研究与开发

冷轧轧辊表面短划伤缺陷控制技术研究

王金星[1]，张存[1]，蔡顺达[2]，英钲艳[1]，夏添[1]，邹明聪[2]
（1.鞍钢股份有限公司冷轧厂，辽宁 鞍山 114021；2.鞍钢集团钢铁研究院，辽宁 鞍山 114009）

摘要：针对冷轧带钢轧辊在磨削过程中表面短划伤导致的缺陷问题，分析了缺陷形成的机理及其影响因素。研究发现，轧辊表面的短划伤主要体现为细长、断续的线形痕迹，其生成与砂轮振动、特性匹配不当以及磨削液参数设置不当密切相关。通过对砂轮、磨削液和磨削工艺参数的优化匹配，可以有效减少磨削过程中的短划伤。措施实施后，不仅提升了轧辊的表面质量，而且提高了磨削效率和下游冷轧产品的表面质量。通过对某公司冷轧厂轧辊磨削工艺的优化实施，经过一年半的实践证明，轧辊表面短划伤显著减少，进而大幅提升了钢板的表面质量。

关键词：磨削质量；轧辊；短划伤；砂轮振动；磨削液；工艺参数优化
中图分类号：TG113 **文献标志码：**A **文章编号：**1006-4613(2026)01-0045-05
DOI:10.3969/j.issn.1006-4613. 2026. 01. 006

Research on Control Technology for Short Scratch Defects on the Surface of Cold Rolling Rolls

WANG Jinxing[1], ZHANG Cun[1], CAI Shunda[2], YING Zhengyan[1], XIA Tian[1], ZOU Mingcong[2]
(1. Cold Rolled Strip Steel Mill of Angang Steel Co., Ltd., Anshan 114201, Liaoning, China;
2. Ansteel Iron & Steel Research Institutes, Anshan 114009, Liaoning, China)

Abstract: An analysis was conducted on the mechanisms and influencing factors of short scratch defects on the surface of cold rolling strip steel rolls during the grinding process. It was found that the short scratches on the roll surfaces, characterized as fine, intermittent linear marks, were closely related to grinding wheel vibration, improper characteristic matching and inadequate settings of grinding fluid parameters. Effective reduction of short scratches during the grinding process can be achieved through adjustments to grinding wheel, grinding fluid and grinding process parameters. These improvements not only enhanced the surface quality of the rolls but also increased grinding efficiency and the surface quality of downstream cold-rolled products. The short surfcace scratches were significantly reduced after implementing optimizations in the grinding process of rolls at a certain cold rolling mill demonstrated over a year and a half of practice, thereby substantially improving the quality of the steel plate surface.

Key words: grinding quality; roll; short scratch; grinding wheel vibration; grinding fluid; process parameter optimization

在冷轧带钢的轧制过程中，划伤是常见缺陷，导致冷轧板的涂镀效果不佳，影响下游工序和用户使用，此外还加速钢板的锈蚀[1]，造成资源浪费及材料安全性能的降低。划伤的原因主要有两种：首先是生产线设备与钢板表面的非正常接触，如导板、张力辊打滑[2]，可通过更换设备解决这些问题。其次是工作辊表面的划伤缺陷，这些在轧制时会转印到钢板[3]，需提升轧辊的磨削质量，消

王金星，硕士，高级工程师，2000年毕业于东北大学机械专业。E-mail:wjx19702000@163.com

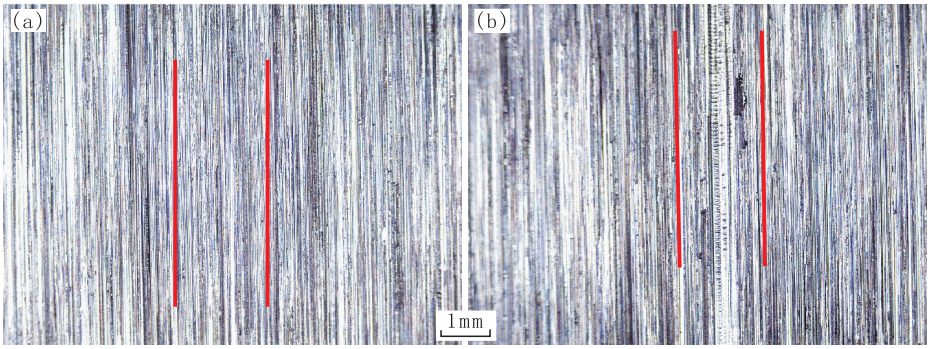
除划伤并改善钢板表面质量。在当前的学术研究中,关于带钢轧辊的磨削工艺及其表面质量的研究日益增多,显示了该领域的重要性与挑战性。

胡雷[4]和韦莹等人[5]认为轧辊的磨削质量可以通过精确控制磨削参数和使用高性能的磨削材料进行提升;徐继根[6]发现磨削过程中划伤的问题是由于磨削参数和磨料不匹配导致的,综合使用表面改性技术有助于提高轧辊的使用性能和延长其使用寿命。杨腾等人[7]发现短线划伤主要是由于轧机磨损和轧制参数不当引起的。上述研究成果表明带钢轧辊磨削质量的提升不仅依赖于高级的设备和技术,还需要对磨削工艺参数进行精确控制和持续优化。

1 轧辊表面短划伤缺陷产生原因分析

由磨削过程引起的轧辊表面短划伤通常呈现为细长、断续的线形痕迹,主要沿磨削方向排列,轧辊表面短划伤缺陷表征如图 1 所示。

这些划痕的深度和宽度不一,相较于常规磨削痕迹,划伤缺陷宽度约 5~7 mm。当磨削产生较高热量时,划痕会伴有小浅坑或氧化变色。在更严重的情况下,可能在划痕附近观察到微小裂纹。这些特征不仅影响轧辊外观质量,还可能影响其性能和使用寿命。



(a) 常规轧辊表面; (b) 表面短划伤缺陷

图 1 轧辊表面短划伤缺陷表征

Fig. 1 Characterization of Short Scratch Defects on Roll Surface

1.1 砂轮振动及特性匹配

砂轮振动是引起轧辊表面短划伤的主要原因之一。在制造和使用过程中,很难保持砂轮两个平面的绝对平行性以及磨粒在径向圆周上的均匀分布。这种非均匀性导致砂轮在高速旋转时产生微小的偏移或跳动,从而在轧辊表面生成短划伤,砂轮振动示意图如图 2 所示。此外,如果砂轮安装不当或砂轮轴承磨损,也会增加振动,进一步恶化表面质量。

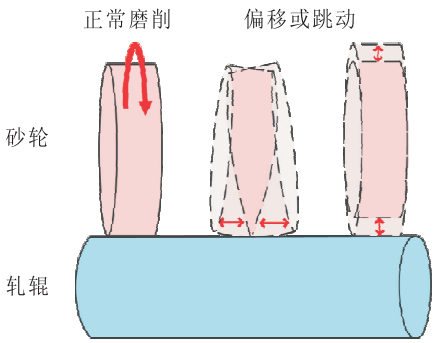


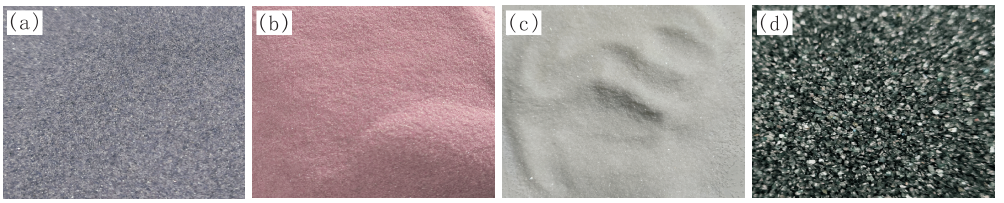
图 2 砂轮振动示意图

Fig. 2 Schematic Diagram of Grinding Wheel Vibration

砂轮的特性对磨削过程有着显著的影响。砂轮特性主要以磨料、结合剂、硬度及形状四部分为主,其中磨料材质、粒度和硬度为主要选型因素。选用如图 3 所示的砂轮磨料材质,其脆性由图 3(a)至图 3(d)越来越高。

其中磨料的材质和粒度决定了砂轮的磨削能力和适用性,砂轮粒度与粗糙度见表 1,粗粒度磨料用于粗磨,而细粒度磨料则适用于精磨和抛光。砂轮中使用的磨料材质(如白刚玉、绿碳化硅等)直接影响砂轮的切削能力及磨削表面的质量,磨料粒度粗细也是决定磨削粗糙度的关键因素。

结合剂的类型决定磨粒如何固定在砂轮上,影响砂轮的硬度和强度。不同的结合剂适用于不同的磨削操作需求。砂轮中磨粒与结合剂的结合强度决定了砂轮的耐用性和切削力度。不当的结合剂可能导致磨粒过早脱落,从而增加磨削时产



(a) SA60单晶刚玉；(b) PA80铬刚玉；(c) WA白刚玉；(d) GC24绿碳化硅

图3 砂轮磨料材质

Fig. 3 Grinding Wheel Abrasive Material

表1 砂轮粒度与粗糙度

Table 1 Grinding Wheel Grit Size and Roughness

标准粒子度(#)	Vortex参照粒度(#)	表面粗糙度Ra
46	46	1~0.7
60	60	0.7~0.5
80	80	0.5~0.3
90		0.25~0.4
100	100	0.2~0.3
120		0.2
150~180	120	0.15

生划痕的风险。砂轮的硬度与组织决定了磨削的剧烈程度，冷轧工作辊硬度与砂轮硬度匹配的关系如表2所示。

表2 冷轧工作辊硬度与砂轮硬度匹配

Table 2 Matching of Cold Mill Roll Hardness and Grinding Wheel

轧辊硬度				砂轮硬度	
洛氏硬度(HRC)	维氏硬度(HV)	布氏硬度(HB)	邵氏硬度	结合剂类型Vortex(B491)	结合剂类型B12/24/BQN24
56	640	601	77		
57	660	620	79		
59	680	638	80	E	H/I
59	700		81		
60	720		83		
61	740		84		
62	760		86		
63	780		87	D	G/H
64	800		88		
64	820		90		

硬度较高或组织较密的砂轮在磨削硬质材料时较为有效，但对于柔软材料可能过于剧烈，易造成损伤。适当的砂轮形状和尺寸对于确保磨削过程的平稳性也至关重要。不适当的尺寸和形状可能导致砂轮与轧辊间的非均匀接触，进而产生额外的磨削压力和划痕。

1.2 磨削液参数及清洁性

在轧辊磨削过程中，磨削液起着至关重要的作用，包括润滑、冷却、清洗和防锈。适当调节磨削液的浓度是确保平衡润滑和冷却效果的关键。浓度过高虽然可以增强润滑性，减少摩擦，但会降低冷却效率，可能导致轧辊表面热损伤，如烧伤和应力裂纹；反之，浓度过低虽然有利于冷却，但不足的润滑会增加磨削力和摩擦，从而增强机械性破坏，导致表面划痕或磨损。此外，磨削液的清洁度对防止轧辊表面短划伤同样至关重要，污染的磨削液中的硬质颗粒如磨料残留物会在轧辊表面造成额外的物理损伤。因此，维持磨削液的适当浓度和清洁度是优化磨削质量、减少表面缺陷的重要措施。通过使用过滤系统和定期更换磨削液，可以有效维护磨削液的性能，确保轧辊磨削过程的整体质量。

1.3 磨削工艺参数

在轧辊磨削过程中，工艺参数的精确设定和机械调整是确保表面质量的关键。首先，磨削前对托瓦中心线进行精细调整，使其与轧辊回转中心线重合，能够避免轧辊在磨削过程中产生偏摆和振动，这些偏摆和振动会导致表面应力集中和短划伤。其次，优化磨削程序也至关重要，在达到目标磨削参数的前提下，适当增加粗磨/半精磨/抛光的次数可有效降低轧辊表面划伤数量，虽然会降低磨削效率，但是显著减少了划伤风险，划伤数量随磨削次数分配的变化如图4所示。

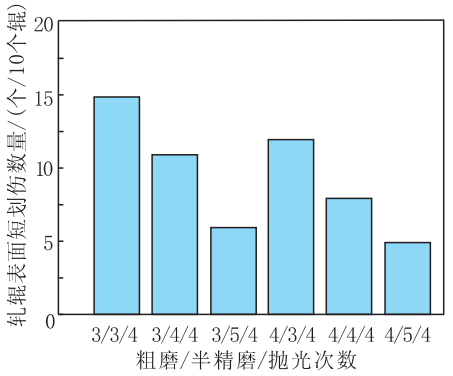


图4 划伤数量随磨削次数分配的变化

Fig. 4 Variation of Scratch Quantity Distribution with Grinding Cycles

2 轧辊表面短划伤缺陷控制方案设计

2.1 砂轮参数控制

2.1.1 基于抑制砂轮振动的静、动平衡调整

为了克服砂轮在磨削时产生振动而造成的削划痕缺陷,在砂轮安装前必须进行静平衡处理。将装上法兰的砂轮放置在平衡器具上让其自动转动,根据其转动的平衡状态调节法兰盘上的平衡块,调整到砂轮在平衡器上转动非常均匀,用手轻轻点动砂轮任何一点都可停止状态,完成静平衡调整。砂轮静动平衡调整情况见图5。砂轮装上磨床后,通过砂轮的动平衡自动补偿装置,可以在砂轮磨削过程补偿由于砂轮掉粒不均匀而引起的不平衡,从而减轻砂轮的振动。通过上述砂轮静、动平衡调整,最大限度地减少由于砂轮振动而产生的划痕缺陷。



图5 砂轮静动平衡调整

Fig. 5 Static and Dynamic Balance Adjustment for Grinding Wheel

2.1.2 砂轮特性的匹配

通过对不同特性砂轮对应的轧辊修磨质量进行试验分析,得到划伤及磨损情况随砂轮参数的变化如图6所示。

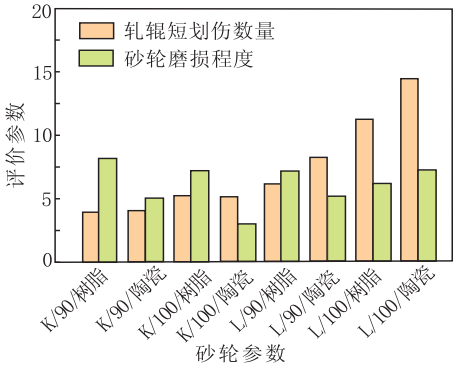


图6 划伤及磨损情况随砂轮参数的变化

Fig. 6 Variation of Scratch and Wear Conditions with Grinding Wheel Parameters

根据图6分析,结合现场实际情况得出磨料根据不同材料钢质的轧辊选用与之相匹配的刚玉型砂轮的技术方案。根据砂轮磨粒脱落的难易程度对砂轮硬度匹配进行判断,砂轮磨削时钝化磨粒不易脱落,辊面出现划伤现象,说明所选砂轮太硬,应选择硬度低一点的K级砂轮。砂轮的粒度大则耐用度高、切削能力强、不易被堵塞;砂轮的粒度小则性能稳定、磨削轧辊表面质量高,为了减轻辊面划伤缺陷,选用粒度为100的砂轮。砂轮是用结合剂将磨粒粘结在一起成型并使其具有一定的硬度。将砂轮结合剂由树脂结合剂改进为陶瓷结合剂。

2.2 磨削液参数控制

2.2.1 磨削液浓度

通过对不同浓度磨削液进行试验,统计分析辊面划伤情况,划伤情况随磨削液浓度的变化如图7所示,最终分析并总结出磨削液的最佳浓度在3.0%~4.0%(糖度仪检测值)。

2.2.2 磨削液循环系统设计优化

优化过滤纸的精度及增加喷嘴出口磨削液过滤装置,提高喷入磨削区域磨削液的洁净度,磨削液的冲洗带走了砂轮和轧辊产生的大量磨屑、结合剂残渣、磨料残渣,减少轧辊划伤缺陷的产生。

2.3 磨削工艺控制措施

2.3.1 托瓦中心线的调整

磨削前对托瓦中心线进行精细调整,使轧辊的回转中心线与托瓦中心重合。

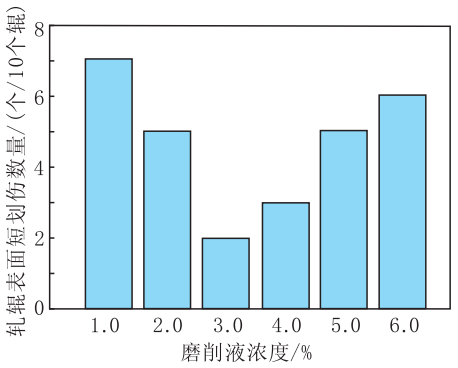


图7 划伤情况随磨削液浓度的变化

Fig. 7 Variation of Scratch Conditions with Grinding Fluid Concentration

2.3.2 磨削程序选择

通过大量实践对比，开发出一套技术方案，抑制轧辊表面短划伤缺陷的轧辊修磨工艺技术方案如表3所示，通过各工序的多种组合方式实现对不同机组或不同机架轧辊的个性化磨削工艺匹配。

3 工业化应用实施效果

通过以上措施的改进及优化，可显著降低因辊面不合导致的重新磨削概率，避免了因轧辊划伤、辊印造成的非计划换辊，不仅提升了轧辊的表面质量，提高了轧辊的磨削效率，而且冷轧产品的表面质量也得以提升，轧辊磨削的一次合格率由92%提高至95%以上。每月磨削轧辊1 150支，磨削每支轧辊的加工费用约为0.081 8万元，则每年可创造效益：1 150×12×(95%-92%)×0.081 8=33.87万元，同时提升冷轧产品的表面质量，每月因划伤缺陷判降级的钢板约为150 t，降级品与正品的价差约为0.062 0万元/ t，轧机机组的贡献系数为0.3，则因消除划伤缺陷创造的效益为：150×12×0.062×0.3=33.48万元，合计创效：33.87+33.48=67.35万元。

表3 抑制轧辊表面短划伤缺陷的轧辊修磨工艺技术方案

Table 3 Technical Scheme for Roll Grinding Process to Suppress Short Scratch Defects on Roll Surface

工序	工艺参数	数值	工序	工艺参数	数值
粗磨-1	砂轮速度/(m/s)	25~30	半精磨-1	砂轮速度/(m/s)	15~20
	轧辊速度/(r/min)	30~35		轧辊速度/(r/min)	35~40
	横移速度/(mm/min)	2 000~2 500		横移速度/(mm/min)	1 000~1 500
	连续给进/(mm/min)	0.005~0.020		增量给进/(mm)	0.003~0.010
	切削量/(mm)	0.10~0.20	半精磨-2	砂轮速度/(m/s)	15~20
粗磨-2	砂轮速度/(m/s)	20~25		轧辊速度/(r/min)	40~45
	轧辊速度/(r/min)	35~40		横移速度/(mm/min)	1 000~1 500
	横移速度/(mm/min)	1 500~2 000		增量给进/(mm)	0.003~0.010
	连续给进/(mm/min)	0.005~0.020	抛光-1	砂轮速度/(m/s)	15~20
粗磨-3	砂轮速度/(m/s)	20~25		轧辊速度/(r/min)	40~45
	轧辊速度/(r/min)	35~40		横移速度/(mm/min)	500~1 000
	横移速度/(mm/min)	1 000~1 500	抛光-2	砂轮速度/(m/s)	10~15
	连续给进/(mm/min)	0.003~0.010		轧辊速度/(r/min)	45~50
				横移速度/(mm/min)	500~1 000

4 结语

综上所述，砂轮振动与轧辊振动是轧辊磨削过程中导致表面质量缺陷的主要因素。通过确保轧辊辊径的高质量以及轧辊在机床上的精确安装，结合对磨削液浓度、砂轮与轧辊转速、纵向进给及横移速度等工艺参数的精细调控，可以显著抑制振动并减少轧辊表面的划伤缺陷。在实际应用中，经过优化的磨削工艺及长达一年半的运行实践，轧辊及钢板表面质量均实现了大幅提升，每年因减少轧辊重磨次数可创效33.87万元，减少因划伤缺陷造成降级品损失33.48万元。

（下转第57页）

2024：69-79.
[10] Iranzad R，Liu X. A review of random forest-based feature selection methods for data science education and applications[J]. International Journal of Data Science and Analytics，2024，17(2)：1-15.
[11] Borup D，Christensen B J，Mühlbach N S，et al. Targeting predictors in random forest regression[J]. International Journal of Forecasting，2023，39(2)：841-868.
[12] 董红瑶，王弈丹，李丽红. 随机森林优化算法综述[J]. 信息与电脑(理论版)，2021，33(17)：34-37.
[13] Çetin V，Yıldız O. A comprehensive review on data preprocessing techniques in data analysis [J]. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi，2022，28(2)：299-312.
[14] Maharana K，Mondal S，Nemade B. A review：Data preprocessing and data augmentation techniques[J]. Global Transitions Proceedings，2022，3(1)：91-99.
[15] Naidu G，Zuva T，Sibanda E M. A review of evaluation metrics in machine learning algorithms[C]//Computer science on-line conference，On-line：Springer International Publishing，2023：15-25.
[16] Hodson T O. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)：When to use them or not[J]. Geoscientific Model Development Discussions，2022，15(14)：1-10.
[17] Gavryushina M，Marshakov A，Panchenko Y. Application of the random forest algorithm to predict the corrosion losses of carbon steel over the first year of exposure in various regions of the world [J]. Corrosion Engineering，Science and Technology，2023，59：85-95.
[18] Muley R，Priya S. Development of Property Prediction Model for Hot Strip Mill Using Machine Learning Algorithms[J]. Machine Learning Research，2024，9(1)：1-9.
[19] Sarir P，Ruangrassamee A，Iwanami M. Estimation of the axial capacity of high-strength concrete-filled steel tube columns using artificial neural network，random forest，and extreme gradient boosting approaches[J]. Frontiers of Structural and Civil Engineering，2024，18(11)：1794-1814.
[20] Gupta P，Bagchi A. Essentials of Python for Artificial Intelligence and Machine Learning[M]. New York：Springer Nature，2024：161-196.
[21] 王丹，董浪. 基于Pyecharts和Matplotlib的绘图原理研究[J]. 科技创新与生产力，2024，45(5)：121-123.
[22] Pajankar A. Hands-on Matplotlib：Learn Plotting and Visualizations with Python 3[M]. Berkeley：Apress，2021：243-267.

(编辑 许营)
修回日期：2025-05-10

(上接第38页)

[4] 谭宁，李俊. 热轧带钢免酸洗技术进展[J]. 轧钢，2014(1)：34-36.
[5] 葛国军. 钢板表面无酸处理新技术研究[J]. 冶金设备，2013(3)：42-47.
[6] 魏万珍. 基于图像技术的零件表面粗糙度检测方法及系统研究[D]. 山西：太原理工大学，2022.
[7] 王植，孙荣生，王静，等. 冷轧先进高强钢表面色差缺陷综合控制技术研究[J]. 鞍钢技术，2023(3)：24-27，32.
[8] 刘玉堂，夏强强，胡建平，等. 湿式抛丸处理板表面粗糙度的控制[J]. 冶金设备，2016(5)：13-16.
[9] 张俊武，王红理，黄丽清. 铁磁材料交流磁化曲线及磁滞回线的观测[J]. 物理实验，2017(8)：21-25.
[10] 王尚. 轧制带钢无酸除鳞的抛丸冲击工艺仿真与实验研究[D]. 北京：北京科技大学，2018.
[11] 李通. 抛丸分析与计算[J]. 铸造机械，1978(1)：45-53
[12] H.R. Le，M. P. F Sutcliffe，P. Z. Wang，et al. Surface oxide fracture in cold aluminum rolling[J]. Acta Materialia，2004，52(4)：911-920.

(编辑 白璐)
修回日期：2025-07-04

(上接第49页)

参考文献

[1] 史晓强. 冷轧带钢表面清洁度与氧化色现象的探讨[D]. 沈阳：东北大学，2009.
[2] 陈慧，邓建平. 冷轧连续机组入口张力辊的设计计算[J]. 冶金设备，2013(2)：49-51.
[3] 严明哲，田奇伟，陈兴璞. 冷轧轧辊表面辊痕改善研究[J]. Dubai Medical Journal，1998：327-330.
[4] 胡雷. 高表面质量带钢轧辊的磨削工艺分析[J]. 设备管理与维修，2019(6)：172-173.
[5] 韦莹，唐水清. 浅谈轧辊磨削质量影响因素及主要缺陷控制[J]. 金属世界，2021(5)：38-43.
[6] 徐继根. 数控轧辊磨床砂轮选型和使用[J]. 中国新技术新产品，2020(7)：69-70.
[7] 杨腾，齐海峰，许秋，等. 酸轧带钢表面短线划伤原因分析及改善[J]. 河南冶金，2022，30(6)：45-48.

(编辑 白璐)
修回日期：2025-03-11