

城市电力网的闭式结线



林 启 华 編 著
上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书介绍国内外城市中压低压电力网的閉式結綫的經驗，运行特点，保护工作的原則和要求，还介绍了保險器附件的工作原理、选择性的計算、保險器的制造等。可供电业系統城市供电电力网設計、改建等工程技术人员参考。

城市电力网閉式結綫

上海科学技术出版社出版

(上海南京西路204号)

上海市书刊出版业营业登记证出字第012号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

上海市印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 2.5(2) 字数 55,000

1960年3月第1版 1960年3月第1次印刷

印数 1-3,500

統一书号：15119·1120

定 价：(十二)0.30元

前 言

解放前,我国电力工业是非常落后的。1949年,全国发电设备总容量仅有184.9万千瓦,发电量43.1亿度。解放十年来,在党和毛主席的正确领导下,电力工业和其他工业一样,取得了极其辉煌的成就。十年来,我们除对旧中国原有设备进行恢复和技术改造外,还新建和扩建一万千瓦以上的水、火电站80多座,一万伏以上的送电线路12,955公里,第一个五年计划期间,我国发电设备容量平均增长19.5%,发电量平均增长21.6%,这个速度已经是一切资本主义国家望尘莫及的,而在大跃进的1958年,发电设备增加178万千瓦,比1957年增长38.7%,相当于旧中国67年间电力建设的总和;发电量增加81.6亿度,比1957年增长了42.5%。1959年发展更快,新增发电设备达320万千瓦。发电量达415亿度,比1958年增长51%。这样快的速度,在世界电力工业发展史上也是少有的。

随着我国电力工业的高速度发展,可以想象,在我国辽阔无垠的土地上,将有无数新兴的大、中、小型城市,必须敷设新的城市电力网。现有的许多城市电力网,也必须进行改造、扩建,才能够满足全面跃进中的工业、生活用电的要求,但是,到目前为止,国内有关城市电力网的书籍还很少。

1957年下半年,编者在研究城市开式电力网改造为闭式运行问题时,曾收集了一些有关的外国期刊和图书资料,并与上海、杭州、南京、江苏省、浙江省等城市的有关同志研究过城市电力网结线,改变为闭式运行的可能性。现将所收集的一

些資料整理写成这本小册子（其中包括 1958 年在杭州、上海两地建立成功的閉式电力网試点的点滴經驗），这样作的目的，是希望对那些打算采用閉式电力网的部門及讀者們，或許有所帮助。

书中第一章叙述城市电力网的各种結綫方式及其优缺点，国外城市电力网閉式結綫的实践和編者的看法，同时推荐一种簡單的閉式結綫，这种結綫优点多，实现起来方便，适宜于全面开花。

第二章說明閉式电力网中所采用的熔件工作原理、熔件工作选择性的驗算方法（并附中、低压电力网簡化的計算实例）、熔件的制造問題和实例。这些資料不但还可用以整頓城市开式电力网中所用的熔件，保証其工作选择性，而且还可供驗算工业企业电力网和发电厂厂用电系統內所用熔件工作选择性时的参考。

第三章叙述閉式电力网的运行特点和建立第一个閉式电力网試点时建議的运行維護制度。

第四章叙述国内、国外使用電纜綫、架空綫的大、小城市閉式电力网的設計、改造和运行实例。这些城市的实际工作經驗，可供讀者在具体工作中参考。最后还将設計或計算时所需的電纜綫、導綫資料列在附录中，以便讀者应用。

这本小册子写成后，虽經一再修改，但錯誤地方一定难免，希望讀者們提供宝貴意見，以便重印时修正。

林启华

一九五九年十二月上海

目 录

前 言

第一章 城市电力网的結綫	1
1-1 城市低压电力网的結綫	1
1-2 城市中压电力网的結綫	10
第二章 保險器的工作原理,选择性的計算及熔件的制造	17
2-1 熔件的工作原理及其工作选择性的計算	17
2-2 熔件制造問題和实例	25
2-3 熔件工作选择性簡化計算方法举例	33
第三章 城市閉式电力网的运行特点	40
第四章 城市低压閉式电力网設計、改造与运行的实例	43
实例一 (低压供电綫采用電纜的新城市)	47
实例二 (低压电力网为電纜及架空綫的中等城市)	52
实例三	55
实例四	61
实例五	64
实例六	70
結 語	74
附 录	77

第一章 城市电力网的結綫

1-1 城市低压电力网的結綫

城市低压电力网的結綫式样虽多,但基本形式仅有开式、閉式、半閉式等几种。

开式結綫(由单側电源供电,包括輻射綫式、干綫式等)是最简单的一种。这种結綫的好处是:敷設簡便、投資較小、維護容易。但在正常运行情况下,这种电力网的电压質量較差,电能損失和电力容量損失(在高峰时)也較大。在事故情况下,不能保証供电的可靠性与連續性;若故障发生在中压供电綫时,則其影响范围更大。因之,在現代化城市的供电要求下,这种結綫是不大适用的。

半閉式結綫主要有两种:一种是低压干綫互相联系的若干配电变压器,由一条中压供电綫供电,这叫做縱閉式結綫(图 1);一种是低压干綫互相联系的若干配电变压器,由两条中压供电綫供电,这叫做橫閉式結綫(图 2)。

縱閉式結綫的投資与开式相近,在电力网保护方面也没有什么特殊的要求。根据苏联列宁格勒市广泛使用这种結綫

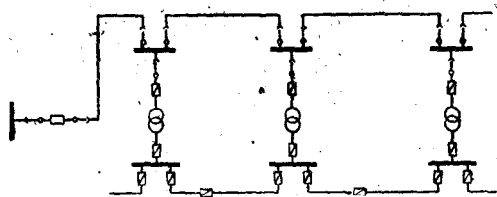


图 1 縱閉式結綫图

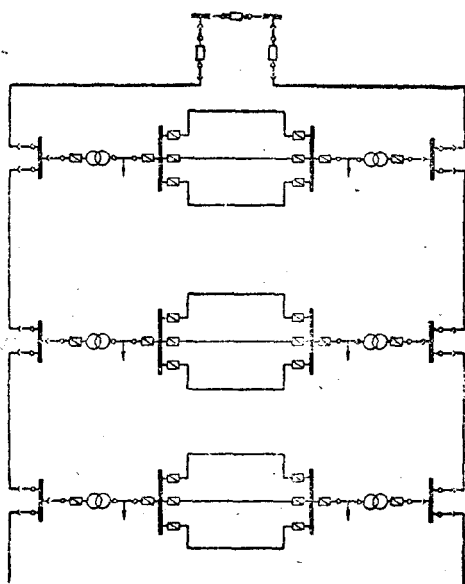


图 2 横閉式結綫图

方式的經驗証明，它在运行方面，比开式結綫經濟，每年約可降低电能損失 10 %，因而在列宁格勒市，将电力网改造成为这种結綫，已成为降低低压电力网綫路損失的措施之一。苏联电站部技术司也曾于 1958 年通报推广这种結綫。在保証供电可靠性方面，当电力网低压側及变压器发生故障时，电力网內若配有适当的保險器，和电力网本身有适当的备用容量，除了故障段将被有选择性地隔絕之外，其余部分的用户則不受到影响。但是，当中压供电綫发生故障时，其有关的用户仍將全部受到影响而停电。若电力网是使用電纜綫的，为了探测、修复電纜故障，往往需 1~2 天的時間，使得用户供电的恢复延迟。

若电力网没有条件实现閉式結綫，或目前暫不采用閉式結綫时，則縱閉式結綫仍不失为一种值得推广的結綫。

橫閉式結綫是由两条中压供电綫供电的，所以在保証用戶供电連續性方面，比縱閉式結綫好；不过，为了避免中压供电綫或变压器发生故障时，电流由低压电力网反饋，就必需有逆电力自动开关切除故障。同时，考虑了事故时所需的备用容量，电力网仅能載荷 50 %，使得电力网的指标大大恶化。若电力网无备用容量，而用特殊的熔件，将低压侧互联起来，則当中压供电綫或变压器发生故障时，仍須借熔件將故障的中压供电綫或变压器所供給的低压电力网完全隔絕（在此情况下工作熔件的选择性能較差），因而仍会影响到其所供給的低压电力网的供电。所以除了特殊情况之外，这种結綫不宜采用。

閉式結綫就和上述的两种半閉式結綫不同。在閉式結綫中，低压侧互相联系的若干变压器至少由三条或三条以上的中压供电綫供电。所以，不論在保証用戶供电連續性方面，在改善电压情况方面，在降低运行中电能損失方面和减少高峰时电力容量損失方面，都有其无比的优越性，現在苏联及欧美各国大多采用了这种結綫方式。

在北美大城市中，最常使用“織网式”的低压网络。低压电力网干綫沿着所有街道敷設，圍繞了城市住宅分区的四側。所有綫路都采用電纜，在綫路交叉处有金属性的固定連接，織网即因此得名（图 3）。

这种电力网的保护方法如下：

(1) 当低压电力网发生故障时，由于电压低，电弧不能維持很久；而故障处的電纜絕緣，在短路电流所生电弧的作用下，产生了大量的去游离的气体，促使弧柱去游离，所以故障

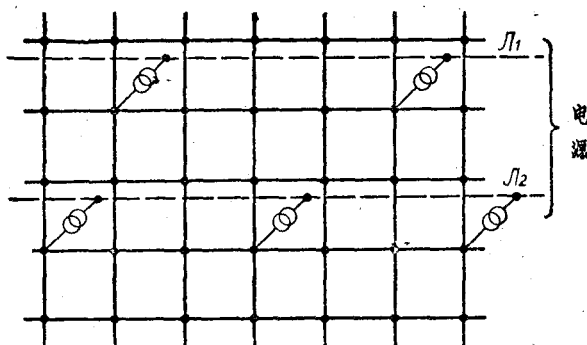


图 3 織网式低压电力网結綫图

处的电弧能够在几个周波内即行熄灭。電纜在故障点燒焦了几厘米之长，两端随即被燒焦的電纜絕緣物所封閉。这条故障损坏了的電纜，仍留着繼續供电，等到以后檢修时再予更換。

(2) 当中压供电電或变压器发生故障时，供电所的綫路开关將該綫路切断。同时，变压器低压侧装置的逆电力自动开关，則將低压电力网反饋过来的电流切断。这时，其所供給的低压电力网，由邻近的配电变压器繼續供电。

按照这样方式敷設的电力网，必須使用電纜和自动开关，造价高；而且，只有电压在 220 伏以下时，才能可靠地切断故障。当电压为 380 伏和故障电流在 18 千安以上时，电弧不能熄灭。因此，尚須安装限流器（所謂限流器，即在电力网络中某些地点有意識地安装比電纜截面小的接头，使在发生短路故障时，電纜的熔断仅仅限于这些接头內。这样，也便于故障地点的探测和檢修），以便將故障段切断，并可限制電纜损坏的范围。所以，在我国，这种方式的低压电力网目前尚不宜于推广。

低压閉式电力网也有不用自动开关,而用保險器保护,中压供电綫及变压器高压側則由帶有縱联差动保护的油开关保护的(图4)。当中压供电綫路任何一段发生故障时,縱联差

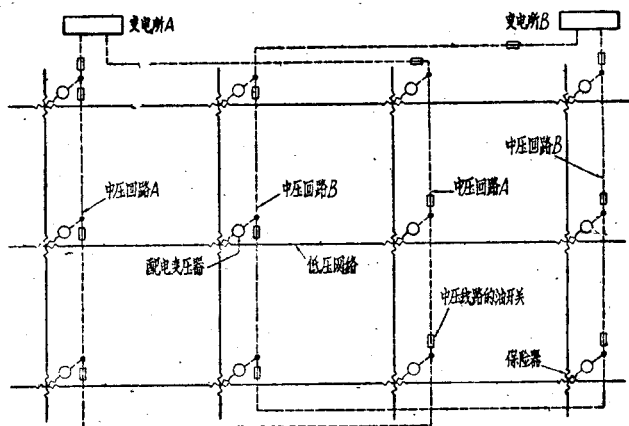


图4 由中压回路供給的低压电力网图

动保护作用于該段綫路兩端的分段开关,將故障段切斷,因为各个变压器都是由中压环形綫路供电的,所以除了与故障段有关的一台变压器被切除之外,其余各台变压器仍旧不失去电源。这台(与故障段有关的)变压器与低压电力网的联系,則由其低压側所装的保險器隔斷;这时变压器所供給的那一部分低压电力网,將由其邻近的变压器繼續供电。

根据多年的运行經驗証明这种供电方式是很可靠的;但因需要電纜綫、导引電纜、差动繼电保护装置和許多油开关,在我国目前絕大部分城市使用架空綫的条件下,也不宜采用。

在欧洲的实践中,城市低压閉式电力网的結綫采用保險器保护(也有采用網式低压网络,如战后西柏林市 3×220 伏的三相三綫制电力网,采用網式网络; $380/220$ 伏的三相

四綫制电力网則采用保險器保护)。这种保护方式实质上同在“織网式”电綫电力网中采用限流器相似。其优点是不需要数量众多的低压自动开关与复杂的继电保护装置,价格便宜,维护方便(不需要高級技工去维护继电保护装置),同时又具备了上述閉式电力网的所有优点。所以从目前我国电器工业生产能力的水平和多、快、好、省的原则来看,是值得推广的。

简单的閉式电力网的原理結綫图,如图 5 所示。在这种結綫方式中,最主要的是当电力网的中压供电綫、变压器或低压电力网发生故障时,要使故障段有“选择性”地隔絕。因而,在电力网配电变压器的低压側,在低压干綫的首端,以及在两台变压器之間連絡干綫的“分界点”,都須安装特殊系統的保險器,使得故障不論发生在中压供电綫側、变压器本身或其低压側,仅有有关的一小部分被熔件切断,其余絕大部分仍能繼續供电。为此,电力网的結綫应当使得任何一点发生故障时,短路电流能均匀地分布于其邻近相連接的各条支路上,以保証保險器能及时有选择性地熔断,从而仅使故障的一小段隔絕。

在設計新的低压閉式电力网时,照例可以按照上述的原则,将所有变压器的低压側实联在一起。但是,实践指出了,将 10 台左右的配电变压器实联在一起时,已有 8000 千伏安左右的总容量。这样龐大的連接方式,在我国中、小型城市中不一定是最合理的。相反地,若采用三角形的結綫,使得在低压側实联在一起的变压器总容量,不超过 600~700 千伏安左右;不但結綫简单、灵活,而且实现起来也比较容易(考虑到必須有三条中压供电綫或以上这一个条件)。图 5 所介绍的几种简单結綫,可供設計时参考。

在选择閉式結綫时,若采用三角形結綫,应注意尽量使三角形的三边阻抗相等;其中最小一边的阻抗,不得小于其他二

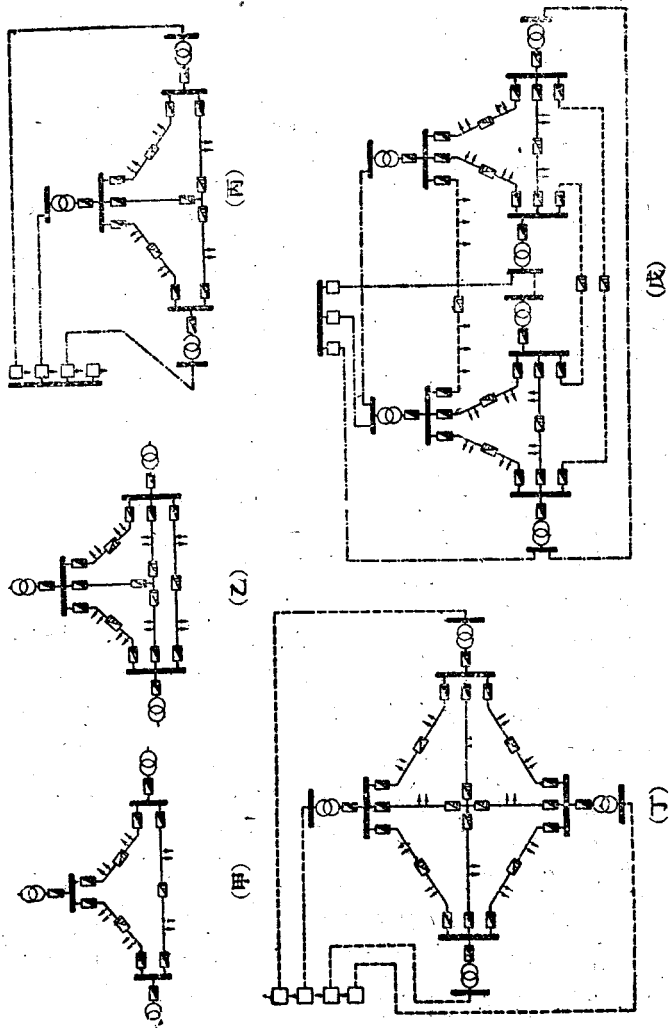


图 5. 几种简单的低压闭式电力网接线图

边的一半。若选用带有一条中綫的三角形結綫,如图 5(丙)所示,則該中綫的长度(或阻抗值),应大于三角形边长(或阻抗)的 $\frac{1}{3}$, 而与中綫相連接的那一个边,至少应与三角形的另二边相等或长些。若选用中央带有星形的三角形結綫,則应尽可能使結綫作成对称(指阻抗值)。这样做的目的,便是要使任何一段发生故障时,短路电流的分布,能够保証保險器熔断工作的選擇性(詳后述)。关于選擇哪一种結綫方式,应視負荷密度及今后負荷增长速度而定。最好是先采用三角形結綫,以后配合負荷增长,逐步地改为带有中綫的,以及中央带有星形的三角形結綫,这样就可調大变压器的情况下,不改造綫路而滿足了負荷增长后的供电要求。这一点从節約初期投資的观点来看,閉式結綫也有其优越性。

在設計閉式低压电力网的中压供电綫路时,应尽可能發揮低压电力网的“相互备用”的作用,减少备用的中压供电綫及其附带的油开关,或者使中压供电綫仅有一端借油开关与中压配电所的中压母綫連接。同时,在中压配电所,也可以减少它本身的备用供电綫,从而减少中压配电所的母綫短路容量,以便能够选用容量較小的油开关。中压配电网的電纜綫也可因此选用較小的截面,以补偿其較长的长度(由于滿足閉式結綫需有三条或三条以上的中压供电綫而引起的)。

在改造旧城市的低压电力网时,結綫方式就不一定要采取上述几种簡單的三角形,三角形带有中綫或者三角形中央带有星形的形式。这时,应当尽量照顧原来綫路的敷設条件,使改造的工作量达到合理最小的地步。目前我国很多大、中城市,在市中心区大多按閉式結綫,开式运行的,所以改造起来非常容易。現將改造所应参考的几个原則列述如下:

選擇結綫时,实联的变压器台数不应少于 3 台,最好为

5~9 台。因为变压器台数愈多,保險器工作的选择性愈易保証,而电力网的备用容量可以愈小。但是变压器台数多了,計算的工作量将过于繁复。选择的試点应当是本城市典型的一段(尽量靠近工区,易于檢視); 供电电源不应少于 3 个,而且可能时最好从供电所的同一母綫引出。若从不同母綫(或不同供电所)引出时,应注意使相位、相序相同,变压器低压側的电压近乎相等(可以由变更变压器分接头来达到)。

变压器的容量比最好不大于 1:2。变压器的結綫組別应相同。短路电压比最好相等(但其絕对值不宜大于 10%); 若不相等,可变更分接头(或試制电抗器,詳后述),以改善变压器相互間的阻抗比值,使得变压器的負荷与其容量相适应。

所选择的变压器的負荷曲綫参差愈甚,改为閉式运行后,各变压器的載荷程度便愈理想,所发掘出来的变压器供电能力和所降低的电能損失也就愈大。

选择結綫,最好利用直流計算台进行計算。在进行事故运行方式驗算时,可能发现处在閉式网络“边界”上的变压器,其中压供电綫或它本身发生故障时,通过它低压側保險器的短路电流不够大(通过保險器的短路电流/保險器熔件的額定电流 $< 2.5 \sim 3$),保險器不能熔断。此时,应在它低压側多加联絡綫,使和其他邻近的变压器連接,以提高短路电流的数值(最好为熔件額定电流的 3~4 倍以上),或者把該变压器低压側所裝置的熔件截面銑小,以降低其最小熔断电流值(見后述)。

必須注意,若中压供电綫除了供給閉式电力网之外,还供給“其他負荷”时,应当考虑到該供电綫在供电所的开关跳閘之后,它所給的“其他負荷”,在由低压閉式电力网通过和該供电綫連接的变压器反饋供电时,是否会引起所有其他各变压

器低压侧的保險器过負荷,而一起熔断,使整个閉式电力网停电。这种情况不多,但在計算事故运行方式时,应当計及。

1-2 城市中压电力网的結綫

低压电力网虽然是城市电力网的主要部分,但它和中压配电网有着密切的联系。在保証用戶同一供电可靠性程度下,中压配电网的結綫与外形,在一定程度上,要影响到低压电力网的結綫;而低压电力网的結綫和外形,对中压配电网的結綫,也有很大的影响。至于中压配电网的結綫变化,对地区变电所來說,影响不大。因为中压供电綫数量变化时,只影响到地区变电所的开关仓数,而后者在地区变电所的总費用中比重不大。中压配电网的电压,則和地区变电所的经济配电半徑有关,一般都是和地区变电所一起,列入电力系統的送电部分內統一考虑,而对低压电力网的結綫影响很小。所以,中压配电网往往被看作研究送电部分和配电部分交接的环节,即其电压并入送电部分內研究,而其結綫、外形則和低压电力网并在一起研究。这样就大大地簡化了城市电力网各种結綫方案的技术經濟比較的工作。

中压配电网的电压,一般使用6千伏及10千伏,直接使用6千伏电动机的电力用戶,估計将来若不超过总負荷的15~20%时,以采用10千伏的电压为宜。因为在使用架空綫的条件下,两者造价相近;在使用電纜的情况下,10千伏的造价虽比6千伏的高10%,但其送电能力却比6千伏的高一半。当6千伏的电力用戶的比重,在負荷增长之后,会超过15~20%时,由于需要多添10/3千伏的变压器,不但增加造价,而且增多一层变电损失,采用10千伏的优越性,便被抵消了。使用35千伏电压,經過35/0.4变压器直接配电給个别

大用戶是适宜的(即“深度导入”的結綫)。否則,只有在使用35千伏架空綫的情况下,才比6千伏及10千伏的配电电压有利,但这种情况,在城市条件下可能性不多。至于3千伏的配电电压在近代城市配电网中已不采用,这是由于它送电能力不大的緣故。

从电源(发电厂或地区变电所)供电到配电变压器一般有三种方式:第一种是从地区变电所,以35千伏供电綫引至中压配电所降压,再以中压配电綫引至配电变压器。第二种是从地区变电所(或发电厂)的6千伏母綫,引出中压供电綫到中压配电所,再由中压配电所通过中压配电綫供电給配电变压器。还有一种是从电源直接以中压配电綫和配电变压器連接。第一种情况較为少見,后两种則比較普遍。采用第三种方式,若所用的6~10千伏供电綫截面小时,会使地区变电所6~10千伏的开关仓数增多,增加費用;若6~10千伏供电綫截面大时,其所供給的配电变压器台数虽然增多,但运行調度的灵活性却减少了。所以,在大多数情况下,采用第二种方式,即帶有中压配电所的中压配电网。

从电源供电到中压配电所,有两种主要方式:第一种是輻射綫式;第二种是两中压配电所之間帶有聯絡綫。这个聯絡綫可以經常合环运行(这时須帶有方向解列保护)或者只于事故时自动或手动投入。前一种結綫方式比較簡單、明了,保护装置便宜,在城市电力网中应用較多。后者仅在最远的一个中压配电所与电源的距离大于或等于两中压配电所之間的距离时采用。这时,地区变电所的开关仓投資較少,所用的供电綫較短,但是电能和出力的損失則比輻射綫式的大。

从中压配电所供电到配电变压器,共有四种主要方式:第一种是輻射綫式,如图6(甲)所示。第二种是干綫式,如图6

(乙)所示。第三种是环路式,如图6(丙)所示,或閉式,如图6(丁)所示。第四种是半环式,如图6(戊)所示,即按环路結綫,

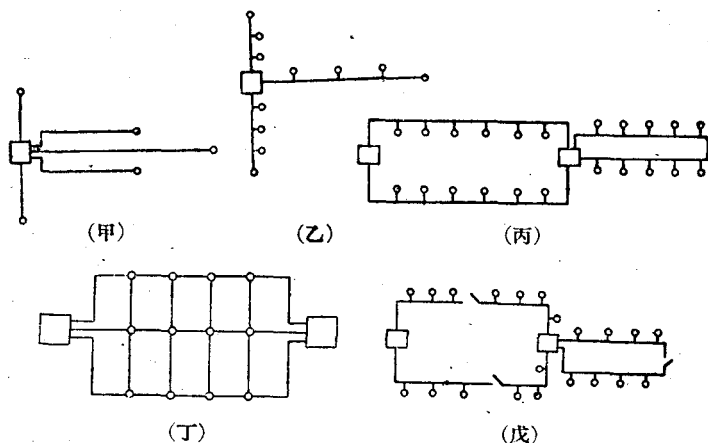


图 6

但正常运行时,于环路中部打开,呈半环式。前两种方式和第五种方式都是由单侧电源供电的,属于开式結綫,在一般中、小型城市中应用最多。其优点是简单、便宜,設備和有色金属量的需要最少。但从保証用户供电可靠性方面来看,当中压供电綫或配电变压器发生故障时,其所供給的一部分用户将停电。等到故障元件修复后,才能恢复用户的供电。然而,在这三种結綫方式中,第五种方式的結綫比第一、第二两种方式的結綫的灵活性高一些,因为当一个半环发生故障时,其所供給的一部分或全部配电变压器,还可以切换到另一个半环来供电,当然,这样做只有后一个半环有足够的备用量才行。

为了克服上述的缺点,保証(第一級)用户供电的連續性,莫斯科市采用两射綫式(或多射綫式)的結綫,在綫路变电所中装設两台同型同容量的配电变压器,并由两条中压供电綫