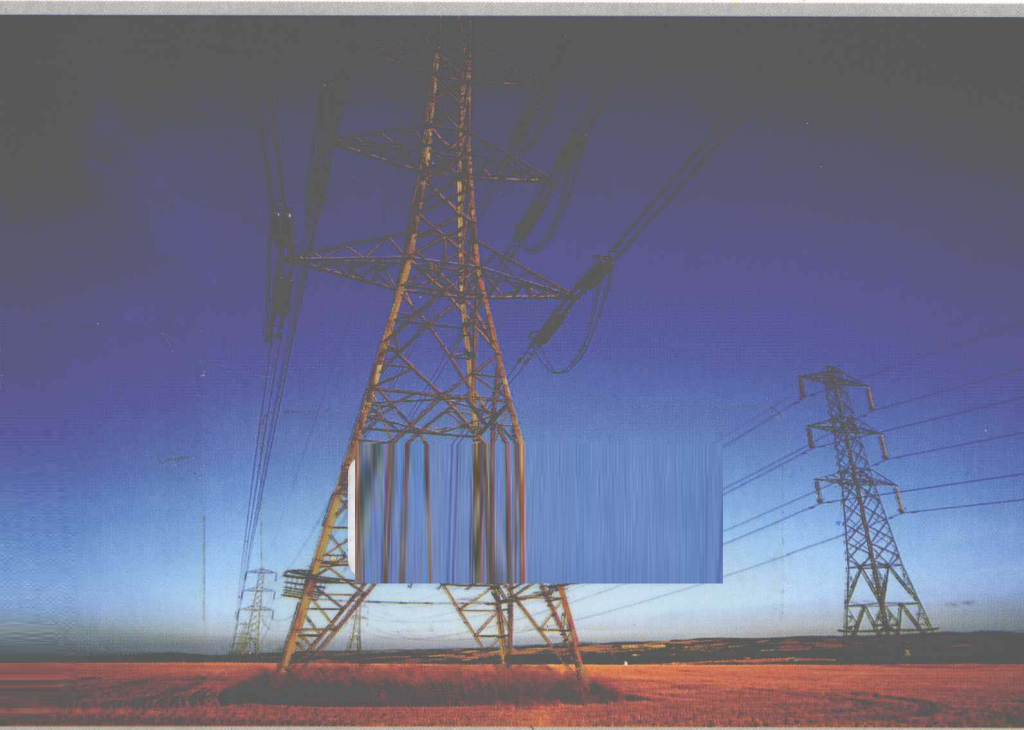





# 输电线路运行

SHUDIAN XIANLU YUNXING

主编 吴加新



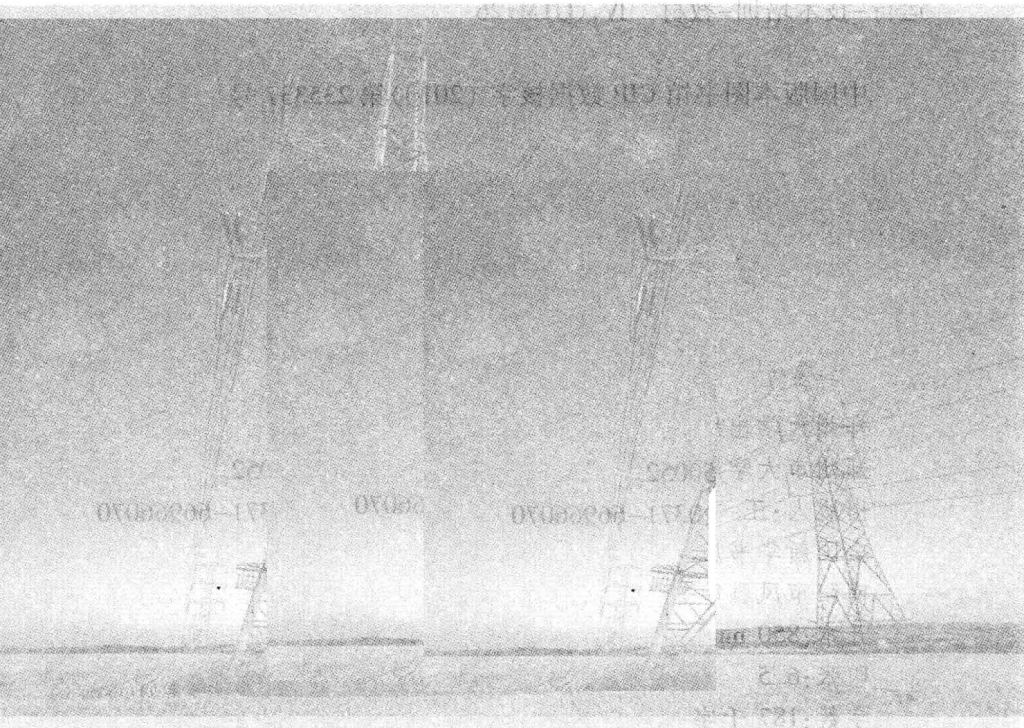
 郑州大学出版社




# 输电线路运行

SHUDIAN XIANLU YUNXING

主编 吴加新



 郑州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

输电线路运行/吴加新主编. —郑州:郑州大学出版社,2011.2

(电力行业技术丛书)

ISBN 978-7-5645-0331-4

I. ①输… II. ①吴… III. ①输电线路-电力系统运行-技术培训-教材 IV. ①TM726

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 235337 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

邮政编码:450052

出版人:王 锋

发行部电话:0371-66966070

全国新华书店经销

南阳市风雅印务有限公司印制

开本:850 mm×1 168 mm

1/32

印张:6.5

字数:187 千字

版次:2011 年 2 月第 1 版

印次:2011 年 2 月第 1 次印刷

---

书号:ISBN 978-7-5645-0331-4 定价:16.00 元

本书如有印装质量问题,请向本社调换

# 作者名单

主 编 吴加新

参 编 王玉川 王海明 郑瑞广  
刘更生 吴望阳

# 内容提要

本书是为帮助送电线路工人尽快掌握送电线路运行与维护的基本技能而编写的,共分为四个部分:输电线路的基本功能和线路组成的基本元件、架空线路对各元件的运行要求、线路运行与管理、线路常见故障的判断和预防。本书可作为送电线路工人上岗、晋级的技术考核培训教材,也适宜于具有初中以上文化水平的送电线路工人自学。

# 前 言

架空线路是电力网中的一个重要环节,它广泛地分布在山野平原、乡村城镇之间,线长、点多、面广,随时随地都有可能遭受自然灾害和各种人为的外力破坏。为确保电网安全稳定、科学经济的运行,提高电力网供电的安全性、可靠性、稳定性,就要有一支基础知识、专业技术、综合素质过硬的电力线路职工队伍。长期以来,线路专业的技术书籍多适合于刚刚涉及线路工作的人员,为满足广大线路专业人员的需求,我们编制了《输电线路运行》这本书,主要对象是生产一线的线路专业人员。

本书的编者都是多年从事架空输电线路专业的工程技术人员,有着丰富的实践经验。在编写过程中,强调岗位实用的特点,深入浅出地介绍了线路运行专业应掌握的基本技术知识和技能。

本书主要介绍了输电线路的运行与管理。全书共分为四章,分别介绍了输电线路的基本知识、架空线路对各元件的运行要求、线路运行与管理以及线路常见故障的判断和预防等内容。全书主要针对 220 kV 及以下电压等级的架空线路,内容翔实,可操作性强。

由于编者水平有限,书中难免出现不足之处,敬请广大读者和线路专家批评指正。

编 者

2010 年 11 月

# 目 录

第一章 输电线路的基本知识和线路组成的基本元件 .....	1
第一节 输电线路的功能和基本要求 .....	1
一、对线路路径的要求 .....	2
二、架空线路应该避开下列场所 .....	2
三、架空线路杆塔应避开下列场所 .....	2
四、对电杆高度和埋深的要求 .....	2
五、对混凝土杆的要求 .....	3
六、对铁塔的要求 .....	3
七、装设拉线的要求 .....	3
八、导线连接的要求 .....	4
第二节 常用的输电线路类型和基本元件 .....	4
一、高压架空输电线路与电力电缆输电线路的区分 .....	5
二、架空输电线路构成的基本元件及作用 .....	5
第三节 输电线路的档距、限距和安全距离 .....	30
一、输电线路中的常用档距 .....	31
二、线路的安全距离及影响因素 .....	34
第四节 架空线的应力、机械特性和比载 .....	35
一、架空线的控制应力 .....	36
二、电线的机械特性 .....	39
三、架空线的比载 .....	40
第二章 架空送电线路对各元件的运行要求 .....	43
第一节 对杆塔与基础的要求 .....	43
一、输电线路基础 .....	43
二、输电线路杆塔 .....	45
三、镀锌钢绞线 .....	46



四、拉线棒 .....	47
五、钢材的基本知识 .....	48
六、铁塔防腐 .....	51
第二节 对导线与地线的要求 .....	53
一、导地线断股、损伤 .....	53
二、导地线腐蚀 .....	53
三、导线防腐的主要措施 .....	54
四、导线和地线的最小外径 .....	54
五、杆塔上地线对边导线的保护角 .....	55
六、导线、地线的距离 .....	55
七、水平线间的距离 .....	55
八、垂直线间距离 .....	56
九、等效线间距离 .....	56
十、水平偏移 .....	56
十一、对导地线基本性能的要求 .....	57
第三节 对绝缘子的要求 .....	58
一、对高压绝缘子的运行条件和要求 .....	58
二、绝缘子的额定电压 .....	59
三、送电线路的绝缘配合 .....	60
四、输电线路绝缘子串的组装 .....	60
五、瓷质绝缘子 .....	63
六、玻璃绝缘子 .....	64
七、合成绝缘子 .....	64
八、运行对绝缘子的质量要求 .....	65
第四节 对线路金具运行质量的要求 .....	66
一、运行线路的金具必须满足的要求 .....	66
二、线路金具必须有很高的可靠性 .....	67
三、线路金具必须耐用 .....	67
四、连接紧密防止松动 .....	68
五、保证充分的转动灵活 .....	68





六、金具的电能损失及线夹、金具的运行要求 .....	68
第五节 对接地装置运行要求 .....	78
第六节 对线路通道运行要求 .....	78
<b>第三章 线路运行与管理 .....</b>	<b>79</b>
第一节 线路运行 .....	79
一、线路分界点划分的一般原则 .....	79
二、线路巡视 .....	80
三、架空线路巡视的主要内容 .....	84
第二节 架空线路的维护和测量 .....	92
一、检查和测量工作 .....	92
二、输电线路常用的检测项目和方法 .....	97
第三节 输电线路的运行管理工作 .....	111
一、线路设备的缺陷管理 .....	112
二、线路设备健康统计工作 .....	114
三、线路运行单位的运行维护管理工作 .....	115
第四节 输电线路的安全防护 .....	122
一、外力破坏产生的主要原因 .....	123
二、架空线路在防护区和通道内的防护规定 .....	123
三、群众护线 .....	124
第五节 探索 .....	126
一、电力安全生产管理滞后于电力发展 .....	126
二、探索建议 .....	127
<b>第四章 线路常见故障的判断和预防 .....</b>	<b>129</b>
第一节 引发线路故障常见的原因 .....	129
一、大气自然条件的影响 .....	129
二、线路本身的缺陷的影响 .....	131
三、外界环境影响 .....	132
第二节 导地线的微风振动与主要防治措施 .....	132
一、导地线振动的起因 .....	132
二、导线疲劳断股的机制 .....	132



三、导地线疲劳断股的常见位置 .....	133
四、微风振动的危害 .....	134
五、影响振动的因素 .....	134
六、导地线微风振动的主要防治措施 .....	137
第三节 导地线的舞动与主要防治措施 .....	140
一、导地线舞动的起因 .....	140
二、导线舞动易发生的地区 .....	142
三、导地线舞动的主要防治措施 .....	142
第四节 线路风偏放电与主要防治措施 .....	144
一、风偏闪络事故发生时的气象条件 .....	144
二、线路风偏闪络的放电路径 .....	144
三、风偏闪络的原因 .....	145
四、防止风偏闪络事故的对策与措施 .....	145
第五节 线路雷击跳闸与主要防治措施 .....	145
一、雷电的形成和放电过程 .....	145
二、线路常用的雷电参数 .....	148
三、雷击跳闸的类型及杆塔特点 .....	149
四、雷电过电压 .....	149
五、雷击跳闸的类型特点 .....	151
六、雷击跳闸故障的判别 .....	151
七、雷击跳闸的主要防治措施 .....	153
第六节 输电线路的污闪与主要防治措施 .....	155
一、绝缘子污闪事故的特点 .....	156
二、绝缘子的积污特性 .....	156
三、影响绝缘子积污的因素 .....	159
四、污闪形成的条件 .....	161
五、污闪产生的过程 .....	161
六、绝缘子串的污闪特性 .....	162
七、合成绝缘子的污闪特性 .....	162
八、污闪的主要防治措施 .....	162



第七节 输电线路的覆冰与主要防治措施	164
一、输电线路覆冰简介	164
二、线路覆冰的分类和成因	164
三、线路覆冰的危害	169
四、绝缘子冰闪	170
五、线路覆冰常用的防治措施	171
第八节 接地装置的运行与改造	173
一、接地装置的腐蚀	173
二、造成接地的装置腐蚀的主要原因及特点	174
三、影响接地体腐蚀的因素	175
四、防止接地装置腐蚀的主要措施	176
五、接地装置的运行分析	176
六、运行与改造	177
第九节 输电线路鸟害与主要防治措施	178
一、防鸟害需要做的主要工作	178
二、鸟害的类型与成因	179
三、鸟害事故发生的规律	182
四、鸟害故障的主要防治措施	183
第十节 输电线路外力破坏与主要防治措施	187
一、容易遭受外力破坏的线路	188
二、输电线路遭受外力破坏的主要表现方式	188
三、外力破坏的成因分析	188
四、防外力破坏存在的主要问题	190
五、防治外力破坏的主要措施	191
参考文献	193

# 第一章 输电线路的基本知识和线路组成的基本元件

## 第一节 输电线路的功能和基本要求

输电线路的功能是输送和分配电能。因为动力资源和负荷中心分布往往不一致,如水力资源集中在江河流域或落差较大的山区,热力资源集中在煤炭和石油产地,潮汐、波浪能和海洋温差又多集中在沿海地区等,而发电厂常常建在动力资源丰富的地区,负荷中心往往集中在工业发达城市和政治经济中心,因此在发电厂与负荷中心往往相隔有相当长的距离。这就需要建立起来将发电厂的电能输送到负荷中心和用户的渠道。这个渠道必须是将输送、交换、分配电能各个环节有机的连成一个高度自动化的统一“整体”。这个“整体”就是我们的电力网,而输电线路是电力网的重要组成部分,即将发电厂发出的电力输送到消费电能的地区,或进行相邻电网间的电力互送,使其形成互联电网或统一电网,保持发电和用电或两电网间供需平衡。

输电线路是电力网中不可缺少的重要部分。它的主要作用是输送、分配和交换电能。同时,它还有另外一个重要的作用就是将几个独立的电网连接起来,形成互联电网或统一电网,从而提高了电力系统安全供电的可靠性。

由于输电线路长期处在露天之下运行,使得线路设备元件不仅要承受正常的机械、电力荷载,还要经受风霜雨雪、雷电及大气污染等各种恶劣的自然条件的影响,这些影响都会危及输电线路的安全运行。为保证输电线路的安全运行,有必要规范对运行输电线路的基本要求。



## 一、对线路路径的要求

(1) 架空线路的路径尽量选择捷径,地形地貌不复杂,投资较少。

(2) 尽量少占用农田,避开洼地、易冲刷地带、地面沉陷、不稳定斜坡等地质灾害隐患区域。避开易被车辆碰撞的地方。

(3) 避开易爆易燃等危险源物品的生产存储场所。

(4) 尽量把输电线路架设在交通便利的地方,方便与施工、运输和线路的运行维护。

(5) 路径选择既要顾及当前需要,也要考虑今后的发展。既要满足城市规划和电网规划,也要为以后的发展留有一定的裕度。

## 二、架空线路应该避开下列场所

(1) 国家纪念馆、碑及其类似场所和规划区域。

(2) 房屋庭院、林木丛生之场所。

(3) 山洪、水灾较多,不易通过的山河、湖泊及基础不稳定的地质灾害隐患区域。

(4) 易爆易燃等危险源物品的生产存储场所及生产腐蚀性气体、液体及污染严重的场所。

## 三、架空线路杆塔应避开下列场所

(1) 妨碍交通或妨碍交通视线的场所。

(2) 铁路路基取土处及路基的斜坡面。

(3) 地下管道、暗渠、电力电缆、通讯电缆及其他地下设施埋设之处。

(4) 建筑物及地道出口、车辆通行频繁易受碰撞之处。

(5) 临近河岸、水渠、沙地、沼泽地和泉水池。

## 四、对电杆高度和埋深的要求

(1) 电杆高度应根据横担安装位置、电杆埋深、导线弧垂、导线对地面(被跨物)的垂直安全距离来确定,可采用下列公式近似计算。



电杆高度 = 横担至杆顶的距离 + 导线弧垂 + 导线对地面(被跨物)的垂直安全距离 + 电杆埋入深度

(2)电杆埋入地面下的深度应根据电杆的材料、高度、承载能力和当地的土质情况来确定。一般 15 m 以下的电杆,埋深可按照电杆长度的 1/6 计算,但不得小于 1.5 m。一般不带拉线的电杆埋深可参考表 1-1。

表 1-1 电杆埋设深度

杆高/m	8	9	10	11	12	13	15	18
埋深/m	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.3	2.8

## 五、对混凝土杆的要求

(1)杆身弯曲不得超过杆长的 2/1 000。

(2)电杆横向裂纹宽度应不超过 0.2 mm。

(3)电杆表面应平整光滑,内外壁均不得有流浆漏筋等缺陷,杆顶必须封堵。

(4)混凝土杆用的底盘、卡盘、拉盘表面应无裂缝、剥落等缺陷,如因运输碰撞,其碰撞面积不得超过总面积的 2%,碰撞深度不应大于 20 mm。

## 六、对铁塔的要求

(1)铁塔主材弯曲度不大于 0.2%。

(2)铁塔倾斜(包括挠度):50 m 及以上高度的小于 0.5%,50 m 以下高度的小于 1%。

(3)塔材镀锌防腐无锈蚀。

## 七、装设拉线的要求

(1)拉线在混凝土杆上固定时要使用拉线抱箍,抱箍的机械强度



要满足拉线拉力的要求。固定抱箍的螺栓直径不小于 16 mm。

(2) 拉线下把的位置要符合设计要求,且应设置在不易被车辆碰撞的地方,若受地形限制,拉线应加装保护桩。拉线若设置在易受洪水冲刷区域及因微观地形变化后易受暴雨或其他原因导致基础位置的水土可能流失时,应增设必要的防护措施。

(3) 对  $5^{\circ}\sim 30^{\circ}$  的转角杆,要加装内角拉线。

## 八、导线连接的要求

(1) 在一个档距内每根导线允许有一个接头或三个补修管,其间距不应小于 15 m,导线接头或补修管聚到先固定的位置:直线杆不应小于 0.5 m;耐张杆不应小于 15 m。

(2) 跨越铁路、公路和城市的主要道路、通讯线路、特殊大档距和跨越主要通航河流,不得有接头。

## 第二节 常用的输电线路类型和基本元件

按能量输送形式可分为直流输电和交流输电。按输电线路的安装方式又可以分为两大类:架空电力线路和电缆电力线路。电缆电力线路又可根据使用情况分为地理电缆电力线路、水埋电缆电力线路和特殊电缆电力线路。

线路电压等级的划分:通常习惯上称额定电压 1 kV 及以下的为低压,10 kV 线路为高压配电线路。

对于输电线路而言,高压(high voltage, HV)是指  $220\text{ kV} \geq \text{额定电压} \geq 35\text{ kV}$ 。例如,电压等级 35 kV、110 kV、220 kV(均为最大线电压);超高压(extra high voltage, EHV)是指  $1\ 000\text{ kV} > \text{额定电压} \geq 330\text{ kV}$ ,例如,电压等级 330 kV、500 kV、750 kV(均为最大线电压);特高压(ultra high voltage, UHV)是指额定电压  $\geq 1\ 000\text{ kV}$ ,例如,电压等级 1 000 kV、1 200 kV、1 500 kV(均为最大线电压)。高压直流是指  $\pm 600\text{ kV}$  及以下的直流输电电压;特高压直流是指  $\pm 600\text{ kV}$  以上的直流输电电压。我国高压电网指 110 kV 和 220 kV 电网,超高压电网



指 330 kV、500 kV 和 750 kV 电网,特高压电网指正在开发的 1 000 kV 交流电压和 $\pm 800$  kV 直流电压电网。

构成架空输电线路的主要元件有杆塔、基础、导线、避雷线、绝缘子、拉线、接地装置和各种金具,它们都有各自不同的用途。

## 一、高压架空输电线路与电力电缆输电线路的区分

高压输电线路根据导线放置的位置不同,可分为电缆输电线路和架空输电线路。电缆输电线路多用于架空线路不能通过或不易通过的特殊区域,例如,海底电缆、过河电缆、矿井电缆、自然环境特别恶劣和城镇人口稠密区等。电缆输电线路是将电力电缆敷设在地下、海、河底下等隐蔽位置,不占空间。其缺点主要是造价高,施工维护不方便。

架空输电线路是采用输电杆塔将导线、地线悬挂在空间,使导线与导线之间、导线与地线之间、导线与杆塔之间、导线与地面障碍物之间保持一定的安全距离,完成输电任务。

架空线路与电力电缆线路相比具有以下显著的优点:①所用设备材料简单,易于加工制作,价格低廉,工程投资少;②本身结构简单,便于施工安装,工程建设速度快;③全部线路置于地面之上,便于巡视、检修和维护;④事故查找和处理时间短,可减少停电时间和电量损失;⑤线路的技术要求、绝缘要求较低,易于满足。

## 二、架空输电线路构成的基本元件及作用

构成架空输电线路的主要元件有杆塔、基础、导线、避雷线、绝缘子、拉线、接地装置和各种金具。

### 1. 架空线路杆塔

其作用是支持导线和避雷线,保证导线和避雷线在各种气象条件下都能保持对地和其他建筑物有一定的最小安全距离,确保送电线路不间断地向用户供电。

按杆塔采用的不同材料一般分为钢筋混凝土杆和铁塔;按受力





不同一般可分为直线型杆塔和耐张型杆塔；按用途不同一般可分为换位杆塔、跨越杆塔、转角杆塔和终端杆塔；按线路的回路数一般又分为单回线路杆塔、双回线路杆塔和多回线路杆塔。

钢筋混凝土电杆合理地利用了钢筋和混凝土两种不同材料的物理特性和力学性能，使它们有机地结合成一个整体。因此它具有强度大、耐久性好、节约钢材、运行维护方便等优点。在平原和运输条件好的地区得到广泛应用。钢筋混凝土电杆又分为普通钢筋混凝土电杆、预应力混凝土电杆和薄壁钢管混凝土电杆等。其中预应力混凝土电杆具有节约钢材、自重轻、抗裂性能好等优点得到广泛应用。薄壁钢管混凝土电杆具有体积小、承载能力大、刚度大、良好的塑性和韧性、抗震性能好、耐疲劳以及结构连接简单等优点，综合经济效益比较显著，在城市电网中得到应用。

铁塔是采用型钢制成的钢结构件。大多采用热轧等边角钢制造，用螺栓连接组装成的空间桁架结构。角钢铁塔具有强度高、制造方便、施工方法灵活多样、便于分散运输等优点，多用于受力较大的耐张杆塔、跨越杆塔和线路运输施工条件困难的地区。近年来，钢管铁塔也开始在部分线路中得到采用。钢管铁塔的空气动力性能、截面力学特性及承载能力都优于角钢铁塔，但加工工艺复杂，造价高于角钢铁塔。由于其具有结构简单、强度高、耐外力冲击强、施工安装方便、挺拔美观等优点，因而在城网改造中得到广泛应用。

## 2. 架空线路常用的杆塔型式

(1) 直线型杆塔 在正常情况下，仅承受导线、地线、绝缘子和金具等垂直荷载以及横线路方向的风力荷载，而不承受顺线路方向的张力荷载的杆塔。只有在线路发生事故断线时，直线杆塔才承受因悬垂绝缘子串偏斜而产生的顺线路方向的不平衡张力（断线张力）。由于直线杆塔承受顺线路方向不平衡张力的强度较差，因此，在发生断线事故时，直线杆塔可能会被逐个拉倒。

(2) 耐张型杆塔 又叫承力杆塔。在正常情况下，除了承受与直线杆塔同样的荷载外，还要承受更大的顺线路方向的拉力及因线路转角而产生的不平衡张力。在事故断线情况下还要承受因此而产生