

汽电双驱拖动技术在铜冶炼节能中的运用

宗清风 徐俊静

(山东中金岭南铜业有限责任公司, 山东 东营 257000)

【摘要】2011年,国家统计局《2010年国民经济和社会发展统计报告》把有色金属冶炼及其他六个工业列为能源密集型产业,其中,铜冶炼就是其中的一个典型代表。高能耗产业是我国产业能耗与碳排放量的主要来源,我国碳达峰碳中和“双碳”战略对高能耗产业提出了更高的要求。通过对蒸汽利用方案进行比较,探讨了汽电双驱拖动技术在铜冶炼过程中的优越性,并对其在各种工况下的适用性进行了分析,并对其进行了对比分析,以期为我国铜厂的节能设计、装置布置等工作提供借鉴。

【关键词】汽电双驱拖动技术;铜冶炼;蒸汽利用

一、汽电双驱技术的发展及由来现状

(一) 电拖系统

当前,各种类型的交流电机都被广泛应用于传动装置中,也就是电拖动系统。从发电厂起步,电机拖动负荷的过程中,实际要经过化学能(或核电)到热能(蒸汽),蒸汽的热能转化为汽轮机的机械能,汽轮机的机械能再转化为发电机的电能,发电机的电能又转化为电动机的机械能。在转换的每一次转换中都会有不同程度的效率损耗,这就导致了能量的浪费。

(二) 纯汽拖系统

本文针对汽电双驱技术存在的能耗高等问题,选择有条件的电厂,将利用汽轮机直接拖动负荷,将机械能转换成电能,再将电能转换成机械能,实现对负荷的拖动,从而大幅提升能量转换效率。这是一种纯粹的蒸汽拖动系统,它是以涡轮为动力,而不是电动机。

(三) 汽电双驱拖动系统

在许多工业中,蒸汽来源通常是与高温窑炉相连的废热锅炉产生的,也就是过程用汽后所剩的多余蒸汽。若用这种汽源的蒸汽作为动力,直接拖动负荷,在某个时间段内,由于机组功率不足等原因,会导致整个系统的不稳定,给机组带来难以估量的损失。本文介绍了一种蒸汽-汽电双驱技术,它既节省了能量,又解决了单纯的蒸汽-电力混合驱动系统的不稳定问题。汽电双驱技术是将汽轮机、电机和被拖动负荷以共轴方式串联配置,从而达到两台机组共同带动一台负荷的目的。采用两台机组作为后备机组,可独立运行,也可组合运行,利用机组的辅助作用,有效地解决了机组在运行过程中出现的短期或偶然的汽源波动问题。

(四) 汽电双驱技术的发展现状

汽电双驱技术已被广泛应用于水泥工业、电力工业等工业领域。李文瑞等人在钢铁工业中对蒸汽-电双驱动系统进行了研究,结果显示,蒸汽-电复合驱

动系统具有更好的运行经济性、更高的灵活性、更低的蒸汽消耗速率,能够极大地提高AOD炉废热利用的工程效益。在铜冶界,孟继军、袁剑平等提出了一种采用国产汽-汽电双驱空气增压一体机,其结构紧凑,效率高,节能效果好。《国家工业节能技术应用指南与案例(2020)》第二部分:冶金企业节能技术,汽电双驱传动技术已被收录。

二、铜冶炼蒸汽利用节能方案及对比

(一) 铜冶炼蒸汽产汽情况

在铜冶炼工艺中,主要冶炼流程、硫酸流程生产过程中都会产生较多的余热,主要包括:冶金炉高温烟余热、硫酸干燥烟余热和转化工余热;利用废热锅炉对冶金炉的高温烟气进行废热回收,得到6.0 MPa的中压饱和水;在硫酸干燥过程中,利用低温回收的低温余热,通过四级热回收,得到1.25 MPa的饱和蒸汽。

(二) 蒸汽利用节能方案及对比

1. 蒸汽余热发电利用节能方案。对于2019年之前投产的铜炼项目,传统上采用的是利用废热锅炉及废热锅炉产生的中等压力(6.0 MPa)饱和蒸汽,将其送入废热电站发电,然后返回电网对设备进行电能驱动。

与此类似,由硫酸系统中的转换废热锅炉及HRS低温回收装置产生的压力为1.25 MPa的饱和蒸汽,均被送入1.25 MPa的蒸汽管网,除了作为整个过程中的低压蒸汽使用之外,多余的低压饱和蒸汽全部进入余热发电机组利用压差进行发电,并网后再回到电网中进行设备的电力驱动。

2. 蒸汽直接驱动负载利用节能方案。自2019年“侧吹+多枪顶吹”(“侧+顶”)技术的铜炼装置投入运行后,大部分新建的铜炼项目都是利用废热锅炉及废热锅炉产生的6.0 MPa中压饱和蒸汽,再经过一段过热蒸汽,以达到5.5 MPa(400℃)的过热蒸汽,

作为动力，直接供大型制氧压缩机或制酸装置使用。如果中压过热蒸气不能同时提供给制酸机和二氧化硫的动力，则应优先选用高功率的制氧机。

而硫酸系统中的转化废热锅炉、HRS 低温回收设备产生的 1.25 MPa 低压饱和水，均被送往 1.25 MPa 的蒸汽管网，除了直接供全厂低压蒸汽处理用，多余的低压饱和蒸汽过热后，直接用于拖动 SO₂ 风机。通常，当低压蒸汽拖动 SO₂ 风机后还有剩余时，可以将汽电双驱机组中的电动机兼作发电机，将电力直接输送到厂网，这样就不用再建新的废热发电装置，也不用交“入网费用”，是一箭双雕的技术，这是一项正在普及的技术。

3. 铜冶炼蒸汽利用方案对比。蒸气用于发电及蒸气用于拖曳负荷两种蒸气利用方式，其投资分为两大类：一是厂房投资，二是设备投资。从工厂的投资来看，采用蒸汽发电的工厂投入要大得多，这是因为它需要单独建造一座负荷（比如生产氧压缩机或者 SO₂ 风扇），还需要另外建造一座余热发电厂，而用蒸汽来拖拽负荷的方案只需要建造一座工厂。在设备投入上，采用蒸气拖动负荷的方案由于设备较多，因此其设备投入较大。总体上看，两个方案在设备投入上相差不大，且设备维修费用较少，且设备投入较大。表 1 为上述两种蒸气使用方式的比较结果。

根据上述表中数据，电价按 0.6 元 / kWh，机组年运行时间按 8000 h，人员平均年收入按 10 万元，上述计算不包含蒸汽汽耗率差异带来的经济效益差距。从机组运行角度，产生的主要经济效益分析如下：

(1) 能耗经济效益：与方案 1 相比，方案 2 的节能效果为：1888—826=1062kW。在此基础上，提出了一种新的节能减排模式，即：1062 千瓦 × 0.6 元 × 8000 小时 = 5100000 元。

(2) 运营经济效益：与方案 1 相比，方案 2 年可节约劳动力费用为 (36-18) 人 × 10 万元 / 人 = 1800000 元。

(3) 上网差价：与方案 1 相比，方案 2 年节约的上网电量为 0.03 元 / 度 × 23600 千瓦 × 8000 小时 = 566 万元。

通过上述计算，可以看出，两种方案相比方案 1，一年可以多出 510+180+566=12560 万元。可以看出，汽电双驱方案给企业带来了更好的直接经济效益，同时也使公司的用电量得到了很大的降低，从而在本源上降低了能耗，为我国的节能减排作出了巨大的贡献。

三、不同铜冶炼工艺的汽电双驱驱动系统选择

当前常用的“闪速熔炼 + PS 转炉吹炼”“闪速熔炼 + 闪速吹炼”（“双闪”）和“侧吹熔炼 + 多管顶吹”（“侧 + 顶”）三种技术。汽电双驱动力传动系统采用“侧 + 顶”流程，其主要原因在于其熔炼过程自身特性。现就汽、电双驱传动技术与上述 3 种工艺流程的适用性作一简要分析。

(一) “闪速熔炼 + PS 转炉吹炼”工艺

“闪速熔炼 + PS 转炉吹炼”工艺在实现烟气稳定的同时，由于 PS 转炉采用了间歇运行（无法持续供气），从而引起了余热锅炉的产汽波动，使得混合后的蒸汽量波动较大，过程用汽后剩余的剩余蒸汽波动较大，并呈现出规律性。所以，在这样的生产环境下，若按汽电双驱的技术方案进行负荷拖动，则需要在机组出力不足的情况下，为应对机组补功而频繁启动，给设备的稳定运行带来了不确定的影响，所以，“闪速熔炼 + PS 转炉吹炼”的铜冶炼方式并不推荐使用。

(二) “闪速熔炼 + 闪速吹炼”工艺

在“闪速熔炼 + 闪速吹炼”工艺生产的 50 万吨 / 年的铜炼工程中，采用汽 - 电双驱工艺的汽电双驱工艺方案，其烟气量基本保持平稳，烟气量较低。由汽耗量平衡表可知，在拖动过程中，中压汽化器能满足所需汽耗量。而低压蒸气过剩，拖动二氧化硫风机的马达可选择具有发电功能的马达，将过剩的低压蒸气用于发电。尤其值得指出的是，“双闪”流程中很少使用蒸汽 - 电气双驱动技术方案，其主要原因在于其每周都要进行停炉点检，造成整个系统的暂时关闭，从而使其频繁地启动和启动。

(三) “侧 + 顶”工艺

侧吹式和多枪顶式吹炼炉排出的烟气是连续的、稳定的，且波动很小。表 2 为“侧 + 顶”法生产的 30 万吨 / 年的铜炼工程汽电双驱工艺方案的“侧 + 顶”

表 1 蒸汽利用方案对比

方案	设备配置	蒸汽汽耗率 / (kg/kWh)		汽轮机输出功率 / kW	运行中效率损失	人员配置数	上网差价 / (元 / kWh)
		高压	低压				
1	汽轮机 + 余热发电机组	6.66	8	23600	合计损失 8%：①齿轮箱损失 2%；②电机损失 3%；③发电机损失 3%。功率损失合计：	36	0.03
2	汽轮机 + 变速离合器 + 电机 + 风机或离心空压机	4.25	8	23600	23600 kW × 8% = 1888kW 合计损失 3.5%：①齿轮箱损失 2%；②电机空转损失 0.5%；③变速离合器损失 1%。功率损失合计：23600kW × 3.5% = 826kW	18	无

表 2 “侧 + 顶” 工艺全厂蒸汽量平衡表

蒸汽	项目	平均蒸汽量 / (t/h)	
		夏季	冬季
中压过热蒸汽 (5.5 MPa, 400℃)	熔炼炉和吹炼炉余热锅炉产汽	97	
	管网汽水损失	-2	
	拖动制氧空压机蒸汽消耗	-87	
	蒸汽剩余	8	
低压过热蒸汽 (1.25 MPa)	干吸低温热回收装置 (HRS) 产汽	65	
	转化四段热管锅炉产汽	30	
	全厂低压蒸汽消耗 -51	-59.1	
	拖动 SO ₂ 风机蒸汽消耗	-43	
	蒸汽剩余	-7.1	

工艺全厂蒸汽量平衡表。在平衡表上还剩下 8 吨的中压超高温蒸气, 可用于弥补冬季生产中低压蒸气的短缺。所以, “侧 + 顶” 流程的汽电双驱适用于蒸汽利用方式。

四、铜冶炼的汽电双驱系统轴系配置及案例

当前, 在铜冶炼领域, 按照电机和负荷在系统中所处的位置, 汽电双驱系统可以分为两种典型的轴结构形式, 即汽电同侧配置和汽电异侧配置。这 2 种配置都获得了很好的应用, 用户可以根据自己的具体条件来选用。

(一) 汽电同侧配置

汽电同侧布置是将汽轮机和电动机设置在负荷的同一侧, 将汽轮机用变速离合器连接到电动机上, 将电动机用齿轮箱连接到负荷上, 这样一种结构的工作方式见图 1。

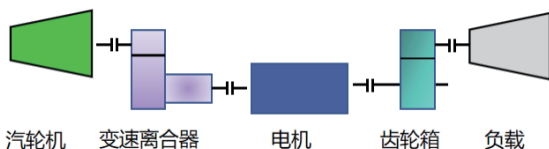


图 1 汽电同侧配置

(二) 汽电异侧配置

汽电异侧配置是指将汽轮机和电动机设置在负荷的两边, 将涡轮与负载方之间用变速离合器相连, 将电动机与负荷的另一方相连。

(三) 两种配置方式的比较

对于汽、电同侧式结构, 最大的优势在于, 电动机始终保持着热后备, 在任何时候都可以启动, 并且通常用作既能发电又能两用的电动机。其不足之处在于, 在机组或电动机出现异常情况时, 必须停机检修。若用户在带负荷后还有富余, 则最好采用汽、电同侧配置, 这是由于在这种情况下, 电动机所作的功都是用来发电的, 从而带来了直接的经济效益。

而汽电异侧结构的最大优势在于, 在机组或电动机出现异常情况时, 能够不停机检修, 具有较大的灵

活性。其不利之处在于, 本机配有 2 个离合器, 使机器的失效点增大, 另外, 此时电动机处于关闭状态, 开机也要一段时间。当用户生产的蒸汽拖动负荷后, 基本上没有多余的电能, 或在系统出现异常后, 用户更注重对系统的可维修性, 最好是采用汽电异侧配置, 这时, 电动机只是一个冷备份。

综上所述, 上述两种配置方法, 在很大程度上要视使用者的需求而定, 若较注重经济效益, 则应选用汽电同侧配置方案, 若较重视维修保养, 宜选用汽电异侧配置。

(四) 汽电双驱机组的运行模式

汽电双驱机组因其灵活多变的工作方式, 能够满足使用者的各种功能要求, 极大增强了其灵动性与适应性。

开机模式: 当系统启动时, 通过同步电动机起动力负载。在负荷 (如压缩机、风扇等) 正常运转后, 如果副产蒸汽的各项指标符合要求, 则可启动, 待达到额定转速后, 再经变速离合器啮合, 使之重新投入机组。

五、结束语

随着世界能源短缺和环境保护的日趋严峻, 低碳减排已经成为各个产业发展的主流。铜冶炼是一种高能耗产业, 其节能减排任务十分艰巨, 必须持续改进与运用先进节能技术, 贯彻绿色发展的思想。汽电双驱可在确保系统装置稳定性的同时, 降低能源转换环节, 提升能源使用效率, 具有较好的经济价值, 是一种具有较强应用前景的铜炼节能方案。

参考文献:

- [1] 万军, 吴长林, 王成国, 李立, 肖军. 铜阳极炉稀氧燃烧技术的生产实践 [J]. 有色设备, 2014, 28 (5): 45-48.
- [2] 朱继红. 再生铜冶炼烟气脱硫除尘工程应用 [J]. 广东化工, 2018, 45 (15): 179-179.
- [3] 李志辉, 伍发伟. 杂铜火法精炼技术探讨 [J]. 中国金属通报, 2018 (5): 16-16.