

無自动开关的 閉式电力網

苏联 Б. П. 艾申培尔格著
孙紹先譯 顧秋心校訂

1
4946

電力工業出版社

內 容 提 要

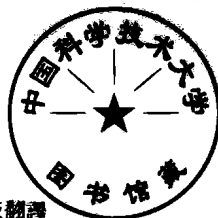
本書講述城市電力網採用無反功率自動開關的接綫方式，並說明了它的合理性和它的技術經濟基礎。書中引証了網絡在運行中經過驗證的數據以及網絡運行中的保護問題。

本書可供從事城市電力網工作的工程技術人員使用，也可供高等工業學校電力系的高年級學生參考。

Б. Л. АЙЗЕНБЕРГ

ЗАМКНУТАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СЕТЬ БЕЗ СЕТЕВЫХ АВТОМАТОВ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1948



無自動開關的閉式電力網

根據蘇聯國立動力出版社1948年莫斯科版翻譯

孫紹先譯 顧秋心校訂

797D294

電力工業出版社出版(北京西郊科學路二號)

北京市書刊出版營業證出字第082號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 4 $\frac{3}{4}$ 印張 * 102千字

1958年4月北京第1版

1958年4月北京第1次印刷(0001—1,750冊)

統一書號: 15036·680 定價(第10類)0.70元

前 言

本書綜述了著者由1930到1941年和由1944到1947年^①各年間关于熔断保險器的研究及城市網絡的設計及其运行的部分論著。在本書內把新式的、無反功率式自动开关的城市網絡接綫圖的数据作了系統化的總結。这种接綫圖在城市網絡內最常遇的故障情況下能保證对用戶不中斷的供电；而且，在我們的情況下这种接綫圖又是容易實現的。書中指明了設計工作的次序，指出了保險器工作選擇性的計算特点和閉式網絡运行的特点，并且也說明了这种接綫圖在某些情況下对于工業用戶網絡也可能適合的理由。

所述的材料应当把一系列不正确的、但是在工程技術人員中傳播較广的、关于閉式網絡的觀念予以消除。这些不正确的觀念是由于对無保險器或無限流器“格網”型严密封閉式電力網的初步知識只有膚淺的認識所造成的。这些錯誤的觀念是这样的：

1. 低压閉式網絡，好像应包括所給定城市內的全部網絡，因此应由無數的格網原則来进行計算。但設計的經驗証明：供电达3000仟瓦、且把十个变电点的低压側并联起来的格網，就已經是很多了，而采用更多的格網則未必合适。反之，經過仔細地研究，把閉式網絡的方案做成“三角形”的变形式，其中在低压側互相連接的各变电点的計算功率不超

^① “电”雜誌：№16, 1935年；№7, 1939年；№5, 6及12, 1940年；№5及9, 1945年；№5, 1946年；“电站”雜誌，№10, 1937年；№5, 1938年；“列宁格勒电業局电力銷售通报”№7, 8, 1945年；№3, 1947年；“列宁格勒电業局通报公告”№1, 2, 7, 8及9, 1946年；“ЛЭМИ”論文集№2, 1933年，“工業动力工作者”№3及11, 1947年等。

过 600—700 仟瓦，这种方案非常灵活，在运行上也非常简单，并且也容易做到。

2. 在设计格网时，好像不可能应用普通的公式来决定变电点最合适的负荷。如果不按容许电压损失，而按网络故障情况下能容许的电流密度来选择电缆的截面积，对这样的计算公式所作的研究表明：完全有可能不采用很笨的方案计算。

3. 网络的修建，好像仅在所有变压器的容量都相同及电缆的截面积也都相同时才有可能。虽然这样的条件是减轻了闭式电力网的计算工作，但是如果我们具有一套有选择性的熔断器，能在故障或过负荷情况下于不同的地点烧断，这样就能保护任何截面积电缆的过负荷和任何容量变压器的过负荷，而不破坏保护的选择性的条件。这时，上述条件也决不是一定必需的。

4. 闭式网络的接线图，好像是只在大城市的中央区，当负荷密度很大时，经济上才是有利的。下面引证的例题表明：即使在小城市里，当负荷密度较小时，不但在以地下电缆所修建的低压网络里采用简化的无自动开关的闭式网络接线图是合算的，就是在架空网络里采用它，也能在投资不多的情况下对居民保证不间断的供电。

对闭式网络接线图作进一步研究及改善的任务是：

1. 在试验线路段上，从运行中来考验这种接线图及其保护问题。

2. 完成在中压网络内的油断路器切断信号问题的研究。

3. 组织企业大量生产全套有选择性的熔断器，研究成功并大量生产电压在 500 伏以下（包括 500 伏在内）的大切断能力的熔断器，要使它们的熔断器形成一套有选择性的方式。

著者

目 录

前言

序論	4
第一章 城市低压網絡接綫圖的選擇	9
第二章 無反功率自动开关的閉式網絡	30
第三章 用熔絲保險器来保护無自动开关 的閉式电力網	57
第四章 網絡的設計	85
第五章 設計实例	98
1. 1939年列宁格勒電綫網絡局所完成的大塊新住宅区 內的網絡設計	98
2. 1940年“西北电气安裝公司”設計办事处所設計的新 住宅区的網絡設計	106
3. 由列宁格勒設計局完成的小城市網絡的設計	112
4. 列宁格勒城一段現有網絡改建为閉式接綫圖的設計	121
第六章 閉式網絡的經濟指标	132
第七章 工業企業網絡內采用閉式接綫圖的理由	138
第八章 閉式網絡的运行特点	150

序 論

城市公用電力網的合理修建，應是初次投資不大，年維護費用較小；同時應保證對用戶供電的可靠性和不間斷性。

在三相的城市電力網絡里，要保證供電的可靠性，在大多數的情況下可在低壓網絡里對每一用戶的入戶綫採用兩端供電來達到，在中壓的配電網絡里，對每一變電點也採用兩端供電來達到，而在中壓供電網絡里，則採用有備用的饋電綫來達到。

為了能在尚未得到供電不斷性保證的現有城市網絡接綫圖里建立供電不斷性起見，我們必須把用戶自動地轉換到其他的電源上，或者修建網絡的閉式接綫圖。

同時應該指出：實際上並不是當網絡任何元件損壞的情況下，都能達到供電不斷性。當用戶的電纜引入綫損壞時，無論在現有的或者是在文獻內曾有敘述的接綫圖里，都不能保證供電的不斷性；當低壓網絡的電纜損壞時，只有無保險器的“格網”型式的閉式網絡接綫圖才能保證供電的不斷性；在這種網絡里，電纜的故障是利用故障地點自行燒斷來清除的。

在城市網絡接綫圖內某些元件損壞的情況下，要保證對用戶供電的不間斷性，在技術上毫無疑問地是可能的；但也許要增加設備，而且在很多情況下需要雙倍的低壓網絡，從而要很大的額外投資。同時，根據事故的統計材料表明，大部分的故障都發生在中壓網絡的電纜及各元件上。低壓網絡內電纜的故障是非常少有的。此外，一段低壓網絡發生故障

仅使較少数日用戶的电源被切断，而当中压網絡元件發生故障时，往往造成城市中很大地区的供电中断。

因此，当城市網絡的各种接綫圖作比較时，关于对用戶供电不断性保証的問題，就只研究城市網絡內中压元件及網絡用变压器可能损坏的情况。

必需保証城市網絡能不断地对用戶供电。近年来無論在中压方面或低压方面曾提出过新型的網絡接綫圖。这些接綫圖基本上有下列特点：

1. 利用自动切换的半环網或环形網(所謂半迴綫式，迴綫式，或“方向式”)使现有的單方供电輻射式的高、低压網絡适用于兩端供电，在低压網絡干綫的銜接地点也是这样。

2. 研究新式的中压網絡的接綫圖，內容是把配电(饋电)所的母綫分段，并能自动地把被切除了饋电綫的母綫段轉接到另一段上。

3. 研究新式的低压網絡接綫圖，內容是保証低压網絡的干綫有多端供电，并能自动地消除故障(“格網”)。

所有这些接綫圖都迫使我們必須裝置很多的繼电器，特种反功率式的自动开关，还要采用具有蓄電池設備或壓縮空气設備的自动油断路器，以及重力傳动的功率隔离开关等等。

設計出修建網絡用的接綫圖，其中具有很多比較稀缺的、在运行中也未得到考驗的繼电器，而現有的網絡还必須大为改造才能符合新的接綫圖。这些事实都使新的接綫圖在运行中难以被采用；这实际上就使我們对很多的城市網絡不加改造，并使我們仍按着老原則来修建重新設計的網絡或者是恢复战争期間曾被毀坏的網絡。

这种情况在大多数的城市電纜網絡里都發生过。到目前为止，在列宁格勒电業管理局的系統里，以及在苏联其他一

系列的系統里，修建城市中压饋电網絡所用的方法如下：对每一饋电所都敷設数条平行的電纜，然后再接到公用的母綫系統上，或者两个饋电所的饋电綫經過饋电所之間的跨接電纜并聯着运行。这种事实使我們必須在饋电綫路內安裝方向的保护裝置，使我們在区域变电所或發電厂的饋电綫的主段上安裝電抗器以限制饋电所母綫上的短路功率到許可裝置BM-22、BMГ-22及BM-16各型油断路器的限度，并使中压配电網絡的造价大增，因为截面积小于50毫米²的6仟伏的電纜，根据其短路电流的發热条件，一般是不可能被采用的。

在电站部人民委员会的“三相城市电力網絡設計导則”(1940年版)內就曾建議采用这种中压饋电網絡接綫圖。

只在修建低压網絡方面作了某些已知的改进，那就是曾被提出而且已經开始在列宁格勒修建的“部份閉式(半閉式)網絡”。

研究了6仟伏網絡內工作作用的饋电綫切除后能自动地把备用饋电綫接入运行的系統以后^①，莫斯科的電纜網絡，是沿着另外一个途徑發展的。

自动切换的主張电气工業部也曾做过研究^②。

基輔的城市網絡在中压配电網絡的銜接点上，采用了半迴綫式的自动供电式，同时，为此也曾特別对重力傳动系統

① П.В. 沙維略夫：城市電纜網絡的自动化及保护。“电”雜誌第13期，1937年；及对中小工業用戶供电的配电網絡的现代化及自动化，“电”雜誌第7期，1938年。

② Я.И. 列別遜及М.Р. 那依費爾得：有手动控制油断路器变电所的引入綫的自动閉鎖裝置，“电”雜誌第10期，1937年。С.К. 巴然諾夫：两个油断路器互相閉鎖裝置的接綫圖，“电气工業部公報”，第2期，1938年；А.В. 涅屠西尔：引入綫的互相閉鎖，“电气工業部公報”，第6期，1939年。

做过研究^①。

很显然，甚至提議采用重力傳动^②的功率隔离开关执行这些切换工作的“烏拉尔电机”工厂的工作者們，也按后一种方法进行了。

不論改建或新建中压(6或10仟伏)或低压城市網絡时还有他种原則，那就是，到每一个饋电所只引入一条中压饋电綫。把几个这样的饋电所彼此再由高压方用配电網絡的迴綫联結起来，但在高压方并不实现并联运行；这样，它們的相互备用是經過低压方的閉式網絡来实现的。这种網絡里的低压保护，不采用反功率式的自动开关，而只应用保險器。

关于这种变形的閉式網絡的詳細叙述，將見于下文。

与輻射式的網絡比較起来，閉式網絡的优点是大家都知道的；除了对用戶供电有高度的可靠性和不間断性而外，采用閉式網絡时，还能保持較优的电压水平，尤其是当網絡的負荷有急剧的变化时。在最大負荷期間能有較小的功率損耗及較小的能量損耗。

無保險器的閉式电力網的实际应用最早見于1922年，在30年代的初期，这种城市網絡的接綫圖曾得到很大的推广^③。網絡被修成严密地封閉式，不用保險器。当低压網絡里(格網里)發生短路时，就用把一段故障電綫燒断的办法来消除故障。中压電綫的保护，要使它們能免去經低压網絡由其余

① И.М.西洛塔及Г.М.拉然斯基：城市電綫網絡的变电点，“电力工人”，第10期，1939年。И.М.西洛塔：油断路器自动合閘的重力傳动裝置，“电站”杂志，第1期，1940年。

② Н.Н.林尼謙河：采用重力傳动裝置的自动备用，“电”杂志，第12期，1939年。

③ 參閱 П.Г.謝多夫：城市閉式电力網，全苏技术科学协会1935年，171—173頁中閉式網絡的文獻索引。

的健全電纜向故障地點反饋供電起見，我們則只在網絡變壓器的低壓方裝置保險器來實現，但也有用反功率式自動開關來實現的。後者對中壓電纜的非故障切除也能起作用。

在 30 年代的初期，經過長期的實驗以後，閉式的接綫圖也在西歐的城市網絡里開始被採用。

與美洲不同，歐洲的實踐是根據用保險器來保護低壓網絡電纜的方法進行的。在戰前的最後幾年內，美洲的實踐也放棄了嚴密聯結起來的格網，而採用限流器（限制器）的設備——它就是一段縮小截面積的電纜，固定了短路時電纜能以燒斷的地點，實質上，它也是一個加粗截面的保險絲。

在 1937 年，著者曾提出無自動開關的閉式網絡接綫圖，並且研究出來一套熔絲叫它執行保險器有選擇性的工作。關於這種接綫圖的第一篇論文曾於 1939 年在蘇聯的刊物上發表過。

在 1939 年末，德國的城市電力網也曾提出有與此相仿的接綫圖。

在經過一系列技術和技術-經濟比較計算及保護工作的實驗驗證以後，所提出的接綫圖在設計新建住宅區網絡時曾被列寧格勒電纜網絡局採用。以“莫斯科公路”大塊住宅面積的網絡為例，根據列寧格勒城市執行委員會（Ленгорисполком）的任務書，西北電氣安裝公司在 1940 年對修建城市網絡採用各種接綫圖作了技術-經濟比較的結果，發現這樣的網絡是最優越的。在有列寧格勒電纜網絡局的代表參加的、列寧格勒城市執行委員會建築規劃管理局在 1941 年 3 月所召開的專家會議上，已批准這樣接綫圖可以作為列寧格勒新建住宅區網絡的典型接綫圖。

本書的內容有：低壓網絡各種接綫圖的技術-經濟比較、接綫圖可能變形的研究、現在條件下修建城市公用網絡最優越接綫圖的選擇以及對這種網絡設計及運行的指示。

第一章 城市低压網絡接綫圖的選擇

关于低压網絡最优越接綫圖選擇的問題，应当对城市內現有電纜網絡的各段及对新建各段分別地予以解决。

在現有的低压網絡里，一般对每一干綫基本上都是按兩端供电形式修建的，用戶的入戶綫是由于綫上引出分支来完成的，而干綫則又由不同截面积(由 50 到 185 毫米²)的電纜来修建，支綫是在干綫內裝置三通电纜接綫盒被接出的。在这种網絡里，要想不花較大的費用，不消耗供不應求的電纜和不进行大量的劳动就使網絡接綫圖得到根本的改善是有很大的困难的。

在城市內新建各段的網絡里，或在恢复战后城市要重新修建的網絡里，都可以实现任何选定型式的接綫圖。

根据上述的材料，可知关于選擇網絡接綫圖的問題，应当先对新建的各段做出决定，因为該处接綫圖的選擇不受任何限制；然后再对現有網絡进行研究，看是否有可能經過部分的变更就得到接近于所选定型式的接綫圖。

应做比較的網絡接綫圖及其一般的評價

在技术文献內曾做过研究的低压網絡主要接綫圖有：

1. 純粹輻射式的。
2. 兩端或多端供电开式运行的。
3. 接綫圖同上，但閉式运行的。

4. 半閉式的或部分閉式的。
5. 閉式的，但按一系列不同方案所修建的。

上述各接綫圖的特点如下：

1. 純粹輻射式的網絡

純粹輻射式的網絡(圖 1)，一般只在小城市及村鎮內修建，同時多半是架空網絡；當干綫或者網絡變壓器損壞時，對用戶的供電並沒有任何保證；干綫上導綫的截面積是按它們的負荷來選定的，沒有考慮把相鄰的干綫上的負荷切換由它供電的可能性。然而，因為在大多數的情況下，這種低壓網絡的設計都是按容許的電壓損失進行的，因而按容許的電流密度來說，還有些儲備量；所以一般都在兩個相鄰的架空網絡各段間裝置一條故障用的跨接綫，以便使它在正常時按開口運行，然而，當相鄰的網絡變壓器(圖 2)故障被切斷時，則把它接通按閉起來的方式運行，在設計的實踐內，這種情況是常常發生的。因為這種網絡的接綫圖並不符合上述的對每一接綫圖的基本要求——要求保證用戶供電的不斷性，所以在大城市的網絡內採用它，或更進一步地在地下電纜網絡內採用它，是不容許的。

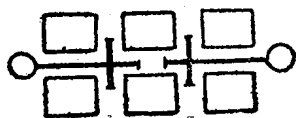


圖 1 輻射式的低壓網絡

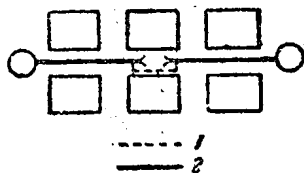


圖 2 有故障用跨接綫的輻射式低壓網絡
1—故障用的跨接綫；2—架空網絡。

2. 兩端或多端供电、开式运行的網絡接綫圖

兩端供电的接綫圖，在比較少有的情況下也有是三端或四端供电的，这是列宁格勒，莫斯科以及一系列其他城市內現有三相網絡的接綫圖(圖3)。

用戶的入戶綫則利用裝置在干綫內的三通接綫盒引出。

在这样網絡內，
对每一干綫都預計按
兩端供电而設計的，
但在大多數的情況下
它們都按开式运行；
因为在大部分的干綫
上都沒有在电流分界
点或在其附近的地方
裝設能使它断开的裝
置，要想把联接两个
相鄰变电点之間的干
綫打开时，如果它由
第一个供电点供电，
就把它在第二个供电

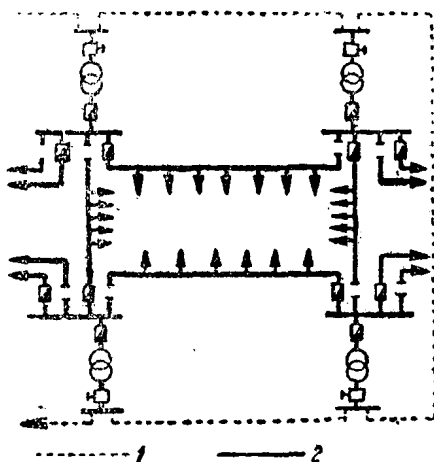


圖3 开式低压網絡其干綫按單方
供电的接綫圖

1—中压電纜網絡；2—低压電纜網絡。

点的母綫上打开。因此，設計時是按兩端供电所設計的干綫，运行时則按單方供电来实现，这一事实就使电压損失及能量損耗与各該綫路設計時所用的各量比較起来，都增大到四倍。

这种接綫圖不够經濟，且运行时不够可靠，每当高压網絡內、網絡变电点上或低压網絡干綫內有一次損坏时，即能使供电中断，有时还是很長的时间；这种事实使我們不可把

这样的網絡进一步地与他种可能的城市低压網絡共作比較。

由 П. Б. 沙維略夫所提出的、實質上还是同样类型的、自动化的低压網絡接綫圖示于圖 4 內。此圖只消除了上述接綫圖內的主要缺点之一——即当網絡变压器损坏时用戶供电的中断。

此圖的實質是：在变电点干綫的所謂“工作”端上(在網絡正常运行情况下被接通的)裝置一个 KT-33 型或 KT-34 型、其电流为 150 安或 300 安的接触器以代替保險器，接触器吸引綫圈的电源是經由降压变压器(电压互感器或变电点自用变压器)由中压網絡得到供电的。为了保护干綫的过負荷起見，我們采用一个 ΘP 型、持續时间为 0.25—0.5 秒的过电流繼电器。在干綫上的“备用”端(它在正常运行条件是断开的)，除去裝置一个同样的接触器及过电流繼电器以外，我們还裝两个繼电器，——它們是具有一个常閉触点的 $\Theta \Pi$ 型交流中間繼电器及能以自动返回的、具有延时作用的、且当吸引綫圈沒有电源时有一个常开触点的 ΘP 型繼电器；这些繼电器的任务是：当干綫的“工作”端和引入干綫“备用”端的变电点的中压方都同时失去电压时，不允許接触器合閘。

当干綫“工作”端的接触器因故障而跳开时，它的“备用”端即能自动地合閘投入。

虽然如此，在这个接綫圖內当低压電纜干綫损坏时則不能保証用戶供电的不断性；同时，失去电源供应的用戶数目，也与非自动化接綫圖时失去电源供应的用戶数目相同，停电期間的長短也是相同的。至于談到不經濟性方面，此接綫圖不但具有前一接綫圖的一切缺点，同时因为它还必须要在每一網絡变电点上裝置自用变压器，其中的鉄耗全年都在發生，所以缺点还超过了前一接綫圖；若想使这种接綫圖內

的網絡損耗不超過普通式的，低壓網內銅的消費量至少也需要增加三倍。

如果再考慮到採用上述的接綫圖時，需要大量極為稀缺的繼電器、電壓互感器或自用變壓器，而在現有的網絡變電

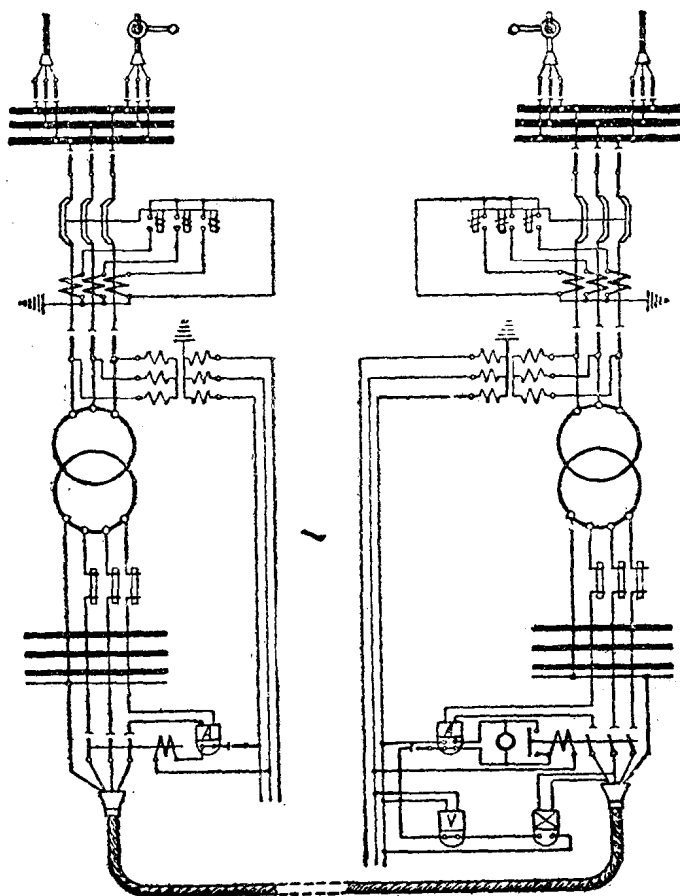


圖 4 低壓網絡內子綫自動化的接綫圖

所內，根据其尺寸的条件，裝置变压器或电压互感器是有困难的，并且在很多的条件下，有时还是不可能的。所以 П.Б. 沙維略夫工程师所提出的接綫圖在技术上是合 适 的，实际上作起来也是有困难的，并且經濟上是極不合算的。

3. 兩端或多端供电閉式运行的網絡接綫圖

按同上接綫圖所修建的低压網絡，但每一干綫都由兩端供电(圖 5)，在运行时就是非常合适的。实际上，当每單位長度內負荷的密度为 $D=0.300$ 仟瓦/米时(这样的負荷密度

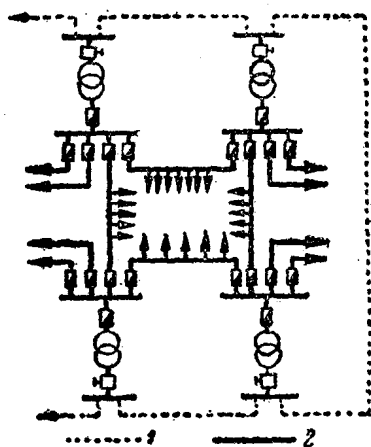


圖 5 干綫是兩端供电的低压網絡接綫圖

1—压电網絡；2—低压電網絡。

在大城市內会常常碰到的)，如果兩個相鄰变电点之間干綫的平均長度为 $l=300$ 米，設計时所用的电压損失 $\Delta U=3\%$ ，年損耗小时数目为 $\tau=1000$ 小时，对于圖 5 內有四射綫網絡的接綫圖而言，当每个 180 仟伏安的变电点完全滿載时，每段網絡內的年能量損耗可由下列的計算內求出。

当負荷是均匀分佈时，每一射綫內的功率損耗为：

$$\Delta P_1 = \frac{3I^2 R}{1000} = \frac{10^{-3}}{57sU_2^2} \int_{x=0}^{x=\frac{l}{2}} D^2 \left(\frac{l}{2} - x \right)^2 dx$$

$$= \frac{l^3}{3 \times 8} \times \frac{10^{-3} \cdot D^2}{578 U_2^2} \text{ 仟瓦.} \quad (1)$$

对于所有四条射线而言:

$$\Delta P = 4 \Delta P_1 = \frac{l^3}{3 \times 2} \times \frac{10^{-3} \cdot D^2}{578 U_2^2} \text{ 仟瓦,}$$

式中 U_2 ——网络的线电压(伏)。

当负荷是均匀分佈时, 因为电压损失为:

$$\Delta U = \frac{\Sigma P l \times 10^{-5}}{578 U_2^2} = \frac{D \frac{l}{2} \times \frac{l}{4} \times 10^{-5}}{578 U_2^2} = \frac{D l^2 \times 10^{-5}}{8 \cdot 578 U_2^2} \text{ (百分值),} \quad (2)$$

于是, 我们可以求出:

$$\Delta P = - \frac{D \Delta U}{75} \text{ 仟瓦,}$$

年能量损耗可由下式内决定:

$$A = \frac{D \Delta U \tau}{75} = \frac{0.300 \times 300 \times 3 \times 1000}{75} = 3600 \text{ 仟瓦} \cdot \text{时.}$$

当网络按图 3 内的接线图运行时, 能量损耗为:

$$A' = \frac{0.300 \times 300 \times 12 \times 1000}{75} = 14400 \text{ 仟瓦} \cdot \text{时,}$$

即共大出三倍; 把干线由单方供电改变为双方供电是在现有城市网络里用来减低损耗的措施; 若城市网络是按第二节内所述的原则修建的, 则该网络管理人员的首要任务, 就应该使它按图 5 内所示网络的型式来运行。

然而使干线变为两端供电, 并不能消除这种网络接线图内的主要缺点, 其缺点是: 当低压干线损坏时, 多数用户的电能供应即行中断。由于在干线的全部长度内, 不可能把干线断开, 所以接到干线上的全部用户的供电, 在寻查干线内