

送电线路升压

北京供电公司

水利电力出版社



73.179

163

送电线路升压

北京供电公司



水利电力出版社

內 容 提 要

本书是介绍北京至天津11万伏送电线路越级升压22万伏的经验。

本书的第一部分，介绍京津送电线路越级升压的科学实验工作。在调查研究的基础上，提出了升压的可能性和原杆塔的各种改造方案；第二部分是介绍升压改造的理论计算，并对22万伏送电线路电气性能的计算提出了改进的意见。对大面积的带电操作及它的施工工艺也作了扼要的说明；第三部分反映了升压运行后的实际效果，并相应地作出了升压前后的经济比较。

在总结经验的基础上，书中适当引入了有关电工基础和线路知识。因此，本书除可供从事高压送电线路工作的老工人和一般工程技术人员参考外，还可供从事送电线路的青年工人学习。

送 电 线 路 升 压

北京供电公司

(只限国内发行)

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京印刷六厂印刷

*

1972年8月北京第一版

1972年8月北京第一次印刷

书号 15143·3011 每册 0.24 元

毛主席语录

路綫是个網，網举目张。

鼓足干劲，力爭上游，多快好省地
建設社会主义。

前 言

通过这场史无前例的无产阶级文化大革命，我国工农业生产出现一派大好形势，工农业生产上的用电量也随之迅速上涨。京津地区原有11万伏送电线路，它的送电能力已不能满足工农业生产发展的需要，同时沿线的电能损失和电压损失很大。为了解决这个问题，当时就存在着两种解决办法。一种办法是新架一条22万伏送电线路；另一种办法就是在原线路上用升压改造的办法来提高送电能力。在采用哪种办法问题上的斗争是很激烈的。实质上，就是两种思想、两条路线的斗争。在这一斗争中，首都广大电业职工主张迎着困难上，通过科学试验，认识其规律而实现升压。但也有一些人，思想保守，因循守旧，习惯于按洋框框办事，认为升压是不可能的。广大职工经过革命的大批判，进一步肃清了“大、洋、全”思想的流毒，提高了路线觉悟，统一了认识，坚定了升压的信心。在这个基础上我们成立了以老工人为主体的三结合小组。三结合小组首先学习毛主席的《矛盾论》、《实践论》和《人的正确思想是从那里来的？》等光辉哲学著作，武装自己的头脑。批判了刘少奇一类骗子的唯心主义的“先验论”、“唯生产力论”和“阶级斗争熄灭论”等反革命修正主义黑货。决定从调查研究入手，深入现场，分析矛盾。开展了对原有11万伏送电线路越级升压22万伏的科学实验。经反复多次试验以后，证明11万伏升至22万伏只要经过适当的升压改造是可以实现的。

毛主席教导我们：“通过实践而发现真理，又通过实践

而証实真理和发展真理。”在科学实验的基础上，成功的实现了大面积带电升压改造工作，为电力工业的发展創出了一条新路。

升压改造工作是經過两次会战，先后共用了18天的时间完成的。在会战中京津电业职工发揚了“**一不怕苦，二不怕死**”的革命精神，“**从战争学习战争**”，以鋼鉄般的意志，不怕寒冷、不怕危險，在18米的高空，战胜了恶劣的天气，打了一場人民战争，保证了施工进度。

升压綫路成功的投入运行后，收到了显著的效果，进一步証明了綫路升压是符合多快好省的。

我們在綫路升压方面虽然做了一些工作，但是，我們的工作距离毛主席和党中央的要求还很远，和先进单位相比，差距还很大。我們决心繼續以两个阶级、两条道路、两条路綫斗争为綱，反驕破滿，坚持在无产阶级专政下繼續革命，不断做出新的成績。

目 录

前 言

第一部分	升压实验	1
第一章	原线路概况.....	1
第二章	电气部分试验.....	6
第三章	杆塔结构的改造方案.....	15
第二部分	升压改造	21
第四章	导线的架设.....	21
第五章	绝缘子及个数的选择.....	27
第六章	绝缘子串的组装型式.....	31
第七章	空气间隙配合.....	35
第八章	线路防雷及计算.....	47
第九章	升压线路对弱电线路的危险和干扰影响.....	60
第十章	带电改造混凝土杆.....	65
第十一章	铁塔改造及分裂导线架设.....	74
第三部分	升压运行与效果	82
第十二章	升压运行.....	82
第十三章	升压效果.....	90

第一部分 升 压 实 驗

北京至天津线路升压工程，在党的“九大”“团结、胜利”旗帜的鼓舞下，遵照毛主席关于“破除迷信，解放思想”、“打破洋框框，走自己工业发展道路”的教导，首都供电工人发扬“自力更生”、“艰苦奋斗”的革命精神，经过调查研究和充分讨论后，大胆提出在原京津线上越级升压到22万伏的建议。

能不能打破洋框框，搞越级升压？有许多具体的问题，摆在三结合小组面前。这些问题不解决，升压将成为空谈。但是，三结合小组不是首先去研究和解决具体的技术问题，而是首先学习毛主席的《矛盾论》、《实践论》和《人的正确思想是从那里来的？》等光辉著作。认识到“在战略上我们要藐视一切敌人，在战术上我们要重视一切敌人。”不但要有革命热忱，而且要有科学精神。因此决定开展升压的科学实验工作。

第一章 原线路概况

伟大领袖毛主席教导我们：“你对于那个问题不能解决么？那末，你就去调查那个问题的现状和它的历史吧！你完完全全调查明白了，你对那个问题就有解决的办法了。”我们成立了以老工人为主体的三结合小组，对北京至天津11万伏送电线路（以下简称京津线）进行了调查。

京津线在1954年建成。全长共计110公里，杆塔共计500

基。直线部分采用Ⅱ型混凝土拔梢电杆（图1），耐张、轉角、終端部分采用酒杯型螺栓鉄塔（图2）。

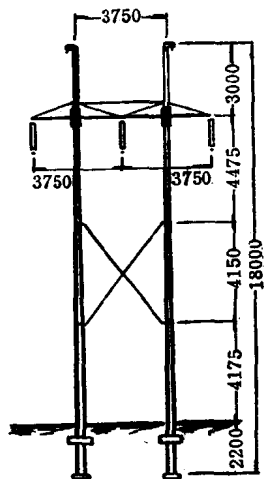


图 1 原Ⅱ型混凝土电杆

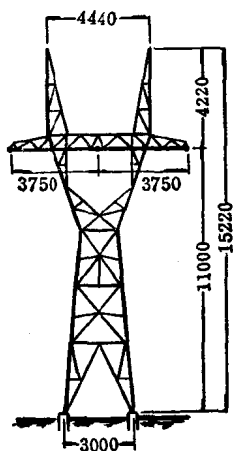


图 2 原酒杯型螺栓鉄塔

导线采用37股，每股直径2.6毫米的鋼芯鋁絞线，架空地线采用7股，每股直径3.0毫米的鋼絞线。

第一节 京津线送电容量

在原有导线中30股鋁线截面积为159.3毫米²，7股鋼线截面积为37.2毫米²。导线直径为18.2毫米。

三相制线路送电容量 P 的計算：

$$P = \sqrt{3} EI \text{ (千伏安) ,}$$

式中 E ——額定线电压（千伏）；

I ——线路电流（安）。

对于鋁导线的經濟电流密度通常采用0.9安/毫米²，因此京津线的經濟送电容量为：

$$P = \sqrt{3} \times 110 \times 159.3 \times 0.9 = 27300 \text{ 千伏安.}$$

十几年来，由于京津地区工农业生产的迅速发展，在1958年另一条7万7千伏京津送电线路升压11万伏运行，共同承担着送电任务。但由于线路导线细，送电距离远，用电负荷大，电压低的情况，受电端电压最高时也不过9万伏，而最低时只有7万5千伏。在升压前京津线最大送电容量已达5万4千千伏安，线路电流已基本达到导线的最大允许电流。因此成为电网中的一个老大难问题。

第二节 京津线运行情况

11万伏京津送电线路，是我国在解放初期自行设计施工的早期线路。长期运行以来，证明运行情况基本上是良好的，为工农业生产做出了应有的贡献。随着我国工农业生产飞速的发展，电力负荷不断增涨，致使导线电流过大、温升较高和导线伸长；以及在原工程设计时考虑导线对地面距离的裕度较小，因此在运行当中导线对被交叉跨越的电力线路、弱电流线路、铁路、公路、河流、导线对地面的距离逐渐减小，多处达不到要求。京津两地供电工人为了保证线路安全运行，时常需要做大量的运行维护和检修工作。但如何解决京津线负荷大、电压低的问题呢？面对着这样一个突出的矛盾，一种办法是向国家要投资、要设备，建设新的线路；另一种办法是大搞群众运动，大搞技术革新，挖掘设备潜力去解决。客观上存在着两种思想和两条路线的斗争。三结合小组提出了许多方案，如改为直流送电、11万伏采用“两线一地”和11万伏越级升压22万伏等。经过各方面多次试验比较，最现实、最经济合理的是采用11万伏越级升压22万伏运行的方案。

第三节 京津线结构

京津线全部建設在开闊的平原地区，一般档距为240米。原线选用的气象条件如表1。

表 1 原綫路选用的气象条件

气 象 条 件	温 度 (°C)	风 速 (米/秒)
最 高 温 度	42	0
最 低 温 度	- 20	0
正 常 情 况	- 8	27
大 气 过 电 压	15	10
内 部 过 电 压	15	22
安 装 情 况	- 10	10

每年雷电日数为27日，不复冰。

原导线的机械特性的計算是以假想应力方法为依据的（此計算方法已不采用）。当溫度在 -8°C ，风速在每秒27米时出現的最大应力为9.63公斤/毫米²（安全系数=2），导线的最大拉力为1890公斤。

絕緣子个数：悬垂絕緣子串是由7个 II-4.5絕緣子組成，耐张絕緣子串是由7个 II-7絕緣子組成。

直线杆采用的是释放型悬垂线夹，耐张、轉角、終端鉄塔采用的是压接式耐张线夹。

采用特制的鋁护线条解决导线的保护及防震問題。架空地线沒有防震措施。

II 型混凝土直线杆是由二根梢径190毫米根径390毫米15米长的电杆，及二根梢径150毫米根径190毫米3米长的架空地线头支柱联接組成的。电杆全长18米，二根电杆的寬度为3.75米，导线間的水平线間距离采用3.75米。导线横担及 X

型叉梁均为角鋼螺栓結構(图1)。

耐张型鉄塔是采用酒杯型的,导线的水平线間距离为3.75米(图2)。鉄塔的工作条件在正常情况下能承受每秒27米的风速;在事故情况下能承受断二条导线的外力,同时还有每秒27米的风速。无论在正常情况或在事故情况下的气温均为 -8°C 。

全线有架空地线两条,架空地线对边导线的保护角为 $20^{\circ}10'$,每基杆塔都設有接地装置并与架空地线相联接,在运行期間經实测,每个独立的接地电阻的工頻数值均在4~8欧范围内。

导线有三个完全循环换位,换位是在换位鉄塔上进行的(图3)。

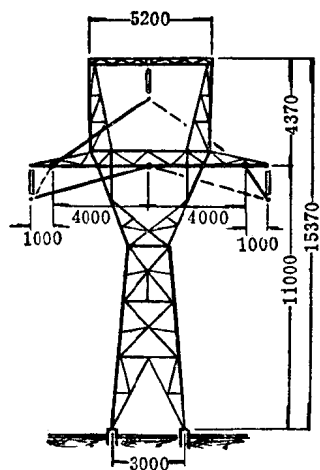


图3 原线路换位鉄塔

第二章 电气部分試驗

第一节 室内試驗

最初的設想22万伏升压线路采用10片X-4.5悬式絕緣子，导线横担提高650毫米，其它均利用原有的。以这样一个設想作为試驗基础，于是在线路上换下来的污秽絕緣子，以及相同規格的导线拿到試驗室进行电气試驗。

1. 絕緣子的閃絡耐压試驗

絕緣子串的閃絡耐压試驗，主要是对它进行工頻閃絡耐压試驗，用以檢驗线路在正常工作电压时对淋雨、雾状，及絕緣子串在污秽情况下的电气强度。因为原有II型混凝土直线杆的水平线間距离为3.75米，导线至混凝土杆中心距离只有1.875米。为了当升压至22万伏时尽可能得到較大的空气間隙，并促使絕緣子与空气間隙的电气耐压强度相配合，試驗的絕緣子串是由II-4.5絕緣子7个加上X-4.5絕緣子3个，共10个組成。人工淋雨及噴雾是用自来水造成的，对于雨强及水阻当时沒有进行試测，而是按一般标准情况下布置試驗的。

- (1) 在淋雨状态下，工頻閃絡电压为31万伏；
- (2) 在細雾状态下，工頻閃絡电压为30万伏；
- (3) 污秽絕緣子串在淋雨状态下，工頻閃絡电压为24万伏；
- (4) 污秽絕緣子串在細雾状态下，工頻閃絡电压为23万伏。

当线路升压22万伏时，如果采用10个絕緣子，从上述試驗結果說明线路在正常运行情况下，可以滿足相当于2倍线路額定相电压的内部过电压。在“过电压保护規程”中曾規定，22万伏送电线路在中性点直接接地的运行情况下，对内

部过电压要求满足 3 倍线路额定相电压。因此为了保证 22 万伏升压线路在内部过电压情况不致发生閃絡，則必須在 22 万伏系統中采取适当的措施，使内部过电压限制在 2 倍线路额定相电压以下。

关于絕緣子串在雷电大气过电压情况下的冲击閃絡电压，則不作为絕緣子串电气强度选择的主要条件，而只須在已选定的絕緣子型式及个数的情况下估計线路的耐雷性能。

对于絕緣子串的泄漏距离能否在 22 万伏运行情况下不致閃絡問題，因为这种情况一般发生在絕緣子串比較污秽的地方，从原 11 万伏京津线架設經過地区可知，基本上避开了工业污秽、海岸、盐場等地帶，因此均可按一般地区考虑。但要說明的是在《过电压保护規程》中曾規定，絕緣子串的泄漏距离在額定线电压条件下应不小于 1.6 厘米/千伏。如按此要求，22 万伏絕緣子串須保持 $1.6 \times 220 \text{ 千伏} = 352 \text{ 厘米}$ 的泄漏距离。而每个 X-4.5 絕緣子的泄漏距离为 27 厘米，則絕緣子串需要 $352 \text{ 厘米} / 27 \text{ 厘米} = 13$ 个絕緣子組成。当 X-4.5 絕緣子的泄漏距离增加到 30 厘米时，絕緣子串还需要 $352 \text{ 厘米} / 30 \text{ 厘米} = 12$ 个絕緣子組成。因此在 22 万伏线路采用 10 个絕緣子时，泄漏距离只能满足 1.23~1.36 厘米/千伏。

当线路升压至 22 万伏后，实际的内部过电压，泄漏电流及带电导线产生的感应电流，这些将在以后章节中介绍。

2. 空气間隙的击穿电压試驗

为了研究对現有 11 万伏杆塔在升压 22 万伏后能够保持和需要多大的空气間隙，因此进行了空气間隙試驗。

空气間隙的試驗是由工頻加压开始至击穿放电为止。空气間隙的一端是用与原线路相同規格的导线，另端是用鋁板接地的，由試驗可得出如图 4 曲线。

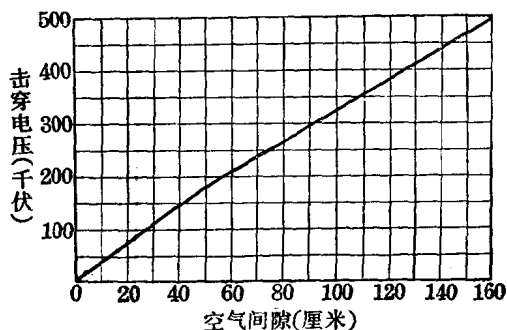


图 4 空气间隙击穿放电电压曲线

各种不同空气间隙的试验是在标准状态和淋雨状态下分别进行的，其击穿电压数值基本上是一致的。由试验可知，空气间隙的击穿电压主要决定于间隙的大小，它不同于绝缘子串的闪络电压随着外界的气候条件的变化而有显著的变化。

当线路升至22万伏额定电压时，导线绝缘子串在摇摆的情况下，对杆塔实际放电距离的试验将在下节中介绍。

3. 导线电晕观测试验

送电线路导线的电晕现象，是与线路电压、线间距离、导线构造和气候条件等因素相关的。由于导线上的电压升高，导线附近的电场强度随之增加，使得导线周围附近的空气产生了游离现象，因此在导线表面产生放电而发光。这种现象通常叫导线的电晕。导线开始有电晕现象发生时的电压叫作“电晕起始电压”。导线开始出现电晕时只不过是局部的轻微点电晕，看起来导线上相隔一定距离有一微弱点光，随着电压升高，导线上的微弱点光逐渐增多，而且光亮增强，以至扩展到导线全部表面形成全电晕现象，同时能听到

放电的噪音。由于导线产生电晕现象需要消耗一部分电能，因此在11万伏送电线路升压到22万伏时应进行必要的导线电晕试验。

在《高压架空电力线路设计技术规程》中曾规定，对22万伏线路导线直径如不小于21.5毫米时可不必验算电晕，而原京津线导线直径为18.2毫米，则在过去22万伏线路中尚未用过直径这样小的导线，因此首先需要通过试验来检验它的电晕情况。

导线的电晕试验是用与原线路规格相同的导线在标准条件下观测电晕的。导线直径为18.2毫米，试验导线长3米。电晕现象的观测是在夜间进行的。开始对试验导线施加低电压，并逐渐升压增至导线出现轻微点电晕，即达到导线电晕起始电压阶段，然后继续加压观测，直至导线产生全面电晕为止，试验结果如表2。

表 2 导线电晕观测

试 验 电 压 (千伏)	折 合 线 电 压 (千伏)	观 测 情 况
127	220	无电晕现象
139	241	无电晕现象
153	265	轻微二点电晕
162.5	282	五点电晕
200	346	全线电晕

由试验结果可知，当导线直径为18.2毫米，在22万伏额定线电压、24万伏最高运行线电压条件下，原导线没有发现有电晕现象。而电晕现象的起始电压是由26万伏线电压开始的，

直到34万伏线电压时导线表面才形成了全面电晕。通过試驗，为京津线升压22万伏运行提供了初步数据。

第二节 现场实验

“一个正确的认识，往往需要經過由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。”三結合小組认为在試驗室被証明了的事与生产实践相比較，由于条件的不同，不可能完全切合生产实际，因此不能滿足于在試驗室所提供的数据上。遵照毛主席“通过实践而发现真理，又通过实践而証实真理和发展真理。”的教导，决定走出試驗室，在送电线路底下，摆下实验現場，在野外搭起帐篷进行科学实验。現場实验的条件是比较艰苦的，困难也較多。但不論条件再艰苦，困难再多，都难不倒用毛泽东思想武装起来的首都电业工人和技术人員。同志們牢記毛主席的教导：“什么叫工作，工作就是斗争。那些地方有困难、有問題，需要我們去解决。我們是为着解决困难去工作、去斗争的。”紧张的現場实验工作迅速展开。

現場实验是利用原京津线的一段空余线进行的。对原有杆塔通过不同方案的升压改造(杆塔改造方案在下章中介绍)后用升压电气设备直接加压22万伏，并进行各种实验。对于11万伏及22万伏电力系統中性点的运行方式是直接接地的，构成星形接线，如图5。22万伏线路每相对地(中性点)的电压是22万伏/ $\sqrt{3}$ =12.7万伏。

現場实际升压試驗的每相导线，各联接一台升压試驗变压器，并組成星形接线。当原电压供給500伏时，它的副电压可升至150000伏。升压試驗变压器由380伏的低压电源，經過单相調压变压器而供給的。調压变压器也有叫移卷变压