

系统与附件

电弧炉炼钢配套发电机组容量选择

林坚树

(宁波中策动力机电集团有限公司, 浙江 宁波 315032)

摘要: 针对柴油发电机组电站用于电弧炉炼钢配套, 采用不同的计算方法, 对电站装机容量及单机功率进行了计算和验证, 得出了合理的装机容量配置。实际应用表明: 所配置的发电机组电站在满足电弧炉炼钢需求的同时, 投资和效益优化。

关键词: 柴油机发电机组; 电站; 电弧炉; 负载

中图分类号: TM314⁺.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2013)02-0039-04

Capacity Selection of Electric Arc Furnace
Steelmaking Supporting Generating Sets

Lin Jianshu

(Ningbo C. S. I. Power & Machinery Group Co. Ltd. , Zhejiang Ningbo 315032)

Abstract: Concerning with diesel gensets power station for electric arc furnace steelmaking supporting, varied methods were adopted to calculate and verify the power station's installed capacity and single genset power, and the reasonable installed capacity was given. The application results show that the gensets power station can satisfy the requirements of electric arc furnace steelmaking, and at the same time, optimize investment and income rate.

Keywords: diesel engine gensets; power station; electric arc furnace; load

0 引言

在非洲, 特别是一些已有初步工业基础的国家, 由于当地的发电设备不完备, 电力供应不能做到稳定可靠, 柴油发电机组一直是作为电力能源的补充。也有一些有实力的企业财团, 为了企业生产正常运转, 自建电站。公司自二十世纪九十年代末, 致力于柴油发电机组和整套电站建设, 针对各种不同的用电需要, 在电站容量和发电机组规格选择方面, 积累了较多实际经验。本文结合实例, 介绍柴油发电机组在电弧炉炼钢设备上的配套容量选择。

柴油发电机组电站用于电弧炉炼钢, 与电站应用于其他领域有所不同, 最大的特点是负载变化幅度大, 冲击负载变化频繁。大功率电弧炉接在容量

相对较小的电网, 会对电网和其他负载产生不利影响, 主要有: 无功冲击及闪变; 三相负荷不平衡; 产生谐波电流。对于由柴油发电机组组成的电站, 电弧炉的不稳定负载对发电机组是一个极大的考验, 一个有限容量的电站, 既要保证电弧炉炼钢正常运行, 还要保证炼钢所需要的外围辅助设备的运行, 及其他生产、办公、生活用电。因此, 在电站容量及单机容量的选择上, 要做到既不追求冗余功率, 又能使发电设备得到充分利用, 以较少的备份得到最优的配置。

1 技术方案

在实际的电站容量计算过程中, 选用三种不同的计算方式及一种验算方法。即: (1) 按冲击容量

收稿日期: 2012-08-15; 修回日期: 2013-01-11

作者简介: 林坚树(1959-), 男, 工程师, 主要研究方向为柴油发电机组设计及控制, E-mail: linjianshu@ningdong.com。

小于 40%，(2)按电弧炉的短路电流为额定电流的三倍，(3)按主变压器容量与电炉变压器容量比的关系进行计算；以短路容量进行验算。以下以实际案例说明计算过程。

非洲某公司准备在原有的基础上增加炼钢能力，拟建一台 20t 电弧炉。由于当地实际供电能力不足，考虑自建一座电站。根据部分已知数据，对该座电站的设计容量进行初步测算。

1.1 部分已知数据

原电弧炉及新电弧炉部分参数见表 1。

表 1 原电弧炉及新电弧炉部分参数

参数	新电弧炉	原电弧炉
限流电抗器容量/Mvar	0.45	
限流电抗器额定电流/kV	0.525	
电弧炉变压器容量/MVA	10	8
电弧炉变压器一次电压/kV	11	11
电弧炉变压器二次电压范围/kV	0.17~0.3	0.127~0.29
电弧炉变压器短路电抗	10%	10.02%
短网阻抗/ Ω	2.5×10^{-3}	
补偿前功率因素估计值	0.8	

1.2 负荷计算

电弧炉实际电流变化曲线见图 1。电弧炉工作电流统计（高压侧）：最大电流 $I_{\max} = 766 \text{ A}$ （取 3 点平均值）；最小电流 $I_{\min} = 330 \text{ A}$ （取 3 点平均值）；工作电流 $I_e = 440 \text{ A}$ （取稳定平均值）。

与电弧炉配套的负载设备由以下组合：

炼钢系统：除尘电机，交流 391 kW；除尘电机，直流 1 000 HP（735 kW）；3.3 kV 空压机 500 kW；空压机 200 kW；氧压机 110 kW。以上为 1#变压器所带的负荷，均为 24 h 连续运行设备，合计负荷为 1 936 kW。

其它回路上负荷：2#变压器带的负荷：轧钢生产线负荷 600 kW，预计增加到 2 000 kW；3#变压器带的负荷：最大负荷 2 500 kW，预计增加到 4 000 kW。

负荷合计： $P = 1\,936 + 2\,000 + 4\,000 \approx 8\,000 \text{ (kW)}$

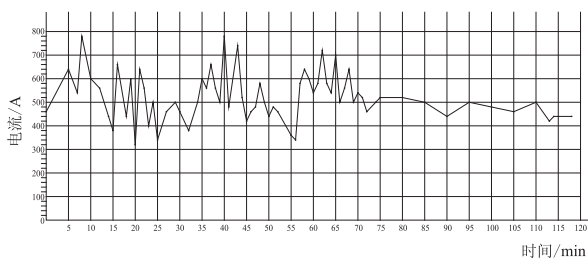


图 1

1.3 运行目标

发电机组以并联组网方式向电弧炉及附属设备供电，在运行中，能适应电弧炉的电流冲击，突加负荷、突减负荷控制在机组容量的 40% 以内；电弧炉的最大电流（短路电流）应与机组额定电流相当；发电机组短路容量大于电弧炉变压器的短路容量。

1.4 发电机组容量配置测算

发电机组容量配置以下述三种不同方法进行测算。

(1) 按冲击容量小于 40% 考虑

根据 GB/T 2820.5-2009《往复式内燃机驱动的交流发电机组 第五部分交流发电机组》中的 9.4“负载接受”及 GB/T20136-2006《内燃机电站通用试验方法》试验项目 410.6，公司的 G300 系列柴油机驱动的发电机组最大容许突加负载为机组额定容量的 50%。对于电弧炉这类负载，运行中需长期经受突加、突减负载的冲击，为保证机组性能，适当降低突加极限负载值。约定：40% 的突加负载既能发挥机组的性能，又适应柴油发电机组运行特点，不至于影响机组运行质量。

由图 1 计算得：8MW 的电弧炉冲击电流为

$$I_{cj1} = I_{\max} - I_{\min} = 766 - 330 = 436 \text{ A}$$

考虑以最大电弧炉的冲击电流为测算对象，按比例折算 10MW 电弧炉的冲击电流增加 1.25 倍

$$I_{cj2} = 1.25 I_{cj1} = 1.25 \times 436 = 545 \text{ A}$$

按机组工作电流的 40% 为冲击电流计算，机组的计算工作电流 I_{je} 为

$$I_{je} = I_{cj2} \div 40\% = 545 \div 0.4 = 1\,362 \text{ A}$$

折算为发电机组计算工作容量 S_{je} 为

$$S_{je} = \sqrt{3} U_{je} I_{je} = \sqrt{3} \times 11 \times 1\,362 = 25\,950 \text{ (kVA)}$$

发电机组运行负荷控制在 70%，并折算功率因数为 0.8，得到机组配置容量 P_e 应为

$$P_e = S_{je} \times \cos \Phi \div 70\% = 25\,958 \times 0.8 \div 70\% = 29\,666 \approx 30\,000 \text{ (kW)}$$

即发电机组配置的容量约为 30MW。

从负载的构成分析：电弧炉的总负荷由基本稳定负荷和动态冲击负荷组成，加上其它辅助设备、轧钢设备和其它生产负荷，其合计值即为发电机组的负荷。计算如下：

电弧炉的基本稳定负荷

$$S_j = \sqrt{3} U I_d = \sqrt{3} \times 11 \times 440 \approx 8\,380 \text{ (kVA)}$$

电弧炉的动态冲击负荷

$$S_{cj} = \sqrt{3} U I_{cj2} = \sqrt{3} \times 11 \times 545 \approx 10\,380 \text{ (kVA)}$$

其它稳定负荷

$$S_{wd} = (1\,936 + 2\,000 + 4\,000) \div 0.8 \approx 8\,000 \times 0.8 = 10\,000 \text{ (kVA)}$$

合计

$$S = S_j + S_{cj} + S_{wd} = 8\,380 + 10\,380 + 10\,000 = 28\,760 \text{ (kVA)}$$

按功率因数 0.8 折算, 发电机组功率

$$P = S \times \cos \Phi = 28\,760 \times 0.8 \approx 23\,000 \text{ (kW)}$$

实际运行时冲击负荷所占的比例为

$$\frac{S_{cj}}{S} \times 100\% = \frac{10\,380}{28\,760} \times 100\% = 36\%$$

冲击比例小于设定的 40%。

冲击负荷占发电机组容量的比例为

$$\frac{P_{cj}}{P_e} \times 100\% = \frac{10\,380 \times 0.8}{30\,000} \times 100\% = 27.7\%$$

同样, 冲击比例小于设定的 40%。

(2) 以电弧炉的短路电流为额定电流的三倍并加上其它负荷计算发电机组容量配置

电弧炉的短路电流为额定电流的三倍是由电弧炉配置所决定的。目前国内的电弧炉与主变压器之间装有一台固定电抗器, 目的就是防止出现直接短路, 限制短路电流。电弧炉在熔化期, 电流变化很大且随机出现短路(即闪变现象, 此时功率因数不高), 为限制大电流对网络的冲击, 设计时已经考虑到将电弧炉短路电流限制为额定电流的三倍, 即机组要适应三倍额定电流的冲击。

由图 1 得到电弧炉工作电流 $I_e = 440 \text{ A}$ (取稳定平均值)

$$I_d = 3 \times I_e = 3 \times 440 = 1\,320 \text{ A}$$

折算为电弧炉供电容量 S_{dh} 为

$$S_{dh} = \sqrt{3} U I_d = \sqrt{3} \times 11 \times 1\,320 = 25\,149 \text{ (kVA)}$$

其它稳定负荷

$$S_{wd} = (1\,936 + 2\,000 + 4\,000) \div 0.8 \approx 8\,000 \times 0.8 = 10\,000 \text{ (kVA)}$$

合计容量为

$$S = S_{dh} + S_{wd} = 25\,149 + 10\,000 = 35\,149 \text{ (kVA)}$$

换算为发电机组容量为

$$P = S \times \cos \Phi = 35\,149 \times 0.8 = 28\,120 \text{ (kW)}$$

即发电机组配置功率约 28 MW 左右。

(3) 按主变压器容量为电炉变压器容量 2.5 倍^[2]并加上其它负荷计算发电机组容量配置

原电弧炉变压器容量 $S_{r1} = 8 \text{ MVA}$, 新电弧炉变压器容量 $S_{r2} = 10 \text{ MVA}$, 合计电弧炉变压器容量 $S_r = S_{r1} + S_{r2} = 8 + 10 = 18 \text{ MVA}$ 。供电配置容量 S_{dh} 为

$$S_{dh} = 2.5 \times S_r = 2.5 \times 18 = 45 \text{ (MVA)}$$

折算为发电机组功率为

$$P = S \times \cos \Phi = 45 \times 0.8 = 36 \text{ (MW)}$$

由于二台电弧炉错时运行, 即使同时运行, 冶炼阶段也不重叠, 所以本计算方法余量很大。

(4) 以短路容量验算

短路容量验算目的是验算在用电设备发生最严重短路故障时, 供电设备是否因过热或受电力作用而遭到损坏。

电炉变压器的短路容量估算: 在有限网络中按简单折算法, 短路容量为额定容量与短路比的比值, 即

$$S_d = \frac{S}{Z_d} = \frac{10}{10\%} = 100 \text{ (MVA)}$$

由于有串联电抗器的存在, 实际短路容量要小于计算值。若采用 2 000kW 的发电机组, 当纵轴电抗 $X_d = 0.993\,02$, 发电机电压 $U = 11 \text{ kV}$, 其单台的短路容量 S_{df} 为:

$$S_{df} = \frac{U^2}{X_d} = \frac{11^2}{0.99302} \approx 121 \text{ (MVA)}$$

若电站由 15 台 2 MW 发电机组, 总短路容量为

$$S_{zd} = \sum S_{df} = 15 \times 121 \approx 1\,800 \text{ (MVA)}$$

S_{zd} 远大于 S_d , 足够满足短路容量要求。

根据上述计算得到三种不同的结果, 即:

(1) 按冲击容量考虑, 电站的配置容量 $P = 30 \text{ MW}$; (2) 按电弧炉的短路电流考虑, 电站的配置容量 $P = 28 \text{ MW}$; (3) 以主变压器容量为参考, 电站的配置容量 $P = 36 \text{ MW}$ 。其中, 主变压器容量为电炉变压器容量 2.5 倍的配置, 是比较宽松的, 应视为总安装容量的上限。实际容量应该在 28 ~ 30 MW 之间, 取 30 MW 比较合理。考虑备用机组 2 ~ 3 台 (检修维护时补充), 则总装机容量为 34 MW 较合理, 即 2 MW 11 kV 发电机组 17 台为宜。电站的发电机组选择公司的 2000GF8 系列 2 MW 11 kV 50 Hz 重油型柴油发电机组。在电弧炉炼钢时, 按实际需要投入 30 MW; 在平时, 根据实际负载有选择地开启机组, 减少损耗。采用 2 MW 单机容量的发电机组, 可更灵活地组合运行台数, 控制每台机组均能处于最佳的负荷率, 提高燃油的经济性。

2 实际使用效果

采用三种不同的计算方式, 同时兼顾柴油发电机的能力、电弧炉的特性及参考变压器的容量配置, 得出互相都能兼顾的总装机容量。电站设备试运行, 对机组的性能进行了测试。电弧炉工作在融化期, 电极电流波动极大, 相当于发电机组在重

复突加负载和突减负载,为此选取最初的电极电弧启动作为类似突加负载;在断弧阶段作为类似突减负载;电弧炉处于精炼期,作为稳态负载。测定的结果如下。

突加负载时,瞬态频率调整率为-8%、瞬态电压调整率为-10%;突减负载时,瞬态频率调整率为 10%、瞬态电压调整率为 10%。稳态性能方面,由于采用了电子调速器,处于有差运行模式时可以随意控制调速率在 0~2%之间,无差运行模式完全做到恒频;稳态电压调整率在 0.5%,频率和电压波动率均在 0.2%以内。多台并联运行时,有功负载不平衡 ΔP 仅为 5~10 kW。在电弧炉和辅助设备开机运行下,融化期由于电极电弧不稳定,负载波动大,14 台机组并联运行,提供 28 MW 供电能力,最大负载达到 100%,持续时间较短;进

入精炼期负载明显下降,退出多余机组,正常只要保持 8~10 台机组运行,稳态性能非常突出。

3 结 论

综上所述,针对柴油发电机组电站用于电弧炉炼钢配套,根据具体需求和负载情况,采用不同的计算方法,得出了合理的装机容量。实际应用表明:所配置的装机容量完全满足生产需求,且投资效益优化。

参考文献

- [1] 俞有为. 电弧炉的工作特性及对电网的影响[J]. 新疆电力,2002(1).
- [2] 梁正敏. 高阻抗电弧炉的供电电路[J]. 电源技术应用,2005(9).

(上接第 25 页)

4 结 论

在新泻 8PA5 型柴油机曲轴连杆组件动态仿真的基础上,得到一个完整工作循环内连杆受到的交变载荷,以该载荷作为有限元分析的力学边界条件,建立连杆有限元模型进行了有限元分析。该模型考虑了连杆螺栓的预紧力,并通过与预紧工况下实测的应变值进行对比验证了模型的正确性。最后基于有限元分析结果,采用 S-N 法计算了连杆切口部位的疲劳寿命。由于在齿形处存在比较严重的应力集中,导致局部尤其是齿根处的寿命较低,建议在运行 12 000~24 000 h 后就应注意疲劳裂纹的检查。

参考文献

- [1] 林建生,张宝欢,付伟成,等. 一种新型多杆内燃机的机构运动学与动力学的虚拟仿真研究[J]. 内燃机学报,2006,24(6):565-568.
- [2] 张云侠,申立中,毕玉华,等. 有限元模型在发动机上的应用[J]. 昆明理工大学学报,2001,26(3):43-46.
- [3] GB/T 228-2002,金属材料室温拉伸试验方法[S].
- [4] 周芝庭,冯建芬,谷春笑. 基于 ABAQUS 螺栓接头的接触有限元分析[J]. 金陵科技学院学报,2008,24(4):9-12.
- [5] Heyes P J. 基于有限元的疲劳设计分析系统 MSC/FA-TIGUE[J]. 中国机械工程,1998,9(11):12-16.
- [6] 谢里阳,林文强,徐源,等. 复杂载荷情况下平均应力修正方法[J]. 航空学报,1993,14(12):639-641.