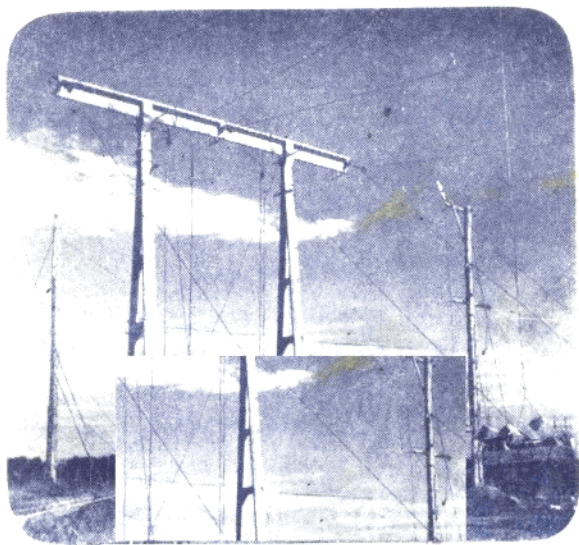


装配式钢筋混凝土及 预应力混凝土变电架構

丁 祖 瀛著



水利电力出版社

前 言

变电架構是电力建設的一个重要組成部分。我們曾作过这样的統計：建設一个12万千伏安的220千伏变电所，采用鋼結構变电架構，全部屋外配电裝置消耗鋼材約360吨，合3.0公斤/千伏安；建設一个4万千伏安的110千伏变电所，采用“161型”裝配式鋼筋混凝土变电架構，消耗鋼材約65吨，合1.6公斤/千伏安；容量为2万千伏安的35千伏变电所，采用“144型”鋼筋混凝土变电架構，鋼材消耗0.8公斤/千伏安；容量为2万千伏安的110千伏变电所，采用“AH型”鋼筋混凝土变电架構，鋼材消耗0.6公斤/千伏安；而采用預应力混凝土变电架構建筑的110千伏变电所，容量也是2万千伏安，鋼材消耗量仅为0.3公斤/千伏安左右。第二个五年計劃內建設的变电所总容量將不下于2亿千伏安，設在1亿千伏安超高压变电所內采用預应力混凝土变电架構代替鋼結構，可節約鋼材27万吨；在另一亿千伏安的变电所內采用預应力混凝土变电架構代替鋼筋混凝土变电架構，可節約鋼材3万吨，共計節約鋼材近30万吨，可用以建設110~650千伏送电綫路預应力混凝土杆塔20万公里，相当于第二个五年計劃中送电綫路杆塔建設任务的全部。

預应力混凝土在我国发展的速度是任何資本主义国家所望尘莫及的，1956年我們还只是在研究阶段，1957年就使用一万多公尺³，1958年將使用几十万公尺³。在这方面，我們不是需要十几年而只要很短的时间就可以把英国抛在后面。

在电力建設方面，特別是在送变电方面广泛采用預应力混凝土杆塔更具有最优越的条件和最迫切的需要：設計标准

化和生产工厂化能保证最大限度的推广使用预应力混凝土杆塔；減輕結構重量、增強混凝土抗裂性，特別是使送变电杆塔的运输、安裝工作大为简化。在 220 千伏及更高电压的变电架構中，几次試驗說明，非预应力混凝土不可避免的产生严重裂縫，因而不能使用。

在我国工农业全面大跃进的时代，预应力混凝土变电架構在我国必將用最快的速度蓬勃发展，并不断改进和完善，在我国和世界和平建設事业中起到应有的作用。采用预应力混凝土的 330 千伏以至 660 千伏变电架構的建設任务为期不远；在大鬧技术革命的浪潮中，变电架構的設計和施工，必將作为革命的重要对象，其前途是不可限量的。

本書力求比較系統的闡明鋼筋混凝土及预应力混凝土变电架構的設計原則，对于屋外配電裝置的其他結構則很少討論。这是抱着“宁肯少些，但要好些”的想法；其实這本書中所提出的某些設計原則的近似解决办法，如预应力超靜定結構設計及具有一个对称軸的断面承受斜向弯矩等設計原則以及各种結構和張拉方案，对于其他某些結構，特別是露天結構，如送电綫杆塔、輸煤建筑、供热等管道支架結構等可能有些参考价值，其中若干試驗資料希望作为进一步研究的参考資料。至于屋外配電裝置其他結構及繼續研究任何超高压变电架構的预应力，也可直接参考使用这些研究資料。書中有些資料是根据个人意見提出的，可能有不妥当的地方，請讀者多多指正。

作 者

1958.10.北京

目 录

第一章 概論	5
1-1 装配式钢筋混凝土及预应力混凝土变电架構研究、試驗及使用情况	5
1-2 各种結構方案的变电架構經濟比較	27
1-3 小結	29
第二章 装配式钢筋混凝土及预应力混凝土变电架構的研究	34
2-1 装配式钢筋混凝土 35~110 千伏变电架構的設計	34
2-2 预应力混凝土 220 千伏变电架構研究設計	38
2-3 预应力混凝土 35~110 千伏变电架構研究設計	48
2-4 预应力混凝土圓环形断面变电架構研究設計方案	50
2-5 小結	53
第三章 装配式钢筋混凝土变电架構設計与計算	54
3-1 装配式钢筋混凝土变电架構分类、应力分析及計算条件	54
3-2 承受斜向弯矩的断面強度計算近似公式的商榷	56
3-3 压力構件断面強度及稳定性計算	60
3-4 均布鋼筋环形断面偏心受拉構件断面強度計算	62
3-5 避霄針支架及设备支架設計要点	65
3-6 小結	65
第四章 预应力装配式混凝土变电架構設計与計算	66
4-1 预应力装配式混凝土变电架構应力分析	66
4-2 断面強度及抗裂性計算主要原則	63
4-3 对計算条件的考虑	71
4-4 预应力混凝土变电架構主要計算公式	77
4-5 对预应力混凝土变电架構構造細节的考虑	84
4-6 小結	90
第五章 变电架構的剛度与导綫机械計算的关系	91
5-1 导綫机械計算基本原則和主要計算公式	91
5-2 变电架構的剛度对导綫机械計算的影响	96
5-3 导綫机械計算实例及比較	101
5-4 小結	115
附录 I 装配式整体式预应力混凝土(先張法) 220 千伏 II 型母綫終端架構計算書	116
附录 II 装配式预应力混凝土(后張法) 220 千伏 II 型母綫終端架構計算書	134

第一章 概 論

1-1 裝配式鋼筋混凝土及預应力 混凝土变电架構研究、試驗及使用情况

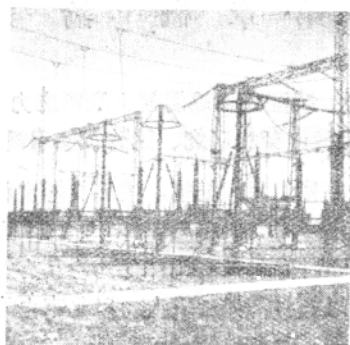
变电架構过去曾沿用鋼結構，按簡支靜定結構設計（即在架構平面內假定為簡支梁和懸臂柱）。這種結構的受力杆（包括拉力杆和壓力杆）和構造用杆件均為具有較低強度的普通型鋼組成，所以鋼材消耗量很大。以北京電力設計院1954年的工程設計為例，35~110千伏变电架構每組消耗鋼材517~1273公斤；220千伏变电架構每組消耗鋼材2671.36~6112.72公斤（包括基礎用鋼）。同時由於支柱斷面一般較小，往往設計為大塊基礎，以致混凝土消耗量也很大。如在3001工程中，最大的基礎消耗混凝土多至25.7公尺³。

1955年2~4月，第一次試制成功的裝配式鋼筋混凝土35~110千伏变电架構，經過荷重試驗，強度安全超過設計要求。

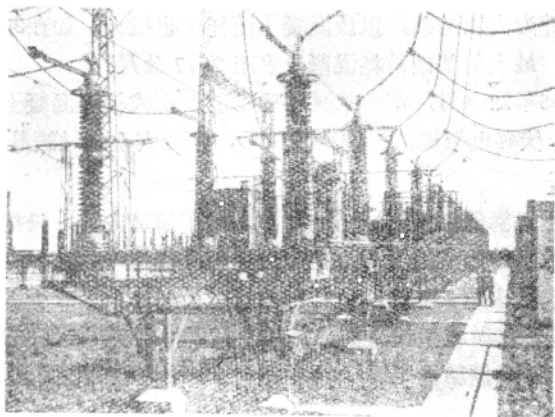
試驗架構仍保持鋼結構的基本型式和構造方法，只把拉力杆件改用鋼筋支持拉力，把壓力杆件及構造用的杆件改為主要由混凝土承受壓力。這樣可使鋼材消耗量大大減少。以35~110千伏試驗架構為例，每組消耗鋼材已減少到333~683公斤，和鋼結構比較，節約鋼材35~45%和降低造價10~25%。

在試驗架構基礎上略加修改，即應用於54161工程中，稱為“161型”变电架構。

“161型”变电架構亦按簡支靜定結構設計。由於梁、柱



a. 千伏变电架棚



6. 隔离开关支架

图 1-1 变电架棚及设备安装

連接的剛度小，柱和基礎的連接仍參考鋼結構，用基礎螺栓和連接鋼板，鋼材消耗多；柱為空腹斜杆桁架，構造複雜。總的說：結構可靠，適宜於重型結構，但經濟指標偏高。

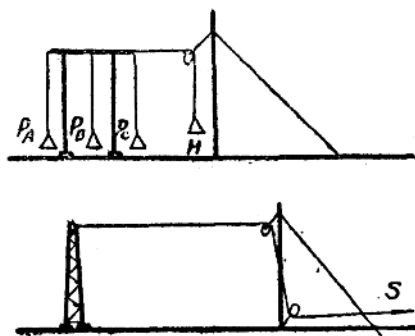


圖 1-2 110 千伏母綫架構試驗布置圖

表 1-1

110 千伏母綫架構試驗結果

荷重項目及說明		設計允許荷重	設計極限荷重	試驗最大荷重	備 注
側 風 壓	H	400	800	1100	包括結構風壓
導 綫 正 面 拉 力	S_B	1180	2360	3300	考慮斷接情況
	S_C	1180	2360	3300	
導 綫、磁 瓶 及 金 具 等 垂 直 荷 重	P_B	114	228	300	包括追加荷重
	P_C	314	628	500	

附注：1. 荷重單位為公斤；2. 架構未破壞，仍使用於 54161 工程中；3. 所有滑輪摩阻力均未扣除。

54161 工程屋外配電裝置結構，包括全部變電架構、設備支架及避雷針支架等，全部採用裝配式鋼筋混凝土結構建成。其中有的建築很高（如避雷針支架），有的荷重很大（如 6 千伏轉角架構用組合導綫），有的結構複雜（如主變壓器側架構）。值得提出的是，在 6 千伏轉角架構設計中，採用 II 型架代替不對稱 π 架，使梁、柱的應力各減少 50% 左右，並創造性的採用 A 型柱的設計；在主變壓器側架構設計中，按照

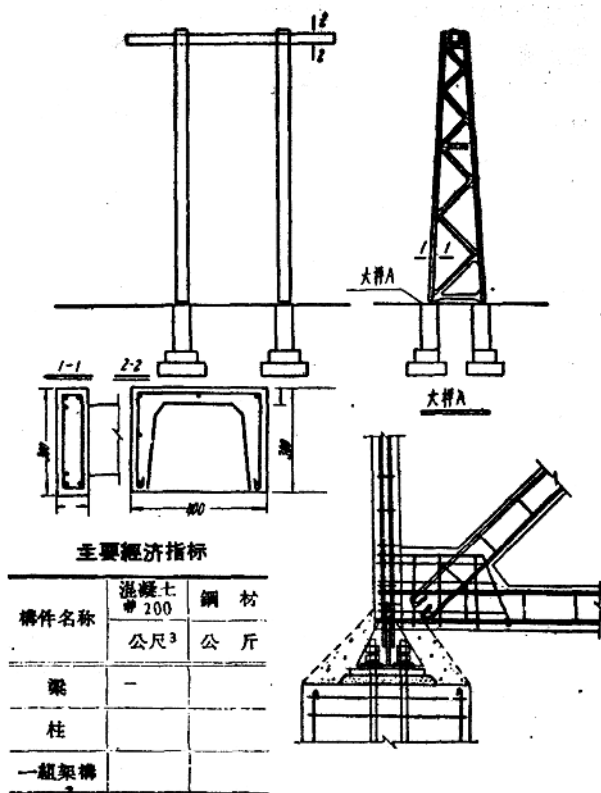


图 1-3 “161型” 架構構造簡圖

整体复杂刚架布置和分析应力，即考虑横梁能传递压力（由导线张力产生），使得支柱的计算应力大大减小，重量减轻（图1-4～图1-6）。

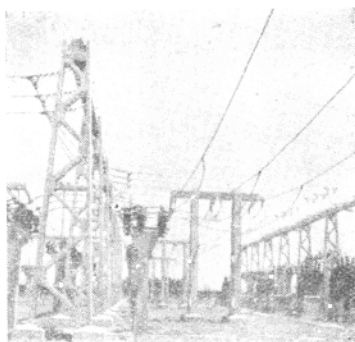


图 1-4 “161型” 110 千伏变电架構

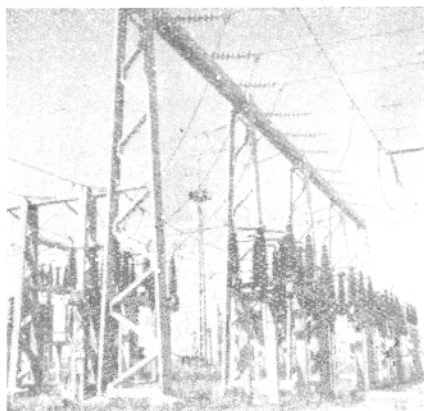


图 1-5 “161型” 35 千伏变电架構

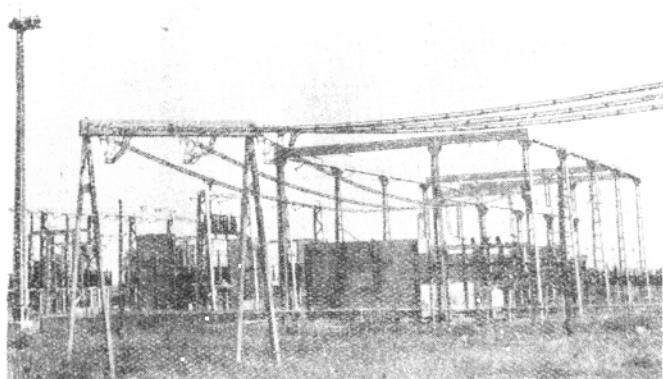


图 1-6 6 千伏轉角架構及主變壓器側架構

1955年6月，提出“АII型”改进方案，改善了梁、柱和柱与基础的连接方式，把柱弦杆中心线交于外力（水平拉力）作用点，于是用水平腹杆代替了斜腹杆，简化了构造，并获得较好的经济指标。

用这种改进方案建筑了54144等工程，故又称为“144型”变电架构。

1955年10月，对这种改进方案进行了荷重试验和分析研究。试验结果，强度安全符合设计要求，有些地方还有富裕；梁、柱及柱、基础的连接可靠，可以按刚架结构考虑，并满意的证明，在表1-2中第1~3项荷重作用下，压力弦杆（偏心受压）并未发现裂缝。拉力弦杆大量出现裂缝后，刚度大减，成为或接近于中心受拉状态，全部侧荷重由压力弦杆担负。压力弦杆在第4项荷重作用下才发展了破坏裂缝。

表 1-2

35千伏母綫架構試驗結果

序 号	試 驗 項 目	垂 直 荷 重			导 线 张 力			侧风压 H
		P_A	P_B	P_C	S_A	S_B	S_C	
1	事故(断綫)情况試驗	225	225	—	1,200	1,200	—	—
2	正常情况試驗	560	240	240	1,700	1,700	1,700	370
3	破坏試驗(I)	150	150	150	2,200	2,200	2,200	900
4	破坏試驗(II)	—	—	—	—	—	—	2,000
5	設計允許荷重	350	450	150	750	750	750	220

附注: 1. 荷重单位为公斤; 2. 所有滑輪摩阻力均未扣除。

1956年初, 在改进方案基础上, 按剛架結構設計成重复使用图紙, 广泛的应用于各工程中, 获得了較低的經濟指标, 称为“APII型”变电架構。

“APII型”装配式鋼筋混凝土 35~110 千伏变电架構和鋼結構比較, 可以節約鋼材 60~70% 和降低造价 37~52%。

重复使用图紙包括全部 35~110 千伏变电架構、設備支架、避雷針支架、設備基础和電綫沟道等。其中設備支架也有較大改进, 使外型輕巧, 構造簡單, 安裝方便, 鋼材和造价也大大减少。

图 1-8~图 1-10 为用重复使用建筑的 328 工程 110 千伏变电架構、設備支架和設備基础等。

1956 年 8 月进一步簡化了設計方案, 采用 T 型梁和杯型基础, 并結合电气上采用新技术措施, 包括用鋼心鋁綫代替銅导綫, 减小綫間距离和降低杆塔高度, 获得了更低的經濟指标并列入了标准設計, 称为“APII 輕型”变电架構。

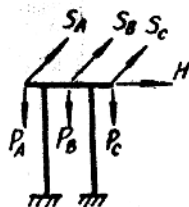


图 1-7 35 千伏母綫架構試驗荷重布置图

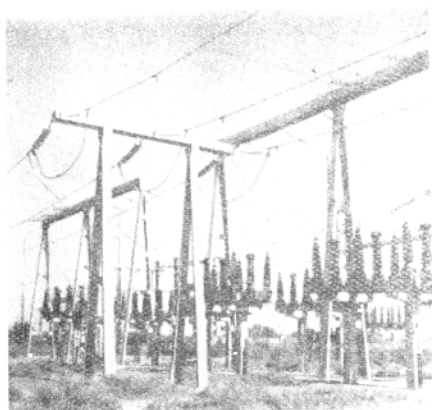


图 1-8 “AII 型” 110 千伏变电架構

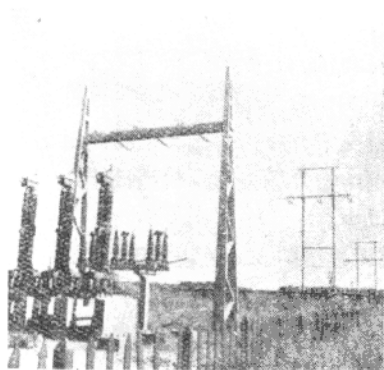


图 1-9 110 千伏出綫架構

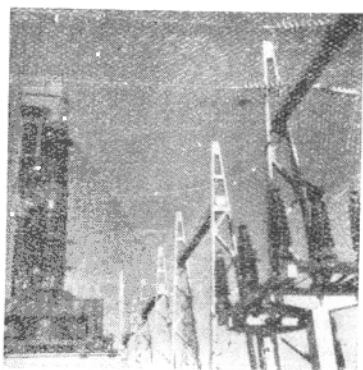


图 1-10 110 千伏出綫架構

1956~1957年研究設計了裝配式預应力混凝土变电架構,并对220千伏变电架構作了試制和試驗。試驗架構共作了三組,均于1957年9月試制和試驗完毕。荷重試驗結果,抗裂安全符合設計要求,强度安全略超过設計要求。其

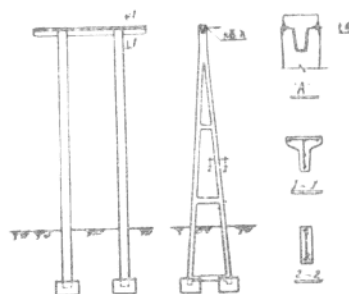


图 1-11 “AH 輕型”变电架構

中一組为裝配整体式預应力混凝土 220 千伏母綫架構,用在混凝土凝結前張拉鋼筋(簡称先張法)的鋼弦混凝土板組合成構件;另一組为裝配式預应力混凝土 220 千伏母綫架構,用

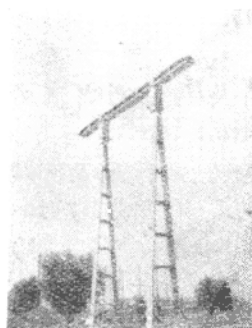


图 1-12 裝配整体式
預应力混凝土 220 千
伏母綫架構

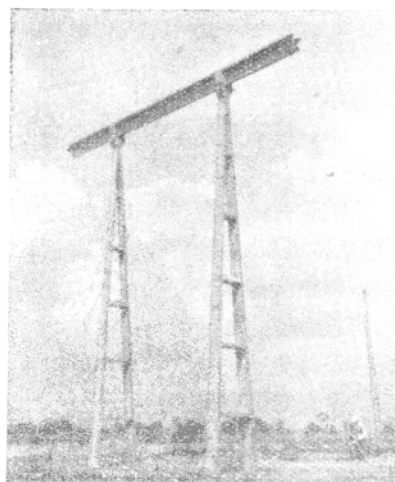


图 1-13 裝配式預应力混凝土
220 千伏母綫架構

在混凝土凝結后張拉鋼筋（簡称后張法）把裝配式鋼筋混凝土塊体組合成構件；第三組为裝配式預应力混凝土 220 千伏出綫架構。这些架構均采用 T 型或 I 型梁，A 型柱与杯型基。

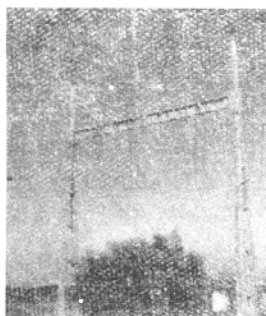


图 1-14 裝配式預应力混凝土 220 千伏出綫架構

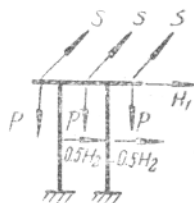


图 1-15 220 千伏母綫架構試驗荷重布置图

試驗主要結果如下：

I、裝配整体式預应力混凝土 220 千伏母綫架構試驗結果。

試驗荷重布置如图 1-15，其中 H_1 及 H_2 是側向风力（包括綫风压）的換算数值。荷重試驗见图 1-16。

当正面荷重为設計有效荷重的 130%（主要荷重）及正側面荷重为設計有效荷重的 120%（主要荷重与附加荷重）时，經過保持荷重（一般在 15 小时以上，即不少于一夜的时间）后，檢查架構有无裂縫。

正側面荷重为設計有效荷重的 150% 时，从观测結構变形及混凝土应变推知架構可能已出現裂縫。为不妨害荷重正确和安全起見，將荷重退到 130% 后再上杆檢查（考虑这种少許的卸荷不会使已出現的裂縫閉合，也不会由于兩個人上

杆的附加重量而影响試驗結果)，发现横梁出現兩条裂縫，均在应力最大处，其一在預应力混凝土板上(图1-17中右上角)，宽度为0.01公分；另一条在非預应力板上(图1-17中左下角)，宽度为0.0125公分。

支柱的裂縫出現得很晚。荷重約在200%以上，柱下部才发现裂縫(荷重为150%以后即未再上杆檢查)；在荷重为240%时，柱拉力弦杆出現大量裂縫，裂縫宽度不大，間距較密且很均匀(图1-18)，柱压力弦杆沒有发现裂縫。

側面荷重尚为240%，正面荷重加到250%时横梁折断(图1-19)。这时由于架構撓度(主要是横梁撓度)的增大，正面荷重有所减少，架構尚未倒塌。

全部荷重沒有拆除，正面兩根綫繼續加荷重到不少于設計有效荷重的260%时，支柱拉力弦杆被拉断(图1-20)，架構立即倒塌。

上述荷重的百分数內沒有包括滑輪摩擦力的校正数(下同)。滑輪摩擦力是先假定为鋼絲繩張力的10% (图1-21, $F = 0.10T_1$)，最后校正实用滑輪的摩擦系数 $\mu = 0.05$, $F = 0.05T$ 。各阶段荷重校正值列于表1-3。

变电架構的主要撓度与計算值很接近(图1-22)。

所有試驗荷重的数据、撓度、裂縫、破坏情况及破坏地点、混凝土应力应变分布情况等均証实架構工作情况滿意地符合設計假定，并表明所考虑和拟定的設計原則、計算方法和計算公式均大体上正确，施工質量得到基本的保証。

其中抗裂性安全超过計算要求($1.5 > 1.2$)，說明預应力損失不大和尚未充份形成，而强度安全超过計算要求($2.4 \sim 2.6 > 2.0$)是由于鋼絲实际强度大于計算强度(平均为 $70 > 60$ 公斤/公厘²)。

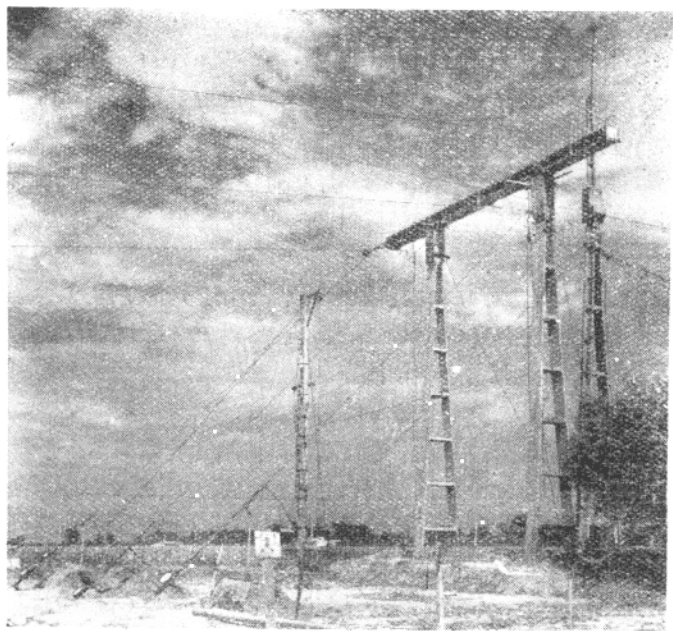


图 1-16 装配整体式预应力混凝土220千伏母线结构荷重试验

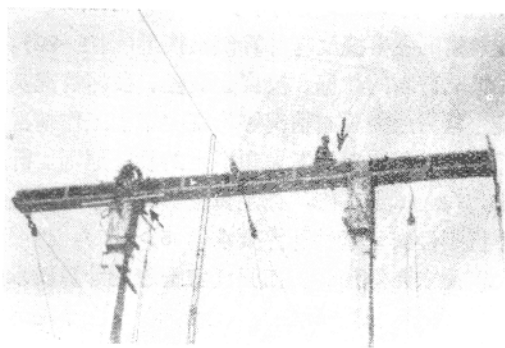


图 1-17 横梁第一条裂缝位置

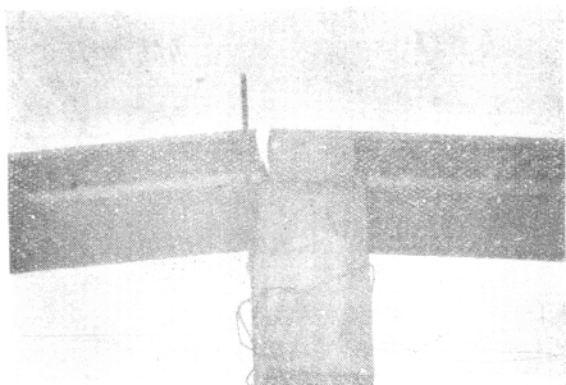


图 1-18 榀梁折断情况

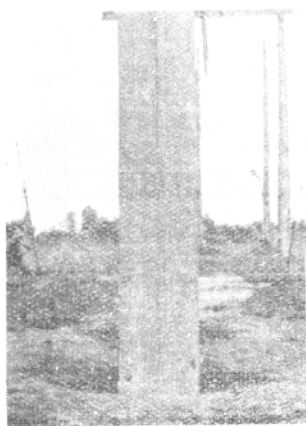


图 1-19 支柱裂缝情况

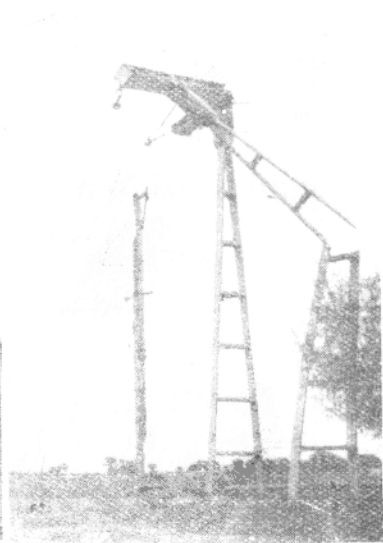


图 1-20 支柱折断情况