

CO₂ 跨临界直冷制冰技术的冰质条件 与速度滑冰运动成绩相关性 ——以女子 3000 米为例

穆 亮 李海霞 柯雁容 吴 迪 贺 鹤 赵明元

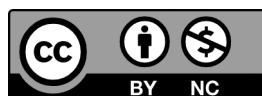
哈尔滨体育学院冬季奥林匹克学院，哈尔滨

摘 要 | 北京冬季奥林匹克运动会期间，冰上项目的主要场馆均采用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。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速度滑冰女子3000米项目官方成绩为数据基础，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。本研究选取2022年第24届北京冬季奥林匹克运动会速度滑冰女子3000米比赛为例，分析速度滑冰女子3000米项目比赛场馆冰面质量指标数据与速度滑冰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，速度滑冰女子3000米项目成绩和冰质，室内温度以及室内湿度之间，在0.01级别（双尾）上的相关性呈现显著相关，相关性系数为0.676，0.764以及0.743。此外，室内温度与室内湿度也呈现高度相关，相关系数为0.707，因此可以通过相关指标来建立模型对比赛成绩进行预测。

关键词 | 速度滑冰；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. CO₂ 跨临界直冷制冰技术的冰质条件与速度滑冰运动成绩相关性——以女子 3000 米为例 [J]. 中国体育研究, 2022, 4 (4): 224-231.

<https://doi.org/10.35534/scps.0404023>

1 引言

冬季奥林匹克冰上竞技项目对冰场质量有较高的要求。北京冬季奥林匹克运动会期间,冰上项目测试的 5 大竞赛场馆中,其中 4 个都采用了二氧化碳跨临界直接制冰技术,这种系统碳排放量接近于零。冰表面温差不超过 0.5 摄氏度,冰场硬度均匀,更有利于运动员出成绩。可以说,在竞赛场上 0.001 秒或者 0.001 米的优势,就能决定冠军的归属。身处金字塔尖的运动员,若想取得傲人的成绩,自身的努力固然非常重要,科技创新力量的支持也不容忽视。在科技赋能下,运动员不仅能提高其备战训练水平,更能在赛场上获得事半功倍的效果。对此,CO₂ 跨临界制冷循环技术为运动员更好地发挥竞技水平提供了重要的科技支持。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。

此外,这项技术的应用不仅回应了《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。

由此可见,通过 CO₂ 跨临界制冷循环技术不仅体现了北京冬奥会环保要求以及竞赛要求,更重要的是提高了冰面质量优质率。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速度滑冰女子 3000 米项目官方成绩为数据基础,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国家速滑馆冰质条件下速度滑冰女子 3000 米项目成绩 (result) 为研究对象 (表 1), 主要基于以下三点考量。

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

本项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, 本项研究以速度滑冰女子 3000 米项目为例, 使用的数字是主要来自两个方面。第一, 场地参数来自速度滑冰女子 3000 米项目比赛场地国家速滑馆, 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

运动会速度滑冰女子 3000 米项目官方成绩册。

2.2.2 数据整理

将速度滑冰女子 3000 米项目成绩 (result) 的原始数据中时间的分钟格式转化为以秒为单位。同时, 把 ice condition (good\normal\nabnormal) 中的字符转化为数字的形式。清洗后数据如表 1 所示。

表 1 清洗后数据

Table 1 Data after cleaning

Result (S)	Thickness of ice (cm)	ice surface temperature (C°)	Indoor Temperature (C°)	ice condition	indoor humidity (%)
236.93	4.8	-6.6	17.5	1	19
238.06	4.8	-6.6	17.5	1	19
238.64	4.8	-6.6	17.5	1	19
240.34	4.8	-6.6	17.5	1	19
241.44	4.8	-6.6	17.5	1	19
241.77	4.5	-6.4	18.6	1	18
242.21	4.5	-6.4	18.6	1	18
242.37	4.5	-6.4	18.6	1	18
243.40	4.5	-6.4	18.6	1	18
243.42	4.5	-6.4	18.6	1	18
243.84	4.8	-7.2	19.0	1	25
244.27	4.8	-7.2	19.0	1	25
244.97	4.8	-7.2	19.0	1	25
246.40	4.8	-7.2	19.0	1	25
247.74	4.8	-7.2	19.0	1	25
248.70	5.1	-6.1	19.0	1	25
252.28	5.1	-6.1	19.0	1	25
253.13	5.1	-6.1	19.0	1	25
253.42	5.1	-6.1	19.0	1	25
257.16	5.1	-6.1	19.0	1	25

2.2.3 描述统计

数据的描述性统计数据如表 2 所示。数据列表中共 20 个比赛成绩数据, 其中小值为 236.93 秒, 最大值为 257.16 秒。冰场表面温度在 -6.1 和 -7.2 之间, 室内温度保持在 17.5he 19.0 摄氏度之间, 室内湿度则在 18%-25% 这一区间。此外, 根据竞赛当天记录表显示冰质优质情况全部为优质, 因此赋值为 1。

表 2 描述性统计

Table 2 Descriptive statistic

	N	最小值	最大值	均值	标准偏差
Result (s)	20	236.93	257.16	247.04	204.626
Thickness of ice (cm)	20	4.5	5.1	4.711	0.132
ice surface temperature (C°)	20	-6.1	-7.2	-6.648	0.548
Indoor Temperature (C°)	20	17.5	19.0	17.450	1.048
ice condition	20	1	1	1	0.000
indoor humidity (%)	20	18.0	25.0	21.5	3.943

3 结果与发现

3.1 正态性检验

由于样本量较少，所以采用夏皮洛—威尔克进行正态性检验，由表 3 可知，速度滑冰女子 3000 米项目成绩和 Thickness of ice (cm) 的 $p<0.05$ ，即数据不满足正态性。

表 3 冰场物理指标正态性检验

Table 3 Ice rink physical index normality test

指标	统计	自由度	显著性
Resut (s)	0.873	20	0.000
Thickness of ice (cm)	0.903	20	0.001
ice surface temperature (C°)	0.953	20	0.061
Indoor Temperature (C°)	0.976	20	0.470
ice condition	0.317	20	0.000
indoor humidity (%)	0.981	20	0.628

3.2 冰场物理指标与成绩相关性分析

由于不是所有的变量都满足正态性，所以采用斯皮尔曼来进行相关性检验。由表 4 相关性表可以看出，速度滑冰女子 3000 米项目成绩和冰质，室内温度以及室内湿度之间，在 0.01 级别（双尾）上的相关性呈现显著相关，相关性系数为 0.676，0.764 以及 0.743。此外，室内温度与室内湿度也呈现高度相关，相关

系数为 0.707。

表 4 冰场物理指标与速度滑冰女子 3000 米成绩相关性

Table 4 Correlation between physical index of ice field and speed skating
women's 3000 m performance

	Result (s)	Thickness of ice (cm)	ice surface temperature (C°)	Indoor Temperature(C°)	ice condition	indoor humidity(%)
Result (s)	1					
Thickness of ice (cm)	0.676**	1				
ice surface temperature (C°)	0.372	0.261	1			
Indoor Temperature (C°)	0.764**	0.230	-0.033	1		
ice condition	0	0	0	0	0	
Indoor humidity (%)	0.743**	0	-0.204	0.707**	0	1

注：* 在 0.05 级别（双尾），相关性显著；** 在 0.01 级别（双尾），相关性显著。

4 结论

由相关性分析的结果可知，速度滑冰女子 3000 米项目成绩和冰质之间的相关性是显著的，因此可以通过这两个指标来建立模型对 Times 进行预测。

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 (4–5) : 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 [J] . The Engineering of Sports, 2004.
- [8] Stephen C Hollings, Will G, Hopkins, et al. Hume (2012) Environmental and venue-related factors affecting the performance of elite male track athletes [J] . European Journal of Sport Science, 12: 201–206.

Correlation Between CO₂ Cooling Conditions and Ice Movement Speed in Ice Making Technology —Example of Women's 3000 m

Mu Liang Li Haixia Ke Yanrong Wu Di He He Zhao Mingyuan

Winter Olympicschool of Harbin Sport University, Harbin

Abstract: During the Beijing Winter Olympics, the main venues of the ice

events all adopted the CO₂ transcritical direct cooling cycle technology, which not only reduces carbon emissions, but also effectively ensures the smoothness and stability of the ice track surface. Then, whether CO₂ transcritical refrigeration cycle technology improves the high-quality rate of ice surface quality is conducive to the stable performance of athletes. In this regard, this study uses the official results of the women's 3000 m speed skating event at the 24th Beijing Winter Olympic Games in 2022 as the data basis, and uses the method of correlation analysis between ice quality on the ice rink and athletes' performance to test. , This study takes the 24th Beijing Winter Olympic Games in 2022 as an example of the women's 3000 m speed skating competition, and analyzes the correlation between the ice surface quality index data of the speed skating women's 3000 m event venues and the official speed skating performance. 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 of the study showed that there was a significant correlation at the 0.01 level (two-tailed) between the speed skating women's 3000 m event performance and ice quality, indoor temperature and indoor humidity, with correlation coefficients of 0.676, 0.764 and 0.743. In addition, the indoor temperature and indoor humidity are also highly correlated, and the correlation coefficient is 0.707, so a model can be established to predict the game performance through relevant indicators.

Key words: Speed skating; Ice conditions; Sports performance; Beijing Winter Olympics