2004.
- [8] Jill Borresen. Environmental considerations for athletic performance at the 2008 Beijing Olympic Games: review article [J] . International Sport Med Journal, 2008, 9 (2) : 44–55.
- [9] Stephen C Hollings, Will G, Hopkins, et al. Hume Environmental and venue-related factors affecting the performance of elite male track athletes [J] . European Journal of Sport Science, 12 (3) : 201–206.

Correlation between Ice Conditions and Short Track Speed Skating Performance —Technical Data of Steep Direct Cooling Ice Making Based on CO₂

Mu Liang Li Haixia Ke Yanrong Wu Di He He

Zhao Mingyuan

Winter Olympicschool of Harbin Sport University, Harbin

Abstract: The Beijing Winter Olympics ice venues adopt CO₂ transcritical direct cooling cycle technology, which can not only reduce carbon emissions, but also effectively ensure the flatness and stability of the ice track surface. It is generally believed that there is a clear correlation between ice conditions and short track speed skating performance. But this can only be demonstrated through the athlete's dictation, and there is a lack of quantification of this relationship. In

order to prove the influence of the ice surface quality factor of short track speed skating competition venues on improving competitive performance through data, this study selected the ice surface quality index data of the 24th Beijing Winter Olympic Games in 2022 and the adjacent world championship short track speed skating competition venues and Correlation analysis was carried out on the official results of short track speed skating. The conclusions of this study can provide a technical basis for improving the sports performance and sports performance of athletes in ice sports. The results show that the men's 500 meters, women's 500 meters and women's 1000 meters have a significant positive correlation with the ice track quality, and the Pearson correlation coefficients are 0.982, 0.562 and 0.588, respectively. In addition, the men's 1000m performance was positively correlated with the ice track quality in the stadium, and the Pearson correlation coefficient was 0.266. The data proves that the use of CO₂ transcritical direct cooling cycle technology in the ice sports venues of the Beijing Winter Olympics provides an important scientific and technological guarantee for short track speed skaters to improve their performance.

Key words: Short track speed skating; Ice conditions; Sports performance; Beijing winter olympics