

[开关设备]

基于配变容量的铁路配电线损等值电阻法研究

文/呼和浩特供电段 魏念龙

基于配变容量的等值电阻法，对铁路10 kV配电系统理论线损进行了分析，找出了铁路10 kV配电系统理论线损分析计算存在的问题和原因，提出了一种适用于铁路10 kV配电系统线损管理中理论线损的实用计算方法，降低了铁路配电系统线损分析计算的复杂程度，为铁路配电系统线损计算提供计算依据。利用铁路10 kV配电所的实际案例初步证明了该方法的有效性和实用性。

铁路10 kV配电系统主要承担着铁路运输生产调度指挥、通信信号、旅客服务和动力照明等系统供电任务，是确保铁路安全、稳定和高效运营的重要基础设施之一。长期以来，对铁路10 kV配电所的线路损失一直是按照统计线损（受电端电量与抄收电量）进行分析和计算，但是由于统计线损包含了误差、漏抄、估抄、错抄、窃电和表计损坏等管理线损部分，不能够真实反映配电网实际损耗情况，同时每一配电所的网络拓扑结构、补偿状态、负荷类型和负荷曲线都有很大差异，运营工程师无法依据统计线损数据进行损耗结构变化判断并开展无功优化工作。结合铁路供电段管理实际基于配变容量等值电阻计算方法提出了铁路配电所线损计算的通用公式，适用于铁路10 kV配电系统线损的实际分析和计算。

线损概念

线损是电能 在传送、分配过程中各元器件本身不做有效功但是仍然产生电能损耗而损失的电量，是不可避免客观存在物理现象，也是综合反映生产运营、经营管理水平的最主要经济技术指标之一。铁路配电系统线损产生的原因分为两部分，一部分是线路导线、变压器、调压器、仪器仪表、补偿装置等设备和元器件产生的铜损和铁

损，这部分损耗属于自然损耗，不能通过管理或技术手段避免，只能采用新技术、新工艺或新设备来降低；另一部分是由于管理原因产生的损耗，主要是元件漏电，计量装置误差，用户违章用电、窃电，抄表人员漏抄、错抄或估抄等而引起的电能损失，由于这部分损耗没有一定的规律，无法进行准确测算，一般将这部分损耗称为管理损耗或不明损耗，对于这部分损耗的处理和措施一般是采用限定值来进行控制。例如，某铁路供电段对管理线损的规定为不得超过总线损的5%。

在实际计算中，铁路配电系统线损电量的计算统计是通过计算受电量与抄收电量间的差值得出，即

$$\text{线损电量} = \text{受电量} - \text{抄收电量}$$

那么依据线损率的定义，铁路配电系统其线损率就应该为线损电量占受电量的百分比，即

$$\text{线损率} = \frac{\text{受电量} - \text{抄收电量}}{\text{受电量}} \times 100\%$$

等值电阻

铁路10 kV配电网一般均为独立放射供电结构，由于很多运行参数不具备测录条件或运行参数完整、损坏等因素影响，受电、配电和供电端历史电力和电量等数据都无法获取，基于配变容量的等值电阻法是一种成熟的网络损耗计算方

法,适用于辐射式配电网的计算,其基本思想是基于能量等值的原则,在不计及配变实际负荷率的基础上,将整个配电网等值为一个电阻,那么,整个配电网总均方根电流流过该等值电阻的损耗即为整个配电网的损耗。铁路10 kV线路一般均为独立放射供电结构,其每一馈出回路都是相互独立的。因此,每一馈出回路上等值电阻的损耗就为该馈出回路上总的均方根电流流过等值电阻所产生的电能损耗,亦即该馈出回路上线路损耗、变压器、电容及测量设备等元件设备产生的损耗之和,因此在计算方法上,等值电阻法是简单而又适用的。

1. 配变等值电阻 R_{Tdz}

设配网中共有 m 台配变,第 i 台配变额定容量为 S_i ,额定负载损耗为 P_{ki} ,假设整个配网系统配变平均负荷相同,那么,第 i 台配变的负荷电流 I_i 为

$$I_i = \frac{S_i}{\sqrt{3}u} \quad (1)$$

m 台配变的负荷总电流即为整个配电网或某条馈出回路的总负荷电流 I

$$I = \sum_{i=1}^m I_i = \sum_{i=1}^m \frac{S_i}{\sqrt{3}u} = \frac{1}{\sqrt{3}U} \sum_{i=1}^m S_i \quad (2)$$

那么根据配变容量等值的定义,有

$$3I^2 R_{Tdz} = \sum_{i=1}^m P_{ki} \quad (3)$$

因此,依据上述公式可以得到

$$R_{Tdz} = \frac{U^2 \sum_{i=1}^m P_{ki}}{\left(\sum_{i=1}^m S_i\right)^2} = \left(\frac{U}{\sum_{i=1}^m S_i}\right)^2 \sum_{i=1}^m P_{ki} \quad (4)$$

式中, S_i 为第 i 台配变额定容量,单位为 $\text{MV}\cdot\text{A}$; P_{ki} 为第 i 台配变额定负载损耗,单位为 MW ; U 为配电网的额定电压,即10 kV。

2. 配线等值电阻

如果将整个配网分为 n 个节点,每一节段就是负荷电流的分支节点之间的配线,那么每一节点之后的配变所带负荷产生的电流都会流过该节段配线并产生损耗。如果假设整个配网系统配变平均负荷相同,如果第 i 个配线节段的电阻为 R_i ,后面所挂配变为 j 。那么,负荷电流就应该为

$$I_{Li} = \frac{1}{\sqrt{3}U} \sum_{j=1}^m S_j \quad (5)$$

第 i 个配线节段的损耗为

$$\Delta P_{Li} = 3I_{Li}^2 r_i = \frac{r_i}{U^2} \left(\sum_{j=1}^m S_j\right)^2 \quad (6)$$

配电网的损耗就为

$$\Delta P_L = 3I_L^2 R_{Ldz} = \sum_{i=1}^n \Delta P_{Li} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{r_i}{U^2} \left(\sum_{j=1}^m S_j\right)^2 \right] \quad (7)$$

那么,根据前文给出的负荷总电流依据等值电阻的定义得到整个网络的等值电阻,即

$$R_{Ldz} = \frac{\Delta P_L}{3I_L^2} = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{r_i}{U^2} \left(\sum_{j=1}^m S_j\right)^2 \right]}{\left(\sum_{i=1}^n S_i\right)^2} \quad (8)$$

式中, r_i 为第 i 个配线节段的电阻,单位为 Ω ; m 为第 i 个配线节段后所挂配变台数; n 为馈出线节段数目。

损失计算

铁路10 kV配电所一般除固定设置的自闭、贯通两回10 kV馈出线外,还设置若干条其他馈出线,通过馈线末端变压器为区间各负荷提供电源,相邻两所间独立供电。铁路10 kV配电系统线损从配电所出口处开始(包括所用电)到用户变压器为止,主要元件包括交流线路、公用配电变压器、自用变压器和调压器等。下图为典型铁路10 kV配电所供电示意图。

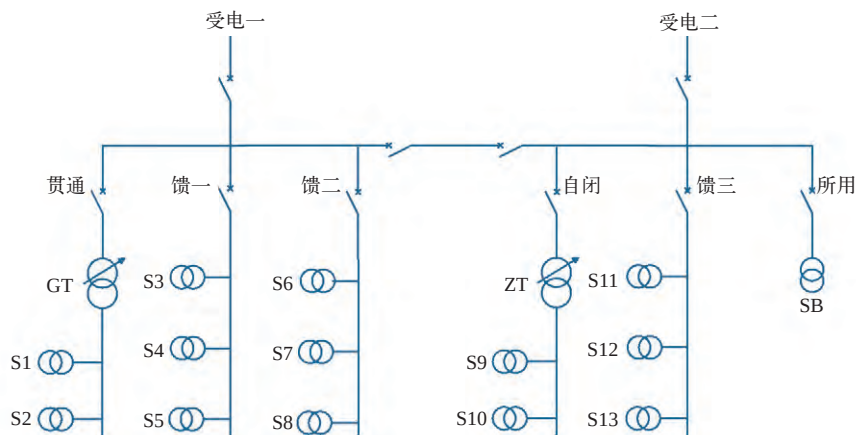


图 典型铁路10 kV配电所供电示意图

铁路10 kV 配电所每一馈出均单独计量、单独控制,因此在计算配电所整所线损时对每一馈出回路进行计算,再对整所各馈出回路线损进行叠加即可得到整所线损。铁路10 kV配电系统的线损管理一般采用为段级和所级(车间级)两级线损管理模式,两级机构单独计算线损,但是对线损限额要求都是一致的。因此,在计算整个10 kV 配电系统线损时只需逐一将各所线损分析计算后叠加求得均值即为整个系统(供电段电力系统)的线损,这种按照馈出回路计算在进行叠加计算的方法,减小了整个系统线损分析计算的复杂性。

每个10 kV配电所全部配线可变损耗、配变负载损耗的总和为该所总的线路损耗,亦为该所总均方根电流流过等值电阻 R_{dz} 时所产生的损耗,即

$$R_{dz} = R_{Ldz} + R_{Tdz} \quad (9)$$

式中, R_{Ldz} 为配线等值电阻; R_{Tdz} 为配变等值电阻。

那么,该所电能损失为

$$\Delta A = \sum_{j=1}^n \left[3I_{jL}^2 (R_{jTdz} + R_{jLdz}) + \sum_{i=1}^m P_{0i} \right] T_j + \sum_{k=1}^n [3I_{kt}^2 R_{jLdz} + P_{kot}] T_k \quad (10)$$

式中, P_{0i} 为第*i*台配变的空载损耗,单位为MW; P_{kot} 为第*k*台调压器的空载损耗,单位为MW; m 为第*i*条馈出线路上所带配变总的数量; n 为该所总的馈出回路数量; k 为该所调压器数量; I_{jt} 第*j*条馈出回路上的总均方根电流,单位为kA; I_{kt} 为调压器所带母线总均方根电流(一般都为自闭),单位为kA; T_j 为第*j*条馈出回路的实际运行时间,单位为h; T_k 为第*k*台调压器(一般为自闭)的实际运行时间,单位为h。

其他元件损失量

1. 并联电容

电容器在并网运行补偿无功损耗的过程中,除向配电网输出无功外,其本身也会消耗一定有功功率,该有功功率就称为电容器的损耗,主要包括介质损失和金属损失,并联电容器功率损耗与电容器本身的容量大小有关。单位容量电容器的损耗即介质损耗角正是表征电容器功率损失的唯一参数,因此,并联电容器的功率损失可以通过电容器的绝缘介质损失角来计算,即

$$\Delta A = Q_c \times \tan \delta \times 24 \text{ (kW} \cdot \text{h)} \quad (11)$$

式中, Q_c 表示每日实际投入运行的并联电容器容量; $\tan \delta$ 表示所投入电容器的绝缘介质损失角。

2. 接户线

由于接户线的损失电量在整个配电系统的线路损失中所占的比重很小,一般都小于1%。因此,对于这部分损失的计算一般都是采用粗略的估算方式,主要是把接户线进行分类,按照分类对各类型的接户线进行典型的统计,换算出单位长度接户线的平均损失,再利用实际统计数据计算出接户线总损失量。

3. 仪器仪表

配电仪器仪表电能损失主要包括电度表、继电器和电压电流互感器等测量保护仪器仪表,这些元件的电能损失所占整个配电系统损失比重非常小。电力网线损理论计算和实测数据表明,互感器和测量仪表总的功率损耗只占总线损的0.1%~0.4%,考虑到铁路配电系统规模相比整个电力系统较小,测量保护装置相对简单,对于仪器仪表的电能损失一般依据产品技术规格所标示的极限功率计算即可。

数据采集

采用基于配变容量的等值电阻法对铁路10 kV 配电所电能损耗进行计算式时,需要采集该10 kV 配电所所有的设备参数和运行数据,主要有网络拓扑结构、结构参数、受电及各馈出回路总的有功和无功电量、受电及各馈出回路最大和最小电流、设备铭牌、并联元件参数和数量以及运行方式、负荷记录和查表记录等相关数据,同时必须保证所采集的数据的完整性和准确性。

实际算例

为验证该计算方式的实用性和可靠性,选取铁路某两个配电所一个月运行数据进行计算并和统计数据对比。配电所一采用单电源供电,共有5条馈出回路,共有变压器15台;配电所二为双电源供电,共有8条馈出回路,共有变压器26台。采用配变容量等值电阻法计算结果如表所示。

表 基于配变容量等值电阻法计算结果

序号	受电有功电量 /(MW·h)	受电无功电量 /(Mvar·h)	计算结果	统计线损
1	444.16	256	5.88%	7.65%
2	12484	3975	5.42%	8.15%

鉴于理论计算结果与实际统计线损结果相差较大,经调查在实际统计线损中实际包含了部分估抄、漏抄等部分,同时由于该所供电范围大、

人员、线路、设备复杂或计量设备老化等原因，统计线损与实际损失并不相符。

结束语

通过对供电系统理论线损进行有效的分析计算，结合运营管理和现场实际基于配变容量等值电阻计算方法给出了铁路10 kV配电所线损计算的通用公式，通过对两个配电所线损的计算并

与实际统计线损比对，同时对数据要求小，精确度满足供电段实际运营管理的要求，适用于铁路10 kV配电系统线损的分析和计算，对配电系统控制线损、无功优化、技术改造、线损计算软件系统设计和提高利用率和运营管理水平，具有重要的指导价值和现实意义。EA

(收稿日期：2015.07.03)

(编辑：刘群立)

积极应对数字化给工业制造带来的机遇和挑战 ——舍弗勒任命首席数字官

2015年10月29日，对于舍弗勒这样的国际化企业，每秒的数字交易量可达数百万次。如今，数字系统支持已成为给生产、物流、研发、人力资源、采购和销售等部门带来增值效益的重要组成部分。因此，如何将分布于各处的这些数字资源进行优化、同步及整合便成为了舍弗勒集团首席数字官格哈德·鲍姆（Gerhard Baum）（自2015年10月起担任该职）的重要职责。这一新职能的设立突显了舍弗勒对数字化的重视。作为一家将数字化纳入发展议程的技术型企业，舍弗勒积极主动地发现和应对工业4.0、物联网、大数据、云、分析和全新业务模式等诸多未来议题。

鲍姆表示：“舍弗勒已将数字化方法应用于诸多领域，且在表面技术和生产优化等领域占据了全球领先的地位。如我们的内部机械设计和构造部门开发了一种专用软件，可运用生成的数据使生产过程及其物料传送系统始终保持最高运行水平。我从中看到了巨大的潜力。这些来自不同领域的数据如果能够实现智能串联，那么将具有广阔的发展前景。对此，我们始终秉持着着眼于全局的态度。要实现数字化变革，首先要从产品着手，然后是工艺和技术，一直延伸到客户服务。这就需要逐步创建集成的数据库，并运用数学算法促进质量提升和销售额增长，并借助数据透明化实现成本节约。”

具有航空航天工程和IT专业背景的鲍姆坚信，数字化将从根本上改变人们的工作方式。几年内，智能手机、机器人和应用程序的运用便会在制造业中普及。更为重要的是，舍弗勒将牢牢把握住这些新趋势和新机遇。鲍姆强调说：“希望我们的员工也能够参与到数字化变革的进程中来。持续开展培训，尤其是对那些尚未熟练掌握这种技术的员工而言是非常重要的。”

工业4.0不再是一个遥远的愿景。在2015年的欧洲国际机床展上，舍弗勒提出了“机床4.0”概念，并将该概念应用于赫希施泰特（Höchstadt）工厂的精密轴承生产线，印证了该机床的应用范围并不仅限于实验室条件下。与德马吉森精机（DMG MORI）合作研发的铣床配有数十个新型附加传感器，可收集大量数据，这些数据可以在云中进行评估分析。该机床吸引了诸多客户的浓厚兴趣，一些参观者在展会现场有幸亲身体验到了该机床的各种功能。

近日，埃尔朗根和埃尔朗根—赫希施塔特县的德国联邦议院成员兼德国联邦教育与研究部议会秘书史蒂凡·穆勒（Stefan Müller）向舍弗勒的“智能服务工厂”项目团队颁发了官方批准函。该项目旨在确保大量数据能够以安全、透明和可持续的方式得到使用。该项目由舍弗勒与埃尔朗根—纽伦堡大学（FAU）、弗劳恩霍夫集成电路研究院（IIS）（弗劳恩霍夫供应链服务SCS工作组）和西门子公司联合开展。



▲ 格哈德·鲍姆
舍弗勒集团首席数字官