

大型炼钢厂房行车供电系统设计浅析

大型车间、厂房的行车供配电系统设计似简实繁，计算方法不同、计算公式中各系数取值不同，设计方案的差异也较大。滑触线及电缆设计选型过大会对工程投资产生极大的影响，选型过小，行车无法正常工作。所以合理地计算、选型尤为重要。结合工程设计实例对大型炼钢厂房内高低压行车滑触线设计、选型进行简要分析。

姜元新/宝钢工程技术集团有限公司

0 引言

大型炼钢厂房行车具有吨位大、数量多、环境多粉尘和高温等特点，在其供电系统的设计中涉及行车用电负荷计算、配电开关设备的选型、供电线路压降计算、线路敷设方式、滑触线选型和滑触线安装等内容。因行车电动机功率大，供电线路

长，截面积大，电缆及滑触线的工程费用高昂，所以合理的供电设计方案对工程投资起着至关重要的作用。

本文就国内某大型钢厂转炉车间行车供电系统的具体实例进行简析。

1 工艺背景

炼钢系统建设规模年产钢水892.8万t，主厂房内配置3座350 t顶底复吹转炉、2套RH真空脱气装置、2套LATS精炼装置和1套双工位LF精炼炉。炼钢车间主厂房由加料跨、转炉跨、精炼跨、钢水接收跨、铁水吊运跨和脱硫跨组成，炼钢区域主厂房外设置钢水罐维修跨、铁水罐维修跨。炼钢车间起重机参数如下表所示。

表 炼钢车间起重机参数表

跨间名称	加料跨		转炉跨	精炼跨	钢水接收跨		钢/铁水罐维修跨	铁水吊运跨	脱硫跨
吊运对象	铁水罐、拆炉机等	废钢料槽	修炉塔、氧副枪、软管等	钢水罐、真空槽、RH氧枪等	钢水罐	钢水罐、倒铸余渣	空钢水罐、铁水罐、芯模等	铁水罐	搅拌浆
起重机名称	500/100 t 起重机	110 t + 110 t 起重机	50 t 起重机	170/63 t 起重机	520/100 t 起重机	170/63 t 起重机	160/63 t 起重机	500/100 t 起重机	10 t 起重机
起重机型式	四梁双小车	双梁双小车	双梁单小车	四梁双小车	四梁双小车	四梁双小车	双梁单小车	四梁双小车	单梁单小车
工作级别	A8	A7	A6	A7	A8	A7	A7	A8	A5
电压等级	3 kV	3 kV	380 V	380 V	3 kV	3 kV	380 V	3 kV	380 V
起重机台数/台	3	2	2	3	3	1	2/1	1	2
轨面标高/m	+28.6	+28.6	+60.0	+36.42	+27.5	+27.5	+19.0	+21.0	+35.5
轴线跨度/m	25	25	10	27	25	25	24	21	27
单装机容量/kW	2 342	1 010	165	930	2 342	993	630	2 342	17.6
总装机容量/kW	7 026	2 020	330	2 790	7 026	993	1 260/630	2 342	35.2

注：1. 500/100 t、520/100 t起重机：主起升780 kW×2，副起升200 kW×1，主小车30 kW×4，副小车22 kW×1，大车110 kW×4。
2. 160/63 t起重机：主起升315 kW×2，副起升160 kW×1，主小车15 kW×2，副小车11 kW×1，大车30 kW×4。
3. 170/63 t起重机：主起升315 kW×2，副起升160 kW×1，主小车22 kW×2，副小车11 kW×1，大车37 kW×4。
4. 110 + 110 t起重机：主起升200 kW×2，副起升200 kW×2，主小车7.5 kW×2，副小车7.5 kW×2，大车45 kW×4。
5. 50 t起重机：主起升132 kW×1，主小车3 kW×1，大车15 kW×2。



姜元新/工程师

关键词/Keywords

行车·
负荷计算·
滑触线·
电压降·

2 供配电系统

2.1 负荷等级

根据《钢铁企业电气设计手册》中的规定, 免铁水和铸锭桥式起重机突然停电后, 如不能及时恢复, 会造成凝包事故, 需按一级负荷供电; 原料跨起重机突然停电将影响炼钢生产, 需按二级负荷供电。

在转炉车间外设有1座炼钢110 kV/10 kV变电所, 110 kV侧为独立的两电源, 下级10 kV、3 kV和0.4 kV配电系统均为双回路、三回路供电, 满足一类负荷供电要求。

2.2 高、低压配电系统

(1) 3 kV行车配电

3 kV桥式起重机由转炉综合楼(与炼钢车间毗邻) 10 kV高配室内的3 kV高压柜供电, 设置两台10/3 kV 12 000 kV·A油浸式变压器。10 kV、3 kV高配分别采用单母线分段, 正常时两段母线同时供电, 当一段电源故障时, 手动闭合母联开关。两路10 kV电源引自炼钢区域110 kV变电所10 kV侧两段母线, 正常时, 每路电源负担50%负荷, 故障时, 每路电源负担100%负荷。

10/3 kV 12 000 kV·A油浸式变压器中性点通过接地电阻接地, 接地组别为D/yn11, 接地电流100 A。其优点在于可以抑制单相接地时的异常过电压(谐振过电流), 从而可以减少因系统过电压对电动机绝缘、电缆绝缘的损伤。

(2) 低压380 V行车配电

低压行车电源引自LATS电气室, 该电气室位于炼钢车间中央位置, 电气室内设置炼钢车间低压起重机配电中心, 为转炉跨、精炼跨和钢铁水罐维修跨起重机供电。因精炼跨和钢铁水罐维修跨起重机为380 V供电, 且设备功率较大, 其供电电缆截面积大, 电气室布置在此可以大幅减少电缆投资, 使设计更为合理。电气室内设置两台2 000 kV·A干式变压器, 两路10 kV电源引自转炉综合楼高配室, 两台动力变压器低压侧设联络开关, 当任一路高压电源故障时, 可以通过低压侧

母联开关由另一台变压器负担全部负荷, 以提高供电可靠性。

3 选型计算

确定起重机计算电流的方法有很多, 较常见的有二项式法、均方根电流法、利用系数法和综合系数法等, 上述四种方法中, 后三种算法计算系数实测资料还都不全, 国内缺乏切实的工作和数据的积累。二项式法是将负荷分为基本部分和附加部分, 后者考虑了一定数量大容量设备的影响, 较为适用设备数量多、电动机功率分布广以及工作制差异大的大型炼钢厂房行车系统电力计算, 且在《钢铁企业电力设计手册》中, 二项式法的各项系数值较全。

3.1 用二项式法确定计算负荷

(1) 设备功率的确定

用电设备铭牌标明的额定功率, 是厂家规定工作条件下的额定输出功率。各种设备规定的工作条件不完全相同, 故负荷计算时应将其换算为统一规定工作条件下的功率, 即设备功率。

断续周期工作制或短时工作制电动机的设备功率, 应换算到统一负荷持续率下的有功功率, 其换算关系如下

$$P_s = P_e \sqrt{\frac{FC_e}{FC_x}} = 2P_e \sqrt{FC_e} \quad (1)$$

式中, P_s 为设备功率, kW; P_e 为电动机额定功率, kW; FC_e 为电动机铭牌所规定的电动机额定负载持续率; FC_x 为负载持续率, A4、A5为25%, A6为40%, A7、A8为60%。

(2) 用二项式法确定计算负荷

多个用电设备组的计算负荷如下。

有功功率

$$P_{js} = (cP_n)_{\max} + \sum bP_s \quad (2)$$

无功功率

$$Q_{js} = (cP_n)_{\max} \tan \varphi_n + \sum (bP_s \tan \varphi) \quad (3)$$

视在功率

$$S_{js} = \sqrt{P_{js}^2 + Q_{js}^2} \quad (4)$$

计算电流

$$I_{js} = \frac{S_{js}}{\sqrt{3}U_e} \quad (5)$$

尖峰电流

$$I_{jf} = I_{js} + \frac{2P_{主钩}}{\sqrt{3}U_e \cos \varphi \eta} \quad (6)$$

式中, P_s 为用电设备组的设备功率, kW; P_n 为用电设备组中功率最大的 n 台设备的设备功率之和, n 值可查表, kW; c 、 b 为二项式系数, 可查表; $(cP_n)_{\max}$ 为用电设备组 (cP_n) 项中选出的最大值, kW; $\tan \varphi_n$ 为与 $(cP_n)_{\max}$ 对应的功率因数正切值; $P_{主钩}$ 为主起升电动机额定功率, kW; η 为电动机效率。

计算尖峰电流常用公式为 $I_{jf} = I_{js} + KI_e$, K 为最大一台电动机的起动电流倍数, I_e 为最大一台电动机的额定电流。因目前大型起重机电动机通常为变频起动, 起动电流不超过额定电流, 所以不按起动倍数计算, 但在非变频状态下需按常用公式计算。另外, 按《钢铁企业电力设计手册》所述, “实际工艺过程中有可能两台或两台以上电动机同时起动(如炼钢车间的铸锭跨起重机), 此时应按实际可能取两台或两台以上电动机的起动电流参与尖峰电流计算”, 所以本文中按两台行车的主起升电动机同时起动计算。

(3) 计算示例

精炼跨行车数量及规格为3台170/63 t行车, 单台行车装机功率993 kW, 工作组别为A7, 对应的负荷持续率为60%, 根据式(1)算出设备功率 $P_s = 1\,273$ kW(因主小车运行时, 副小车不运行, 故仅取功率大的主小车功率, 副小车功率不计)。

查表可得: $c = 0.25$, $n = 3$ (3台容量最大电动机的功率之和), $b = 0.22$, $\cos \varphi = 0.8$, 效率 $\eta = 0.9$ 。根据式(2)~式(5)可计算出 $P_{js} = 1\,572$ kW, $S_{js} = 1\,966$ kV·A, $I_{js} = 2\,986$ A。

3.2 选择滑触线

炼钢厂房内常用滑触线有安全型滑触线和裸滑触线两类。

安全型滑触线是目前广泛应用的新型滑触线, 具有结构紧凑、运行安全、供电可靠和阻抗

值小等优点。安全型滑触线的型式又包括“H”型、组合式(管式)和排式。

裸滑触线包括裸钢材滑触线和刚体滑触线。裸钢材(角钢+辅助电缆)滑触线造价低, 但不安全, 已日趋淘汰。复合式刚体滑触线目前应用广泛, 其载流量范围大(500~4 500 A), 结构简单、故障率低, 适用于钢铁厂等高温、污染等恶劣环境。

本文脱硫跨行车选用安全型滑触线, 因其电流小($I_{js} = 36$ A), 且下方无热源。转炉跨行车虽然计算电流不大, 但其下方有热源, 对安全型滑触线的非金属外绝缘壳有较大影响, 即使是耐高温式安全型滑触线, 其最高环境温度也不超过120℃。

包括3 kV行车在内, 厂房内的其他位置均选用复合式刚体滑触线。

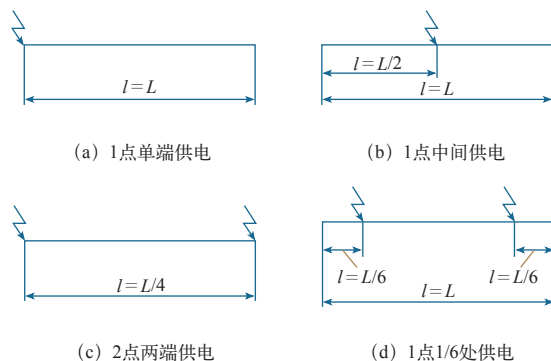
3.3 电压降校验

电压降的校验分为滑触线压降和电缆压降两部分。

首先根据计算电流初选滑触线及电缆规格, 再按尖峰电流校验滑触线及电缆总的电压降不大于12%(计及起重机内部电压损失为3%, 总的电压损失为15%)及按计算电流校验滑触线及电缆总的电压降不大于5%来选择滑触线。

当行车供电线路的电压损失超过允许值时, 可根据个体情况采取下列措施: ①增大滑触线截面积或增设辅助导线; ②增加滑触线供电点或分段供电; ③增大电源电缆截面积。

根据工程经验, 增加滑触线供电点是降低线路压降最有效、最经济的方法。几种供电位置的滑触线计算长度及供电示意图如图1所示。



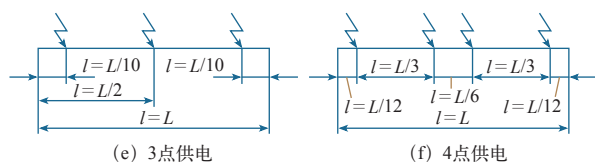


图1 几种供电位置的滑触线计算长度及供电示意图

(1) 滑触线压降校验

滑触线压降表达式为

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3}I_{jf}ZlA}{U_e f} \times 100\% \quad (7)$$

式中， A 为滑触线长度系数，1台起重机系数为1，2台系数为0.8，3台系数为0.7； Z 为滑触线的阻抗， Ω/m ，可查厂家样本； l 为滑触线计算长度， m ； f 为温度校正系数，可查表。

仍以精炼跨行车为例， $I_{js} = 2\,986\text{ A}$ ， $I_{jf} = 7\,110\text{ A}$ ，厂房长度446 m（即行车走行长度），当采用4点供电时， $A = 0.7$ ， $f = 0.81$ ， $Z = 0.000\,076\ \Omega/\text{m}$ ，滑触线计算长度 $l = 446/12 = 37\text{ m}$ 。

当滑触线选用TZJX-1200辅以单芯240 mm²电缆，1/12处供电的电压降为（按计算电流计算）3.32%；1/12处供电的电压降为（按尖峰电流计算）7.91%。

(2) 电缆压降校验

电气室至精炼跨行车走道板上配电柜的电缆长度为90 m。

电缆压降

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3}}{10U_e} (R_0 \cos \varphi + X_0 \sin \varphi) I l \quad (8)$$

当位于行车走道板上配电柜进线电缆选用ZRYJLHV-0.6/1 kV 6[3×1(1×500)]，配电柜出线选用ZRYJV-0.6/1 kV 5[3×1(1×500)]铝合金电缆时，按计算电流计算的电压降为1.61%；按尖峰电流计算的电压降为3.84%。

按计算电流计算的滑触线及电缆总的电压降为4.93%；按尖峰电流计算的滑触线及电缆总的电压降为11.75%。满足上文中5%与12%的要求。

4 滑触线安装

4.1 滑触线安装

滑触线的安装分为顶滑式、侧滑式。对于刚

体滑触线，推荐采用侧滑式，可以有效防止滑触线接导电接触面因积灰引起导电不良。H型安全型滑触线推荐采用顶滑式，滑触线吊装。在以往的工程案例中，H型滑触线侧装时发生过滑线移位的现象，因为其侧装时固定滑触线与支架的水平安装的螺栓承受了一个滑线向下的引力，导致铝制滑触线损坏，解决办法是增设滑触线固定支架。通常滑触线固定支架安装距离为1~3 m，可根据支架落脚点的实际情况结合所选滑触线的刚性进行调整。

此外，滑触线宜与行车驾驶室同侧安装，以便于维护。对工作人员上下可能触及的裸滑触线段，必须设置遮栏保护；安全型滑触线可不采取防护措施。

刚体滑触线侧滑式、安全型滑触线顶滑式安装示意图如图2所示。

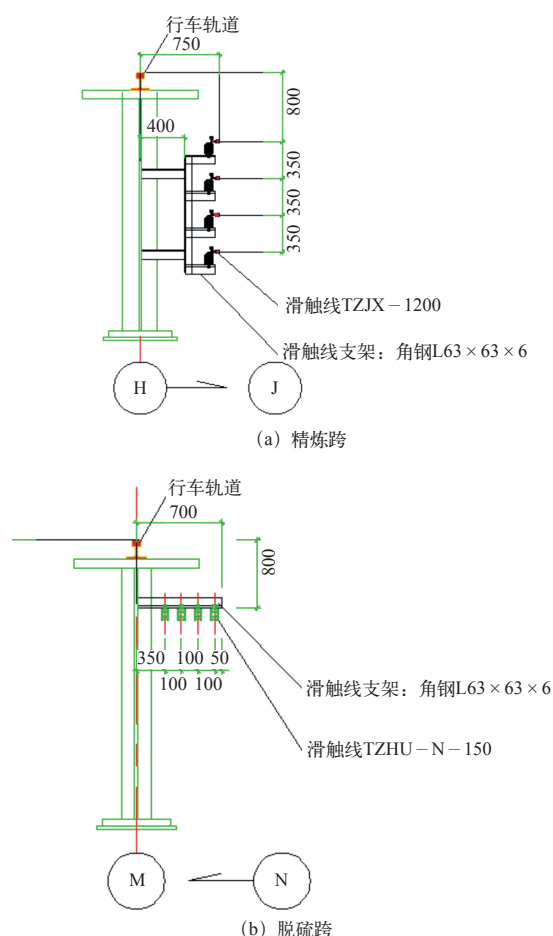


图2 刚体滑触线侧滑式、安全型滑触线顶滑式安装示意图

在刚体滑触线的基础上，拼加辅助电缆，可

有效降低滑触线阻抗值, 安装示意如图3所示。

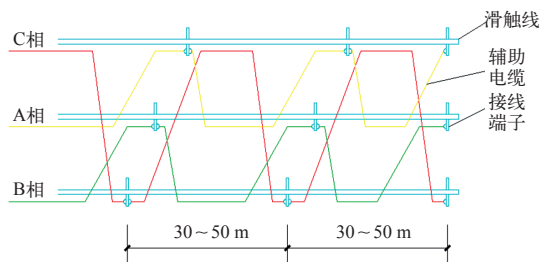


图3 行车滑触线辅助电缆安装示意图

根据工作场所温度的差异, 滑触线需考虑装设膨胀补偿（温度补偿）装置。膨胀补偿的解决主要有分散补偿和集中补偿两种方法。

分散补偿法就是在每根标准长度（通常为6 m）滑触线之间预留空间, 伸缩空间由安装环境温度差确定, 并且在每根滑触线上加一固定支撑点, 其他支撑点采用浮动支撑。

集中补偿法是对某一长度滑触线的伸缩进行集中补偿, 通常采用补偿装置来补偿。

通常固定式滑触线跨越建筑物伸缩缝处和滑触线长度每隔30~50 m处应装设膨胀补偿装置。

（上接第67页）

另外, 由于电气二次系统的各个厂家对抗干扰的理解程度不同, 有些屏柜没有设置两个接地排, 无法将抗干扰接地与保护性接地分开, 需要整改。不同建筑物之间通过室外电缆沟进行连通, 进行整改时电缆敷设已经完成, 如再在电缆沟内采用铜排进行区域等电位网之间的连接, 不切实际且十分不方便施工。最终采用截面积为100 mm²的铜缆进行连接, 直接沿电缆沟内的桥架进行敷设。

4 结束语

为防止过电压、其他电磁设备干扰等问题对电气二次系统稳定运行及二次系统设备安全的威胁, 电气二次系统的抗干扰接地必不可少。由于规范、文件等的描述不够细致, 设计者理解各异, 现场施工时的随意, 这些都威胁着二次系统的稳定和安全的运行。希望通过本文的方案介绍

安全型滑触线装设膨胀补偿装置的要求应根据其制造厂提供的资料而定。

5 结束语

行车配电设计时, 计算电流、尖峰电流和电压损失的计算方法有很多, 应根据不同的工程条件确定最适用的计算方法, 在满足设备可靠运行的前提下, 通过正确的计算, 竭力降低滑触线及电缆投资。经过几个大型炼钢车间行车的正常运行案例的验证, 得出本文中的计算方法适用于大型炼钢车间。

参考文献

- [1] 陈延鏢, 陆乃城, 王敏杰. 钢铁企业电力设计手册 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996.
- [2] 工业与民用配电设计手册 [M]. 3版. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [3] GB/T 3811—2008 起重机设计规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

（收稿日期：2016-02-10）EA

可以引发大家的探讨, 从而对电气二次系统的抗干扰接地达成共识, 为设计和施工提供借鉴。

参考文献

- [1] Q/GDW 1914—2013 继电保护及安全自动装置验收规范 [S].
- [2] DL/T 5136—2012 火力发电厂、变电站二次接线设计技术规程 [S].
- [3] 美国森, 王世祥. 电网继电保护二次系统接地设计研究及应用 [J]. 贵州电力技术, 2013, 16(10): 48-51.
- [4] 阮羚, 黄华, 全江涛, 等. 直流输电新型分布式接地极的优化设计 [J]. 电气工程学报, 2015, 10(7): 63-70.
- [5] 肖磊石, 张波, 李谦, 等. 分布式等电位接地网与变电站主接地网连接方式 [J]. 高电压技术, 2015, 41(12): 4226-4232.

（收稿日期：2016-02-10）EA