

Optimized Design and Implementation of Bearing Configuration and Sealing System for HRM3400 Vertical Mill Grinding Roll Assembly

Junhai Wang

Wenxian Qilian Mountain Cement Co., LTD., Longnan City, Gansu Province, 742500

Abstract

To address critical technical challenges in the HRM3400 vertical mill grinding roller assembly of Wenxian Qilian Mountain Cement Co., Ltd., including short bearing life, sealing failure, oil leakage, and excessive vibration, this study conducted an in-depth failure mechanism analysis. The research identified that the original design's "double self-aligning roller bearing (SRB+SRB)" configuration was the root cause of premature bearing failure due to thermal expansion-induced cross-alignment. Consequently, a systematic optimization plan was proposed to replace the bearing configuration with "self-aligning roller bearing + cylindrical roller bearing (SRB+CRB)", while simultaneously redesigning the sealing system, key component tolerances, and lubrication structure. Industrial implementation results demonstrated that this optimized design extended the grinding roller assembly's reliable operational lifespan to over 8,000 hours, effectively resolving oil leakage and ash ingress issues. The findings provide valuable references for technical upgrades of similar vertical mills.

Keywords

vertical mill; grinding roller assembly; bearing configuration; sealing system; technical upgrade; reliability

HRM3400 立磨磨辊总成轴承配置与密封系统的优化设计与实践

王军海

文县祁连山水泥有限公司, 甘肃省陇南市, 742500

摘要

针对文县祁连山水泥有限公司HRM3400立磨磨辊总成存在的轴承寿命短、密封失效、漏油及振动大等关键技术难题, 本文进行了深入的故障机理分析。研究指出, 原设计采用的“双调心滚子轴承(SRB+SRB)”配置是导致轴承因热膨胀交叉定位而早期失效的根本原因。为此, 本文提出了一种将轴承配置优化为“调心滚子轴承+圆柱滚子轴承(SRB+CRB)”的系统性改造方案, 并同步对密封系统、关键部件配合公差及润滑结构进行了再设计。工业实践结果表明, 该优化设计使磨辊总成的可靠运行寿命提升至8000小时以上, 有效解决了漏油与进灰问题, 为同类型立磨的技术改造提供了有价值的参考。

关键词

立磨; 磨辊总成; 轴承配置; 密封系统; 技术改造; 可靠性

1 引言

立磨是水泥生产线的核心设备, 其运行的稳定性直接关系到整条生产线的效率与成本。磨辊总成作为立磨的研磨核心部件, 长期在重载、高冲击及高粉尘的恶劣工况下运行, 是故障频发的关键区域 [1-2]。文县祁连山水泥有限公司的 HRM3400 立磨 (OEM: 合肥水泥设计院) 磨辊总成长期面临轴承使用寿命不足、密封失效导致润滑油泄漏及粉尘侵入、辊轴与辊芯磨损等一系列问题, 导致非计划停机频繁,

维护成本高昂。

经现场勘查与数据分析, 本研究团队判定上述问题并非孤立的部件质量问题, 而是源于原总成设计上的系统性缺陷。本文旨在系统性地阐述这些缺陷的成因, 并提出一套综合性的优化设计方案, 并通过实践验证其有效性。

2 原系统故障机理分析

2.1 轴承配置缺陷分析

原磨辊总成采用两套 22372CA/W33 调心滚子轴承背对背安装。该配置存在原理性缺陷: 当磨辊轴在运行时因摩擦升温而产生轴向热膨胀时, 两端被压死的调心轴承内圈无法自由轴向移动, 导致轴承游隙被抵消, 形成“交叉定位” [3]。

【作者简介】王军海 (1974-), 男, 中国甘肃庆阳人, 工程师, 从事机械电子工程研究。

此状态下，轴承内部的受力由双列滚子承载变为单列滚子过载，滚子与滚道间接触应力急剧增大，润滑条件恶化，从而引发轴承异常温升、保持架断裂直至卡死的快速失效模式。图 1 所示为该失效机理的示意图。

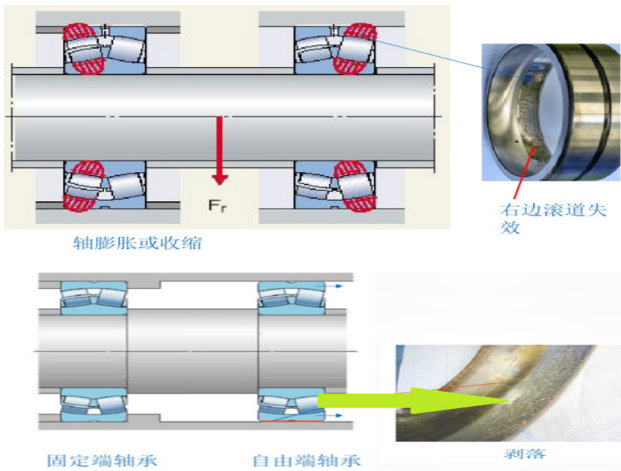


图 1 原 SRB+SRB 配置热膨胀导致交叉定位示意图

2.2 密封系统失效分析

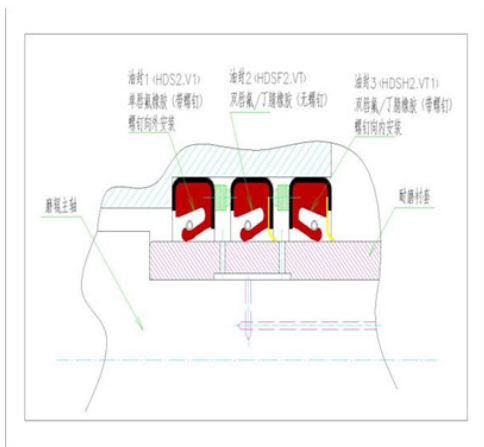
原密封采用盘根与轴径直接接触的形式，其存在两大弊端：

轴径磨损：盘根作为摩擦件，长期运行易对辊轴本体造成不可逆的磨损与拉伤，形成“越修越坏”的恶性循环。

密封可靠性差：单一的盘根密封在粉尘浓度高的环境下，难以长期维持有效密封，导致外部粉尘侵入辊腔污染润滑油，内部润滑油泄漏。

2.3 结构与配合公差问题

原设计缺乏独立的注脂孔，无法建立并维持辊腔内的微负压，加剧了密封压力。此外，轴承外圈与轮毂孔的配合（G7）、内圈与轴的配合（H6）在长期运行后易产生松动，导致外圈“跑套”和配合面磨损，进一步破坏了轴承的稳定工作环境。



3 优化设计方案

针对上述问题，本研究提出了以轴承配置革新为核心的系统性优化方案。

3.1 轴承组配置的优化设计

将轴承配置由“SRB+SRB”更改为“SRB+CRB”（见图 2）。

· **固定端：**前端采用一套定制化的 22372MB 调心滚子轴承。其 MB（机削黄铜保持架）结构、贝氏体淬火工艺及优化的滚子对数曲线，赋予了其更好的引导性、韧性和承载能力。

· **浮动端：**后端采用一套 NU690/HCC9 圆柱滚子轴承。圆柱滚子轴承的内圈可沿轴向自由移动，完美吸收了因热膨胀产生的轴长度变化，彻底消除了“交叉定位”现象，确保了前端调心轴承始终处于良好的对中与游隙状态。

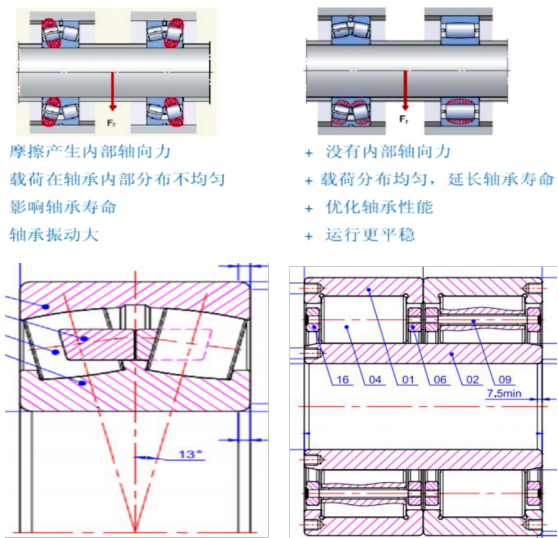


图 2 优化后的 SRB+CRB 轴承配置示意图

3.2 密封系统的升级设计

设计了三道氟橡胶（FKM）骨架密封圈与两道盘根密封相结合的复合密封系统（见图 3）。其核心改进在于：

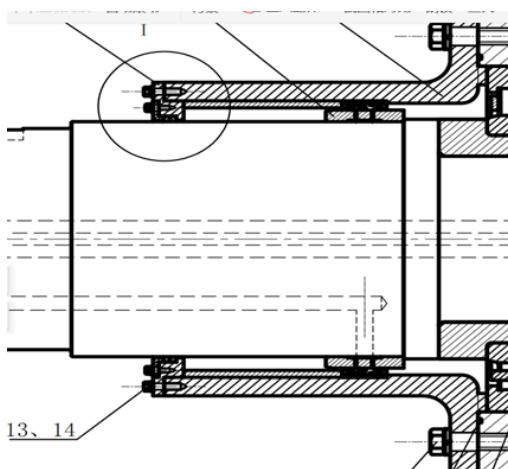


图 3 复合密封系统结构示意图

- 增设耐磨衬套：在密封接触区设计安装了高硬度（HRC55-60）的耐磨衬套，将密封摩擦副从辊轴本体转移至可更换的衬套上，保护了核心部件。

- 多功能密封组合：三道骨架密封分别承担防尘、主密封和辅助密封功能，结合盘根的最终防护，构成了多重屏障。

3.3 关键部件的再制造与精度控制

- 辊轴与轮毂孔：采用激光熔覆技术修复磨损表面，并经高精度车磨加工，将轮毂孔配合公差由G7提升至P6+，轴颈配合由H6优化为js6，确保了配合面的精度与强度。

- 结构件：重新设计了内外间隔套与密封压盖，优化了其刚性与安装方式。将原进油孔改造为注脂孔，便于建立

腔内负压。

4 方案实施与效果验证

4.1 实施与质保

方案于计划大修期间实施，总成装配后进行了0.40MPa压力、保压30分钟的密封性测试，压降小于0.15MPa，验证了密封系统的可靠性。本方案对改造后的磨辊总成提供了8000小时的质量保证。

4.2 改造前后性能对比

如表1所示，优化设计在多个关键性能指标上均实现了显著提升。

表1 改造前后关键性能指标对比

序号	项目	数量	原设计	改造后设计
1	轮毂孔	1	G7 配合	P6+ 配合
2	主轴改造	1	H6	js6 配合
3	设计制造耐磨衬套	1	无	增加
4	密封压盖改制	1	盘根	3个密封圈+盘根
5	轴承间外隔套	1	有	改变设计
6	轴承间内隔套	1	有	改变设计
7	轴承型号	2	22372+22372	22372+NU690
8	轴套	1	无	增加
9	磨辊总成装配	1	不清晰	调心滚子轴承工作游隙 0.10-0.15mm 圆柱滚子轴承工作游隙 0.08-0.13mm
10	骨架密封圈	3	无	3个(1个防尘+2个防油)+盘根
11	防尘	3	盘根	盘根
12	试压	1	不清晰	0.40MPa, 保压30分钟大于0.25MPa
13	磨辊总成质保	1	1年	8000小时(免费指导安装)

5 结语

HRM3400立磨磨辊总成原设计的“SRB+SRB”轴承配置是导致其可靠性差、寿命短的根本原因。将其优化为“SRB+CRB”配置，从原理上解决了轴承因轴向热膨胀而导致的异常失效问题。

采用“骨架密封+耐磨衬套+盘根”的复合密封系统，有效解决了密封失效与辊轴磨损的难题，实现了长效密封。

通过对关键部件的激光熔覆再制造与配合公差精确控制，恢复了总成的装配精度，为优化设计的成功实施提供了基础保障。

工业应用实践表明，本优化设计方案技术路线正确、效果显著，能极大提升设备的运行可靠性与经济性，具有在行业内推广的价值。

参考文献

- [1] 王启宏,李双寿.水泥立磨磨辊轴承失效分析及改进[J].轴承,019,(4):50-53.
- [2] 刘强,陈宗农.基于热力学分析的立磨磨辊轴承游隙设计[J].水泥技术,2020,(5): 78-81.
- [3] Harris T A,Kotzalas MN. Rolling Bearing Analysis: Essential Concepts of Bearing Technology[M]. 5th ed. CRC Press, 2006.