韶钢 3200 立方米高炉炉顶传动齿轮箱倾动减速机故障分析

钟鸽莊　米保军　袁泉江
（广东韶钢松山股份有限公司　广东　韶关　512000）

摘要：文章通过对韶钢 8 号高炉炉顶传动齿轮箱的日常运行情况及解体状况，分析炉顶传动齿轮箱倾动减速机蜗轮蜗杆副的故障特征及损伤机理。

关键词：传动齿轮箱；倾动减速机；故障分析

0　引言

韶钢 8 号 3200m^3 高炉于 2009 年 10 月 16 日建成投产。高炉炉顶结构采用 PW 型串罐无料钟装料设备，串罐无料钟装料设备主要由固定料罐、称量料罐、阀箱、传动齿轮箱及布料溜槽等部分组成。传动齿轮箱是高炉炉顶的核心设备，由传动齿轮箱与行星齿轮减速机两部分组成，倾动减速机位于传动齿轮箱内部，其倾动轴直接与布料溜槽连接，倾动减速机的运行状态、稳定性直接影响高炉布料及炉况的稳定运行。由于传动齿轮箱倾动减速机所承受的负荷较重，且高炉炉喉温度及压力较高、粉尘较大，工作环境恶劣，因此要求减速机各零部件的加工及装配精度较高。此外，为保证传动齿轮箱及倾动减速机的正常、稳定运行，要求传动齿轮箱内部工作温度不超过 60℃，故传动齿轮箱内部采用氮气密封、循环冷却水进行冷却。传动齿轮箱倾动减速机在密闭环境下运行，设备点检难度较大，设备隐患不易发现，且出现设备故障后需高炉休风才能进行检修，对高炉正常生产影响很大。因此，对倾动减速机损坏的主要原因进行认真分析，并采取相应的预防、改进措施，杜绝此类事故的再次发生。

1　事故经过

韶钢 7 号高炉 2005 年投产及 8 号高炉 2009 年投产使用的传动齿轮箱均为西重制造，7 号高炉传动齿轮箱使用至 2015 年方安排更换，8 号高炉传动齿轮箱使用至 2016 年 2 月份安排更换。此前的两个传动齿轮箱寿命长，运行效果好。

2016 年 2 月，8 号高炉年修时更换传动齿轮箱，投入运行后炼铁厂对该传动齿轮箱的点检、维护、使用均严格按照相关制度、标准执行。

因两台倾动减速机安装在传动齿轮箱内部，空间很窄，日常点检及高炉工艺或炉顶不点火休风检修时都无法打开检查蜗轮、蜗杆的磨损情况（除非高炉较长时间的计划检修外），而只能通过布料器的运行电流、震动、声音、温度等来判断，因倾动减速机运行速度较慢，震动、声音、温度等一直以来都比较正常，故未对传动齿轮箱之倾动减速机的质量产生怀疑。至 2016 年 10 月 10 日，8 号高炉定修时，打开传动齿轮箱的检修孔检查时发现传动齿轮箱两台倾动减速机的倾动角度（角度刻度尺）不一致（相差 2°），判定为该两台倾动减速机可能有问题。打开倾动减速机顶部观察小孔，用手电筒照射检查发现两台倾动减速机内部蜗轮磨损比较严重。由于该倾动减速机才使用半年左右，库存无备件且事先无更换的计划，因此只能暂时带隐患继续监护运行。但高炉复风后，溜槽角度越来越不稳定，高炉布料越来越难以控制，至 2016 年 10 月 18 日，溜槽倾动角度无法控制，高炉被迫采取单环布料。至 2016 年 10 月 20 日，西重发运过来的新备件到厂后，安排 8 号高炉定修约 30h，更换传动齿轮箱的两台倾动减速机。高炉复风后生产正常。

2　倾动减速机故障分析

为掌握此次故障原因，杜绝类似事故的发生，且同批次的传动齿轮箱各有一台在韶钢 6 号高炉、7 号高炉上运行，确保不影响韶钢的生产，立即对更换下来的传动齿轮箱两台倾动减速机进行解体，分析故障原因。

2.1　传动机构各部件运行情况及失效分析

倾动减速机蜗轮轴上的小齿轮及与其啮合的扇形内齿圈主要工作位如图 1 所示。蜗轮轴上的小齿轮齿数为 13 个，属于变位齿轮（渐开线标准齿轮的最少齿数应为 17 个），内齿圈的齿数为 21 个，角度标尺 R=0° ～ 80° 对应的是第 2 ～ 20 个齿，即倾动轴内齿圈每转动 1 个齿对应的倾动角度为（80/18）×1°=（40/9）°。

正常生产时，使用较频繁的扇形内齿圈角度为 5° ～ 45°（5° 为干油包碰触加油点，20° ～ 45° 为布料区间），因此扇形内齿圈的转动范围约为 9 个齿 [（45 ～ 5）/（40/9）]。小齿轮也同样转动 9 个齿，即小齿轮转动

75-87 安全与生产 22年 9月中 第26期.indd 85　2022/10/14 11:34:56

角度为（9/13）×360°=249°。

2.2　蜗轮主要工作位置确认及分析

蜗轮与该小齿轮同轴相连，即蜗轮的转动角度与小齿轮的转动角度一致，为 249°。蜗轮的总齿数为 58 个，也即蜗轮较频繁工作的齿数为（249/360）×58=40 个。其余的 58-40=18 个齿因使用机会小磨损也很小，甚至有的没有磨损。现场解体发现蜗轮实际磨损严重的齿数为 25 个，即布料角度范围 20°～45°（其中有 17 个齿基本磨平），计算过程如下：

（45-20）/（40/9）=5.625

（5.625/13）×360°=155.77°

（155.77/360）×58=25

2.3　对蜗轮副配合精度的检查及分析

现场对无磨损的倾动减速机蜗轮齿涂抹红丹后进行盘车，检查蜗轮齿与蜗杆的啮合效果，蜗轮齿的啮合情况很差，如图 2 所示。可见蜗杆与蜗轮的接触面很不均匀，有的齿接触面积很小，齿宽、齿高方向都不足 10%，且蜗轮齿表面加工比较粗糙（一般要求蜗轮表面粗糙度达到 0.8μm）。

通过检查蜗轮齿的外观，发现蜗轮齿表面精度太差，不利于润滑油膜的形成和稳定，造成蜗轮齿与蜗杆形成直接接触磨损。蜗杆材质为 38CrMoAl，强度和表面硬度较高，齿轮面热处理后的洛氏硬度达到 50～55HRC，而蜗轮采用青铜材质，强度和硬度都较低，蜗轮副配合工作过程中蜗轮成为主要的被磨损部位。现场检查蜗轮磨损严重而蜗杆齿形基本无磨损，切合材料选型结果。

2.4　关于倾动轴铜套润滑不良的原因分析

拆解发现倾动轴与靠高炉一侧的轴承（铜套）一同带出，铜套与减速机箱体有微量相对运动（旋转），铜套表面有微量磨花痕迹，骑缝销损坏，如图 3 所示。这是因为 8 号高炉 2016 年 10 月 11 日高炉休风复风后，倾动减速机工作一直不太正常，尤其是 2016 年 10 月 16～20 日因蜗轮磨损严重，无法倾动到 5°的碰触倾动减速机的自动加油点位置，给油器无法动作无法给油至倾动轴铜套，导致倾动轴处铜套润滑油偏少、润滑效果不好，在缺油条件下工作加上高温的工作环境，造成了铜套的摩擦划痕出现，骑缝销损坏。

2.5　关于超载导致蜗轮磨损的可能性分析

蜗轮、蜗杆两端的轴承都完好无损，说明了蜗轮副工作中没有承受较大的超载载荷，蜗轮的快速严重磨损与蜗轮副的配合安装精度紧密相关。本次 8 号高炉损坏的倾动减速机是西重的专利技术多头环面蜗轮副（又称“平面二包”），该技术对蜗轮和蜗杆的安装配合精度要求很高。修复时蜗杆是否与蜗轮同时更换不确定，如果保留蜗杆配蜗轮，则蜗轮的加工精度和安装配合精度难以保障。

图 1　倾动减速机蜗轮轴上的小齿轮及与其啮合的扇形内齿圈

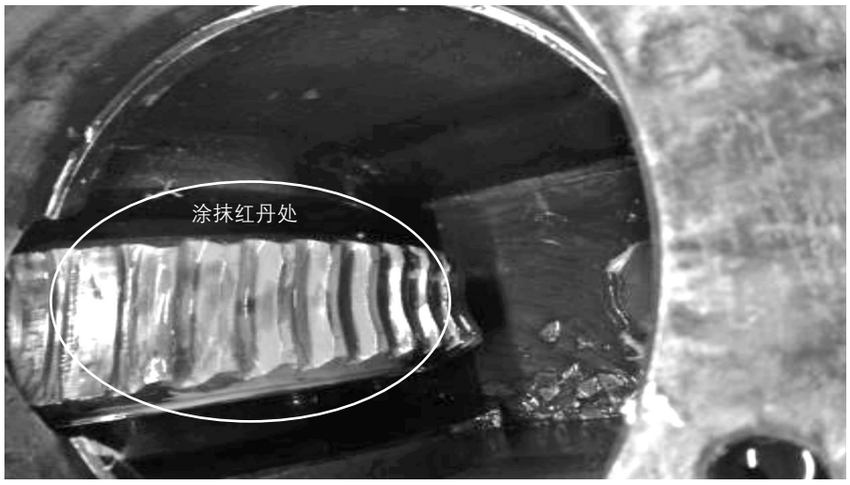

图 2　倾动减速机蜗轮齿与蜗杆的啮合

倾动减速机现场解体可见润滑油里含有大量的铜粉，部分没有完全磨掉的蜗轮齿，厚度仅剩 5%～30% 还能保持正常的工作状态而不发生断齿，说明负载情况基本正常（正常情况下负载主要来自布料溜槽的自质量，8 号高炉使用的溜槽实际质量为 6.39t，小于西重要求的≤ 6.50t），没有严重过载现象，如图 4 所示。

此外，如若机构卡死造成严重过载时，转动阻力会急剧上升，因蜗轮齿在齿根部位所受的弯曲应力最大，将会导致蜗轮齿发生崩齿或断齿。而现场解体除了完全磨平的轮齿外，几乎没有出现齿根部位断裂的情况（这与润滑油里面含很多铜粉但却基本没

75-87 安全与生产 22年 9月中 第26期.indd 86　　2022/10/14 11:34:56

图 3　倾动减速机铜套表面磨花

图 4　倾动减速机蜗轮齿

有崩裂的碎铜块的情况相符）。

2.6　蜗轮、蜗杆副之蜗轮快速磨损的失效机理综合分析

综合上面几点分析，最终得出造成该倾动减速机蜗轮、蜗杆副蜗轮快速磨损的根本原因为：蜗轮、蜗杆副制造、装配质量差导致齿面啮合不好，有效啮合面积达不到设计面积 50% 以上的要求，造成工作时齿面接触部位出现局部过载（即齿面接触应力过大）而形成磨损。随着磨损的增大啮合效果进一步恶化，且由于磨损严重后齿轮啮合的侧间隙变大，会使蜗轮、蜗杆副在运行过程中出现间隙冲击，并加剧对蜗轮齿面的磨损。

蜗轮表面加工精度低，润滑油膜形成不良甚至难以形成油膜，导致工作时蜗轮副齿轮间金属表面直接接触造成磨损。磨损发生后蜗轮表面更加粗糙，油膜更难以形成，进一步加剧磨损，恶性循环的结果最终导致了蜗轮齿面的快速磨损甚至损坏。

2.7　倾动减速箱相关质量证明材料不足

检查该传动齿轮箱倾动减速箱制造过程质检和材料质保资料时，供应商无法提供材料合格证之类的质保证明材料：

（1）无加工蜗轮用的青铜材料的进货渠道、材质（化学成分）、机械性能等资料，只告知蜗轮选用青铜材料制成；

（2）无蜗轮加工后的表面粗糙度检验、蜗轮副装配后的实际啮合参数（装配平行度、垂直度误差，齿面接触长度、宽度、面积）等资料，现场交流时西重表示，装配检查就是肉眼观察和判断齿面的啮合效果，没有做相关的检测和数据收集。

3　结语

根据以上分析，结合现场情况，8 号高炉溜槽倾动减速机使用仅 7 个月就损坏的根本原因是蜗轮蜗杆制造、加工和装配质量差，出厂前质量检验把关不严，备件质量不合格。

参考文献：

[1] 李强，赵玉军，贾友剑．高炉罐式炉顶齿轮箱故障分析及改进措施 [J]．山东冶金，2010,32(4):9-11.

[2] 龙学钧，姜竞，张玉奎，等．高炉炉顶水冷传动齿轮箱故障分析及处理 [J]．中国设备工程，2009(12):41-44.

[3] 王欣．煤矿减速机齿轮箱零部件的失效形式及机理探析 [J]．科技视界，2012(30):263-264.

作者简介：钟鸽莊（1984.11-），男，汉族，江西泰和人，本科，工程师，研究方向：设备管理。

75-87 安全与生产 22年 9月中 第26期.indd 87　2022/10/14 11:34:56