

減少城市配電綫路 損失的方法

王德源 張慧芳著

水利電力出版社

目 录

第一章 总論.....	1
第一节 减少綫路損失电量的意义.....	1
第二节 綫路損失电量的組成部分.....	3
第三节 减少綫損的一般措施.....	6
第二章 减少綫路損失的方法.....	13
第四节 电力网的选择.....	13
第五节 变压器的經濟运行.....	22
第六节 添加补偿設備.....	27
第七节 提高运行电压.....	37
第八节 提高用戶力率.....	41
第九节 綫損統計及其与抄表制度的关系.....	53
第十节 資料收集.....	62
第十一节 計算方法和实例.....	75

第一章 总 論

第一节 减少线路损失电量的意义

当电流通过导线时，就要引起电能的损耗，其损耗和电流的平方成正比，而且也和导线电阻的大小成正比。在同样截面的导线上，通过的电流越大，其损耗也越大。当我们把发电厂发出来的电输送到用户处时，电能沿着电力系统中的导线输送，系统中就产生有功功率和无功功率损耗。我们应该根据用户用电量的多少和用户设厂地址，来考虑采用高、低不同的各级电压供电。如发电厂发电机上额定电压是6.6千伏，一般是经过升压变压器升高到35千伏或更高的电压，输送到近负荷中心的主变电所，经过主变电所降压变压器降低到6.6千伏级中压，再由6.6千伏级中压线路经过配电所或杆上变压器降压到380/220伏电压，经过低压线路送到用户处。但其中也有从发电厂供电母线直接送到用户处，也有经过主变电所6.6千伏配电线路送到用户处。这样，在输送电能过程中，除了经过导线时的损失外，还须加上升压变压器和降压变压器等的损耗。这些经过输配电线路和各级电压的变压器所消耗的电能，都是无谓地用来使导线和变压器发热的；因此，接在系统上的输配电设备，主要是起到输配电能的作用，但同时也带来了一部分不作功的电能损耗。

由于电能在输配电过程中，存在着功率损耗，因此发电机上发出的功率，除了供给用户需要的功率外，还须加上这些功率损耗。这部分功率损耗是随着电力系统的大小而不同，根据历年来各地区统计资料，这部分损失百分率是在逐年下降，节

約这部分不作功的功率損耗，不但可以節省寶貴燃料，更重要的把这部分节省下来的功率，供給工农业生产上日益发展的需要，在祖国社会主义建設大跃进时期，具有着极重大的意义。

我們从事电能輸配电工作的职工，不仅要把电力充分的不間断的供給用戶，而且如何减少綫路損失电量也是一項重要任务，我們應該千方百計的想办法，找窍门，采取一切有效的技术措施，减少綫路損失电量，如以上海地区为例，全年綫路損失电量达一亿四千万度，这些电量可煉鋼二亿八千万吨，如果能减少百分之五的損耗，就可把这許多电用到工农业生产上去，若用去煉鋼，就可多煉鋼一千四百万吨，这是一个很大的数值。

按照1956年电力工业部印发的綫路損失电量測計規程(参考資料)的定义，綫路損失电量是下列兩值之差：

(1)由电度表測計得电业局各发电厂所有发电机的发电量和从各自备电厂以及从其他电业局購入电量的总和。

(2)消耗在电业局所有发电厂的厂用电量和售电量的总和。

从上述的定义，可用簡單的等式表示如下：

綫路損失电量 = 发电量 + 購入电量 - 厂用电量 - 售电量，

而綫路損失百分率(簡称綫損率) = $\frac{\text{綫路損失电量}}{\text{供电量}} \times 100\%$ 。

如某电力系统全年供电量为二十亿度，而售給用戶的电量是十八亿六千万度，綫損量就是兩者之差即一亿四千万度，而綫路損失率即为7.0%，用計算公式表示如下：

$$\text{綫路損失率} = \frac{140,000,000}{2,000,000,000} \times 100\% = 7.0\%$$

减少綫路損失电量是一項很重要的工作，不仅是負責电力

系統运行方式同志的主要业务工作之一，而且因为綫路損失率是電力系統綜合性技術經濟指标之一。它的特点既不如煤耗和厂用电两个技术经济指标，可以逐日計算，而必須要一个月計算一次，又包括面很广，牽涉單位很多，影响綫路損失电量的原因很多，只要一个部門不配合，就会影响全面。凡是電力系統的扩建，运行調度的技术管理水平，用戶用电方式，电网电压的高低，用戶力率的高低，日負荷率的高低，檢修工作的質量，設備檢修的配合以及抄表制度等等，都与綫路損失电量有着密切的关系。因此，要达到减少綫路損失电量的目的，仅由少数負責電力系統运行方式的工程技術人員在办公室內依靠几張電力系統布置图和負荷图表来考虑减少綫路損失的措施，是不可能充分挖掘潛力及时完全发现問題的，必須充分发动羣众，特别是从事运行工作的人員，从技術人員到每一个工人都应熟悉减少綫路損失电量的一般方法，正确掌握設備运行情况，互相密切配合联系，这样才能做到充分挖掘潛力。此外，从綫路損失率的高低，也可反映出企业技术管理水平的高低。因为要充分利用各方面力量来减少綫路損失电量，不仅要采取技術措施，而且还要有相应的組織措施，如拟訂有关的綫損管理制度，明确規定各單位在綫損工作方面应負的職責，很好地互相协作配合，以及有关提高安全經濟运行的一些制度。因此，有时为了减少綫路損失电量，就促使其他运行制度的健全，也就提高了企业运行管理水平，所以做好綫損管理工作是非常重要的。

第二节 綫路損失电量的組成部分

綫路損失电量一般可分为可变損失和固定損失二部分，所謂可变損失，与綫路設備上流过的电流有关系，即与电流平 $\square$ 成

正比，电流越大，损耗越大，而固定损失部分，与电流大小无关，只要设备接在电系上，就有损失，其损失量是固定的（当各级电网电压变化不大时）。

线路损失电量的可变部分系由下列各项组成：

- (1)发电厂升压变压器铜损；
- (2)变电所主变压器铜损；
- (3)输电线上用户专用变压器(低压侧量电的)铜损；
- (4)输电线路铜损；
- (5)高压配电线路铜损；
- (6)配电变压器铜损；
- (7)配电线用户专用变压器(低压侧量电的)铜损；
- (8)低压配电线路铜损；
- (9)接户线和进户线铜损；
- (10)调相机铜损；

线路损失电量的固定部分系由下列各项组成：

- (1)发电厂升压变压器铁损；
- (2)主变电所主变压器铁损；
- (3)输电线上用户专用变压器(低压侧量电的)铁损；
- (4)配电变压器铁损；
- (5)配电线上用户专用变压器(低压侧量电的)铁损；
- (6)电缆和电容器介质损耗；
- (7)用户电度表电压线圈损耗；
- (8)调相机固定损耗(包括风阻摩擦损耗，铁心损耗，电刷接触电阻损耗等)；

其他如110千伏以上线路的电量损耗，由于不在本书讨论范围内，不予列入。

线路损失可分为理论损失，实际损失和定额损失。

理論損失是根据当时的供电設備和負荷情况，在理論上算出的損失，为了摸清整个电力系统供电損失的情况，得到研究降低綫路損失和經濟运行的方向，以及供給編制綫損定額的需要，每年在高峯負荷时对整个电力系统进行一次負荷实测和理論計算是必要的，根据理論計算可以得出系統各組成部分的綫損情况，这种損失可作为工作努力方向的根据，如电力系统某一組成部分的綫路損失特別高，說明电系布置上不經濟，存在着薄弱环节，應該先从綫損高的部分着手研究改善，对减少綫損可有較显著的效果。

实际損失是根据电度表所量讀的供电量和售电量之差額來計算，理論損失和实际損失虽不完全相同，当計算与測录准确时兩者應該是很接近的。

定額損失是根据电力系統中过去的实际損失情况，結合下一时期內供电量的計劃和主观努力减低綫損的打算所定出的損失，这种定額損失是为减少綫路損失而努力的目标。

計算可变損失和固定損失的基本方法如下：

三相交流綫路中的有功功率損失，可用下式計算：

$$(1) \Delta P = 3 \times I^2 \times R \times 10^{-3} = 3(I_a^2 + I_p^2) \times R \times 10^{-3} \text{ (瓩)}$$

式中 I 、 I_a 和 I_p 分别为綫路中的总电流、有功分量和无功分量，單位为安培； R 为綫路每相导綫的电阻，單位为欧姆。

$$(2) \Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \times R \times 10^{-3} \text{ (瓩)}$$

式中 P ——有功功率(瓩)；

Q ——无功功率(千乏)；

U ——綫电压(千伏)。

变压器鉄損計算：

变压器中的鉄損 ΔP_{om} 大約与电网电压的平方成正比，由

于电网电压变动范围一般不大，所以 ΔP_{cm} 可当作固定损失，这样计算结果误差不大，其损耗电量可用下式计算：

$$\Delta A_{cm} = \Delta P_{cm} \times t_a$$

式中 ΔA_{cm} = 测计期内变压器铁损损耗量(瓩-小时)

t_a = 测计期内变压器实际运行小时数

变压器铜损计算：

$$(1) \Delta P_m = \Delta P_{mn} \left(\frac{W}{W_n} \right)^2$$

式中 ΔP_{mn} ——当负载为额定负荷 W_n 千伏安时的铜损功率(瓩)；

ΔP_m ——当负载为 W 千伏安时的铜损功率(瓩)。

$$(2) \Delta P_m = \frac{W^2}{U^2} \times R \times 10^{-3} \text{ (瓩)}$$

式中 R ——以电压 U 为基础的变压器等值电阻。

$$(3) \Delta P_m = 3I_{(1)}^2 \times R_{(1)} \times 10^{-3} \text{ (瓩)}$$

$$= 3I_{(2)}^2 \times R_{(2)} \times 10^{-3} \text{ (瓩)}$$

式中 $I_{(1)}$ ——变压器的一次侧电流；

$R_{(1)}$ ——变压器以一次侧电压为基础的等值电阻；

$I_{(2)}$ ——变压器的二次侧电流；

$R_{(2)}$ ——变压器以二次侧电压为基础的等值电阻。

关于线路损失的各种计算公式和具体计算实例将在第十一章详细叙述。

第三节 减少线损的一般措施

减少线路损失，必须采取有效措施。本节主要讨论一般组织措施和技术措施。

组织措施方面，可分以下几个主要方面：

(1) 拟订线损管理制度：

由于綫損工作包括面很广，必須建立一套完整的管理制度，其主要内容包括下面几点：1. 总則；2. 職責分工；3. 定期會議制度；4. 节电計算等。使各單位对綫損工作有專人負責，各單位間工作可相互配合，步調一致，达到充分挖掘潛力全面降低綫損的目的。

(2) 擬訂檢修停役綫損定額管理制度：

当綫路等主要輸配电設備停役后，一种情况是要影响用戶生产，即需要停电檢修的工作，另一种情况是不影响用戶生产，即設備停役檢修后可由其他綫路繼續供电。前者我們應該尽量避免，后者由于导綫未能受到利用而引起的系統有功功率損耗的增加，这部分損失电量比重也很大，例如上海地区23千伏綫路在1955年一年內由于停役所造成的綫損增加量高达百万度之多，为了提高各級电網的安全經濟运行水平，提高設備利用小时数，合理調配劳动力，組織各單位进行集中檢修，对影响綫損較大的綫路，更應該多用一些劳动力，来縮短停役時間，并且加强統一檢修的配合，减少不必要的停电停役次数，擬訂檢修停役綫損定額管理制度，是完全必要的。該制度对主要輸电綫路和影响綫損較大的配电綫路的檢修停役进行适当的控制，按照以往經驗和各單位具体条件，規定每根綫路因檢修停役而容許損失的电度，作为綫路停役的定額，若縮短規定時間提前复役，即作为工作單位节电，这样，可促使工作單位开动腦筋、改善工具、提高工作效率和有效的組織劳动力进行集中檢修，使檢修工作不断的在提高質量基础上縮短檢修時間。

(3) 建立各級电網进行經常的負荷測录制度：

負荷資料对安全与經濟运行是必不可少的，不掌握負荷情况，不但影响綫損率降低，而且更影响設備的安全运行，这个道理是很清楚的，例如不掌握綫路負荷，那么如何来平衡負荷

呢？不掌握綫路負荷那么如何来确定繼电保护方面定值呢？因此，必須建立各級電網負荷的測录工作，根据測录的負荷資料可進行理論計算，以確定各級電網安全与經濟运行。

(4) 收集資料，編訂綫損手冊和繪制阻抗圖：

綫路設備参数資料和运行上負荷資料一样，都是对安全与經濟运行有着密切的关系，沒有这些資料，我們就无法来进行經濟运行計算，因此收集資料和逐步充实資料，編訂成为一本手冊，这就是我們称为綫損手冊，詳情將在第十节中加以介紹，并将各級電網各段綫路的阻抗繪成阻抗圖，对計算綫損有很多方便，集中資料有利于工作效率的提高，有了一套完整資料，才有条件来保證系統安全与經濟运行。

(5) 擬訂電力系統电能計算制度：

为了能准确而較及时的掌握電力系統的綫損，鉴定網路建設和它的运行合理性，必須对系統內各发电厂和主要变电所进行电能平衡計算，以保證电度表(包括电压，电流互感器誤差)的准确度在允許範圍內，應該建立必要的制度，除定期对电度表进行現場校驗外，并应利用机組大修时期，將电度表計拆下来进行校驗，以保證发电量和供电量方面得到很高的准确度，同时我們要注意售电量和抄表制度的改善，使所得到的綫損量能較准确的代表实际情况，这样有利于对綫損进行分析研究，找出薄弱环节，擬訂降低綫損的措施。

(6) 安裝必要的一些計量仪表和綫損計：

利用計量用电度表，来定期測量各地区的供，售电量，以得到各地区的綫損量，有利于綫損分析和綫損管理。在高压系統內，可以安裝一些測計綫損用的电流平方与時間相乘积的仪表，只要乘以电阻，就可以得到測計期內的綫損量，这种表計我們称它为“綫損表”，对計算高压系統的綫損有很多方便，

虽然它的准确度不如电度表，但在計算某一条綫路比用兩只电度表讀数之差来得准确，因为一条綫路的損失往往很少，若用电度表來計算，由于电度表有一定誤差，所以容易發生較大誤差，而“綫損表”所量讀的則比較准确，我們用理論計算方法来計算綫損要化較多時間，若用綫損表來代替，則簡便許多，因之，采用綫損表可以及时的計算高压系統綫損。

技術措施方面，可分以下几个主要方面：

(一)降低高压電網綫損的一些措施：

高压電網是指輸電綫路部分，这部分輸送大量电能，因之，所占綫損量比重也很大，掌握这部分綫損，减少这部分綫損，对整个系統是有很大价值。

降低綫損方面一般采用的措施可分建設措施和运行措施二部分。建設措施是指要化錢投資來改进系統布置的措施，而运行措施一般是指在日常运行中不必化錢或化很少的錢來改进系統降低綫損的措施。

建設措施方面的主要方法如下：

- (1)把較高电压的綫路架設到負荷中心的地方；
- (2)加强電力網結構；
- (3)减少无功电能輸送；
- (4)裝置补偿設備，提高工作电压；
- (5)把電力網改为高压電網；
- (6)改进变压器的結構；

运行措施方面的主要方法如下：

- (1)确定最經濟的電力網結綫方式（詳見第四节）。
- (2)低負荷时停用主变压器，如果主变电所內的主变压器在二台以上参加运行，可根据主变压器經濟运行曲綫来确定最經濟的运行台数（詳見第五节）。

(3) 提高輸電系統電壓，因為系統綫損中銅損是與電壓平方成反比，提高運行電壓，對降低綫損有較大效果（詳見第七節）。

(4) 調相設備的經濟運行，由於調相機本身的損耗較大，在低負荷時，調相設備投入運行，有時並不經濟，所以應根據系統運行情況，經過具體計算確定調相機的運行條件，使達到經濟運行的目的。

(5) 合理分布電容器，對系統上所有電容器，應經過具體計算，分布在每條綫路上，使電容器能發揮最大的經濟效果（詳見第六節）。

(6) 組織有無功設備用戶送出無功電能，當系統上無功出力不足時，應充分利用用戶無功設備供給電網，對改善電壓，降低綫損可起一定作用。

(7) 監視各自備電廠和近負荷中心的發電廠所有機組上無功出力發足，幫助系統上無功需要，特別是將近負荷中心的發電廠機組上的無功出力加以發足，有利於綫損的降低。

(8) 加強統一檢修，減少綫路檢修停役次數。

(二) 降低中壓電網綫損的一些措施：

中壓電網一般是指 6.0~10.0 千伏級電網，這部分電網綫損量所佔比重也相當大，因為絕大部分用戶是通過這一級電網供電，降低這一部分綫損的主要措施如下：

(1) 確定最經濟的中壓電網結綫方式（詳見第四節）。

(2) 提高中壓級電網電壓，可利用主變壓器分接頭來進行合理提高；但必需相應的提高配電變壓器分接頭，使保持用戶端電壓經常保持在額定允許電壓範圍內。

(3) 合理調整電容器位置，它是根據高壓電網的要求原則下，在中壓綫路上作出合理分配的布置。

(4) 充分利用中压线路，减少线路停役次数和缩短检修时间，以达到安全与经济运行的目的。

(5) 合理调整导线截面，根据中压电网运行方式，使不合理的导线截面，利用大修机会加以适当调整，使设备能充分发挥作用，并有利于线损的降低。

(三) 降低低压电网线损的一些措施：

· 低压电网分布面较广，线路多，情况复杂，节约低压电网线损是节约整个地区线损的重要组成部分之一，一般所采用的方法有下列几方面：

(1) 在充分掌握配电变压器负荷资料的情况下，对配电变压器的容量进行适当的调配，使全部配电变压器的最高负荷与额定容量比的百分率在 80~100% 之间（详见第五节）。

(2) 当相邻的配电变压器负荷情况不均衡时，可更动低压电网断路器的启闭地位，将供电负荷作合理分配以降低线损。

(3) 对低压配电变压器，在合于实行闭式网络条件时，应研究实行闭式网络运行，这样不但可以提高安全运行，而且可以降低线损，相应的可以改善供电质量（详见第四节）。

(4) 适应负荷变化特性，拉停轻载配电变压器，根据运行情况，可拉停的配电变压器情况有国定假日（元旦，春节，“五一”劳动节，国庆节等）拉停专用用户变压器及具有备用容量的配电所所内变压器。利用国定假日或厂休日，拉停专用变压器有一个先决条件，即该专用变压器的用户必须具有备用电源，以保证配电变压器拉停后电灯及抽水用马达电源不中断，同时应适当考虑用户利用厂休日进行检修工作的可能性。此外还应掌握季节性特点，及时拉停农业灌溉上轻载变压器。

(5) 尽可能使铜铁损值较高的配电变压器处于备用状态，而使铜铁损低的配电变压器经常投入运行。

(6)若配电所內裝有电压調整器，可根据負荷情况在保証电压質量条件下，及时停用电压調整器。

(7)加强配电变压器的檢修，通过檢修可以降低一部分配电变压器損耗。

(8)改进低压电網布置結構，使符合經濟运行的原則。一般低压电網布局較高压更为紧密，同时負荷变化也較頻繁，低压电網的負荷率一般較高压电網为低，因此电網布置的不断合理化是值得研究的，一般的主要措施是移裝配电变压器位置，使更接近負荷中心。合理改进开式电網位置，使每一低压电網的开口点，能經常处在經濟功率分界点附近，也即使开口点的兩端电压基本上达到相接近。

(9)合理提高低压电網电压以保証用电質量减少綫損。

(10)平衡三相負荷，使三相負荷分配达到現場运行規程的要求，减少配电变压器側中綫上电流。

(11)合理調整导綫截面，减低綫損，我們應該对有色金属銅鋁导綫，加以合理使用，在过去低压电網里往往由于系統的逐步发展和材料供应的条件限制，有时会发现送电端导綫截面在个别情况下小于受电端，这是不合理的，不但限制配电能力，而且增加綫損，当有檢修机会应及时加以調整。

(12)在配电变压器側加裝电容器，不但可以改善配电变压器力率，提高配电变压器載荷能力，而且在同样負載条件下，可以节省綫損。一般裝在配电变压器低压側的电容器，它的經濟功率当量，即每千乏容量所节省的功率损耗数值較裝在中压系統为高。

(13)提高用戶力率以降低綫損，这是一項有效的措施，必須有电业單位大力帮助用戶提高力率，不但有利于降低用戶产品的單位耗电量，而且更有利于电網减少无功輸送和减少綫損

(詳見第八節)。

節約綫損工作，必須各有关部分協作配合，全面開展，并且節約綫損不應僅從節約綫損的一個角度來考慮，節約綫損應與安全質量相互結合，必須在安全基礎上，保證供電質量條件下，大力開展節約綫損工作。

第二章 減少綫路損失的方法

第四節 電力網的選擇

確定最經濟的電力網結綫方式，是降低綫損的一個重要環節。本節將主要討論各級電網的一些結綫方法。

(一) 高壓電網部分：

(1) 平行綫路：

平行綫路的并列運行常常是經濟的，假若并列運行的條件，由於某一綫路的容量受到限制，或者短路容量受到限制，而必須分列時，往往在受電端分列運行，那麼可按直流分布來分配負荷，按直流分布原則進行分配後，受電端有一定的電壓差，這個電壓差值可以作為運行人員監視負荷分配的依據，如負荷有較大變動（例如大用戶廠休時）時，可以及時從新分配負荷，以達到經濟運行的目的。這方面將在中壓部分詳細討論。

(2) 環狀綫路：

環狀綫路可根據直流分布原則，找到一個功率分界點，我們把這個功率分界點稱為“經濟功率分點”，經濟功率分點可以用電網的阻抗值求得功率分布後得到，也可以用計算來求得，將通過電流最小的一段切開常常是經濟的。有時，也可以

用調节变压器实行閉式網絡运行，强制分配負荷以达到最經濟的运行。

(3) 复杂的輻射網絡：

所謂簡單的輻射網絡，即輻射綫路之間不可能互相切换負荷，因此也沒有經濟分布的問題。

对于复杂的輻射網絡，即指網絡綫路之間，負荷可以相互切换，对这一类網絡，为了达到經濟分布，也应根据“經濟功率分点”原則来計算，但是这样往往会发觉計算上十分复杂，一般可采用按电流密度相等原則来分配各主变电所所实际負荷，再根据中压部分負荷分配来进行适当修正，逐步达到經濟分配負荷的目的。

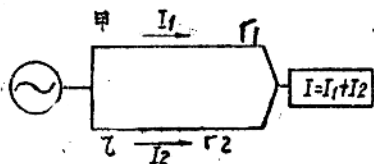


图4-1

(二) 中压电網部分：

运用“直流电压降”的方法，对平行綫路的运行方式：

如上图所示，設总負荷电流 I 可以任意分布到甲綫或乙綫，則当甲綫負荷 I_1 ，与乙綫負荷 I_2 ，按綫路电阻成反比分布时，总的綫路损失最小，即滿足下式：

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad (1)$$

$$\text{公式(1)可写成} \quad I_1 r_1 = I_2 r_2 \quad (2)$$

亦即当甲乙二綫按“直流”計算的电压降相等时，此时負荷分配最为經濟。

为了滿足公式(1)或(2)，达到綫路負荷的經濟分布，可以采取下列任何一种运行方式：

(1) 將甲乙二綫并列运行（即最简单的閉环运行方式）：

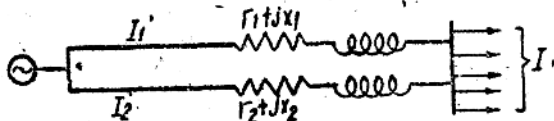


图4-2

如上图，甲乙兩綫并列运行后其負荷分配如下：

$$\frac{I_1'}{I_2'} = \frac{r_2 + jx_2}{r_1 + jx_1} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (3)$$

从公式(3)可以看到交流網絡中負荷系按阻抗的 反 比 分 配，故按电阻反比并不等于經濟負荷分配，只有在均衡網絡中才能滿足公式(1)或(2)。

所謂均衡網絡，是指系統中所有綫路的电抗与电阻之比为 一常数，即如 $\frac{x_1}{r_1} = \frac{x_2}{r_2} = \dots = \frac{x_n}{r_n} = \text{常数 } K$ (4)

將(4)式代入(3)式

$$\frac{I_1'}{I_2'} = \frac{r_2(1 + jK)}{r_1(1 + jK)} = \frac{r_2}{r_1} \quad (5)$$

故知，在均衡網絡中实行閉环运行，所取的經濟效果最大。

在地纜綫路中，因 x 值較小，故

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{\sqrt{x_1^2 + r_1^2}}{\sqrt{x_2^2 + r_2^2}} \approx \frac{r_1}{r_2} \quad (6)$$

因此，在地纜網絡中实行閉环运行較架空綫具有較大的經濟性(架空綫的 x 較大)。

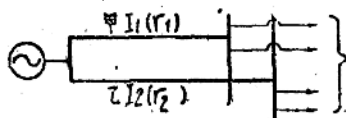


图4-3

經濟性(架空綫的 x 較大)。

(2) 强迫分配負荷：

用閉环运行要求有較复杂的繼电保护和較高的油开关遮断容量，在中压