

南京线路器材厂 程应镗

送电线路金具的

设计

安装

试验

和

应用



水利电力出版社

内 容 提 要

本书主要阐述了线路金具在设计、安装、试验和使用等方面常用的基本知识和实践经验。全书共分七章,包括联结金具的联结方式及连接件的计算,球头和碗头、U形环、U形螺栓及联板的设计;耐张接头类的耐张线夹、直线压接管、耐张压接管和钢绞线用的楔式耐张线夹的设计,耐张接头的型式试验;非耐张接头的接触面和接触电阻及影响接触电阻的因素,铜铝连接问题,各式接头的热效应;悬垂线夹类的线夹强度、握力及其电磁损耗,分裂导线的悬垂组合及直线转角塔上悬垂线夹的应用;均压屏蔽金具类的均压环、屏蔽环和裙角的设计,分裂导线自行均压和屏蔽的方法;机械保护金具类的防振锤、护线条、间隔棒和补修管的设计、安装、试验和应用;大跨越金具的特点、安装和使用等。此外,在附录中还列出了与线路金具有关的常用名词术语(中英文对照)和参考资料。

本书可供电力金具设计制造、线路设计、线路施工、线路运行等部门有关人员使用,也可供有关专业的教学、科研与外贸部门参考。

送电线路金具的 设计 安装 试验和应用 南京线路器材厂 程应镗

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 10.25印张 224千字

1989年6月第一版 1989年6月北京第一次印刷

印数0001—7990册

ISBN 7-120-00797-1/TM·218

定价5.60元

前 言

经过建国三十多年来线路建设和运行的实践，使人们深刻的体会到，送电线路的金具部件对线路整体的影响很大。可以说每一线路工程的优点和缺陷，节省和浪费，几乎都和金具相关，特别是每当更高电压等级的线路出现时，金具总是作为必须要解决的主要技术问题之一。金具的作用已经溢出了其本身的范围而影响到杆塔、导线以及绝缘配合，影响到整条输电线路的安全运行。因此，金具的设计、使用必须按整个线路的运行要求作全面的考虑。

本书是积几十年来，我国在金具设计、施工、运行方面的经验和教训，并在结合作者从事多年线路设计和金具设计等方面实际工作经验的基础上，参考了其他有关资料写成的。本书的插图蒙俞治伟同志协助绘制。电力规划设计管理局黄志明同志对全稿进行了审阅，并提出许多宝贵意见，在此一并致谢。由于作者水平所限，书中错漏在所难免，欢迎广大读者提出指正。

作者

1988年5月

目 录

前 言

绪 论 1

第一章 联结金具 7

第一节 联结方式的要求 7

一、悬垂串与横担的连接 9

二、耐张串与横担的连接 9

第二节 几种基本连接件的计算 11

一、销钉 11

二、眼孔 13

三、螺栓 14

第三节 球头和碗头设计 16

一、球头和碗头的尺寸须达到的要求 16

二、球头尺寸 18

三、碗头尺寸 19

四、球、碗头配合检查样板 21

五、碗头销子孔的尺寸 22

六、锁紧销子的尺寸 24

七、球头和碗头尺寸的严格检查 28

第四节 U形环设计 29

一、直腔U形环的强度计算 29

二、大肚子U形环的强度计算 29

第五节 U形螺丝的设计 30

一、受横向重复作用力的强度计算 31

二、垂直荷载强度计算 35

三、纵向荷载强度计算	36
第六节 联板的设计	36
一、二联板强度的计算	36
二、二联板的高宽比	38
三、三联板的设计	39
四、不对称三联板	40
第二章 耐张接头	42
第一节 耐张线夹	42
第二节 直线压接管和耐张压接管	50
一、液压的直线压接管和耐张压接管	51
二、爆压的耐张管和直线管	59
第三节 钢绞线用的楔式耐张线夹	67
第四节 耐张接头的型式试验	71
一、机械试验	71
二、电气试验	72
第三章 非耐张接头	74
第一节 接触面和接触电阻	74
第二节 影响起始电阻的因素	75
一、表面粗糙度	75
二、非耐张接头的压力	75
第三节 造成接触电阻随时间变化的因素	76
一、表面氧化	76
二、蠕变特性	77
三、腐蚀	79
第四节 彭雀导电油膏和国产801电力脂	81
第五节 铜铝连接	82
第六节 热效应	84
一、热循环试验	86
二、螺栓式接头的热稳定	88
三、压接式接头的热稳定	90

四、电流密度问题	91
第七节 电气型式试验和机械型式试验	93
一、电气型式试验	93
二、机械型式试验	94
第四章 悬垂线夹	96
第一节 悬垂线夹的强度和握力	96
第二节 线夹的曲率	99
第三节 几种线夹型式及对防振和偏转的考虑	102
一、中心回转式线夹出口处导线对线夹的相对悬垂角	105
二、提包式线夹出口处导线对线夹的相对悬垂角	105
三、上扛式线夹出口处导线对线夹的相对悬垂角	106
第四节 电磁损失	107
第五节 重锤	111
第六节 分裂导线的悬垂组合	111
第七节 架空地线用的悬垂线夹	116
第八节 直线转角用的悬垂线夹	117
第五章 均压屏蔽金具	125
第一节 均压环和屏蔽环	125
一、绝缘子串的电晕	125
二、均压环和屏蔽环的结构	129
三、利用分裂导线自行均压和屏蔽	130
四、干扰电平	133
五、可见电晕的目力观测	137
六、高海拔地区的电晕试验电压	138
七、其他金具的防电晕	139
第二节 招弧角	139
第六章 机械保护金具	142
第一节 防振锤	142
一、防振锤的作用及与其有关的因素	142

二、防振锤设计与试验.....	149
第二节 护线条	159
一、预绞式护线条的成型孔径	160
二、预绞式护线条的节距.....	160
三、护线条的丝径、长度和根数	162
第三节 间隔棒	163
一、间隔棒的种类.....	164
二、间隔棒的技术要求和试验项目	166
三、间隔棒的安装距离.....	186
四、间隔棒橡胶垫的电阻.....	201
五、碟形弹簧	213
第四节 补修管	218
第七章 大跨越金具的特点、使用与安装	219
第一节 耐张金具的使用和安装	219
一、蜗牛式耐张线夹.....	219
二、浇铅耐张线夹.....	220
第二节 悬垂金具的种类与应用	221
一、大跨越单导线悬垂线夹	221
二、大跨越分裂导线悬垂线夹	223
第三节 防振金具	223
一、大跨越防振装置的特点、使用与安装.....	223
二、防振装置的测试.....	226
三、对防振装置线夹的要求和改进.....	227
附录一 架空线路常用金具的简图、名称、用途和常用术语	229
附表1-1 常用金具的简图、名称和用途.....	229
附表1-2 金具及其有关的常用术语.....	262
附录二 常用参考资料.....	267
附表2-1 常见应废除的计量单位及其与法定	

计量单位的换算	267
附表2-2 抛物线和椭圆的画法	268
附表2-3 面积 A 的计算	269
附表2-4 体积 V 的计算	270
附表2-5 各种截面的力学特性表	276
附表2-6 部分绝缘材料的电气性能	292
附表2-7 非金属材料及部分金属材料的密度	293
附表2-8 粗牙普通螺纹基本尺寸	294
附表2-9 铜、铝材等级分类	296
附表2-10 铁素体可锻铸铁	298
附表2-11 球墨铸铁性能	299
附表2-12 普通碳素钢	300
附表2-13 铸造铝合金	302
附表2-14 盘形悬式绝缘子	306
附表2-15 旧制铝绞线及钢芯铝绞线规格	307
附表2-16 新制铝绞线及钢芯铝绞线规格	309
附表2-17 旧制GJ型镀锌钢绞线规格	312
附表2-18 新标准镀锌钢绞线规格	313
参考文献	315

绪 论

线路金具是架空电力线路上用的电力金具，是架空送电线路的重要组成部分。随着社会对电能的需求增加，送电电压越来越高，对金具的技术要求也更高了。

(一) 线路金具的基本要求

1. 线路金具必须有很高的可靠性

线路金具是关系到线路安全运行的重要部件。该金具的大部分是处在杆塔、绝缘子串、导线这个环链中，由于金具的失效和损坏，将导致线路的破坏和断电。所以，要求金具必须具有很高的可靠性。

随着线路电压等级的升高，线路金具的可靠性更加关系重大了，按照自然功率计算的线路输送容量如下：

电压等级 (kV)	35	60	110	154	220	330	500
自然功率(万kW)	0.3	0.9	3	6	12	34	95

功率的提高甚至超过了电压的平方比，一条500kV线路所控制的可能不止一个工业城市的用电，而是控制好几个工业城市的用电了，所以，对于高电压线路的金具应该给予更高度的重视。

金具的设计除了要考虑足够的强度外，还要避免使用脆性材料，因为脆性材料不能耐受冲击，而在施工放线和事故断线时都有冲击发生，只看到正常运行的情况，以为材料的韧性无关重要，将会导致金具损坏、线路瘫痪等严重后果。

2. 线路金具必须耐用

线路金具在露天环境下工作，常年累月经受风吹、雨

淋、日晒和冰冻，有的还经常受污染空气的腐蚀，而又不能时常更换，因此要有很好的保护涂层。对黑色金属而言，应采取镀锌保护，而为了获得坚固厚实的锌层，不采用一般的电镀而采用热浸镀锌。工件也必须适应热浸镀锌的条件。

对于橡胶类或合成材料，要注意其老化问题。对于受反复荷载作用的金具要注意其疲劳强度。

3. 要联结紧密防止松动

在机械传力的联结金具间，为了联结紧密，要有足够的承压面，避免点接触和线接触，要形成面接触。例如圆棒与圆棒的联结只有点接触。圆棒与圆环联结只有线接触。圆棒与平孔，或者圆环与圆环才能达到面接触。对于传送电流的金具要防止接触面的松弛，否则将要发热，导致失效。一切与导线连接的金具必须握紧，不允许松动磨损导线。

4. 金具联结要在所需要的平面内保证充分的转动灵活性

有的联结金具需要在几个方向转动，这一点是不能忽略的。例如悬垂绝缘子串要求在两个方向都能转动，因为导线受风吹和断线时都要摆动，不能转动的金具将产生巨大的弯曲应力而破坏。

5. 减少线夹类金具的电能损失

支撑载流导线的线夹类金具，还存在一个磁滞和涡流损失问题，这是一种电能的损失，并导致线夹过热和导线过热从而限制载流。磁滞涡流损失对于磁性材料（如铁和钢）是很大的，而对于非磁性材料可以忽略不计。所以，为了减少这一电能损失（这一损失基本上与电流平方成正比），对于大电流导线的金具，应该使磁性材料不成闭合环路，从而降低能耗。一般来讲，因采取措施而增加的投资能够在七年内从减少能耗中收回就是可取的。

关于金具采用的安全系数，是本书经常涉及的问题，根据《架空送电线路设计技术规程》的规定，金具在正常条件下的安全系数应不低于2.5，这是对破坏强度而言的。但有些金具须以变形来检验其强度。如销钉、U形螺丝、U形环等的安全系数则应是对屈服强度而言。根据对规程的理解，按屈服强度约为破坏强度的60%，则对屈服强度应取安全系数1.5。使用强度仍为破坏强度的40%，这与对破坏强度的安全系数2.5是一致的。这一问题特在此说明。

(二) 质量检查

还要提一下质量检验问题，线路金具的检验是要求严格的。检验工作按性质分为型式试验、抽查试验和全数试验三种。型式试验是验证设计特性的，它们通常进行一次，只在设计或材料变更时才重复进行。试验证明书要给出应有的型式试验的结果，作为合格的证据。试件要不少于三个，主要构造须与正式产品相同。因为是验证设计特性，型式试验的内容和方法便依各种产品而异，不能作统一的规定。最简单的型式试验可能只作机械强度试验，复杂的则要做电气试验、振动试验以及各种各样的疲劳试验，这在后面的章节中将分别述及。抽查试验是验证材料质量及工艺质量的，在交入库的每批金具中随机取出。抽查试验往往须破坏产品，所以抽查只抽取较小的比例，其规定是：同样的金具订货少于一百个时不适用抽查，多于一百个时，取试件的数量 P 的计算按下列公式。式中 n 是一批被检金具的批量。

$$\text{当 } 100 \leq n < 500 \text{ 时} \quad P = 4$$

$$\text{当 } 500 \leq n \leq 20000 \text{ 时} \quad P = 4 + \frac{1.5n}{1000}$$

$$\text{当 } n > 20000 \text{ 时} \quad P = 19 + \frac{0.75n}{1000}$$

试件应从经过适当的全数试验的金具中随机取出，用户有权进行挑选。如果这些试件符合试验要求，本批被认为是符合标准要求的，在有一个试样不合试验要求时，应以原数目加倍的试件再次试验。如果所有这些新试件符合试验要求，该批认为是符合标准要求的。但如有任何一个不合格，则该批就被认为是不符合标准要求的。

各类金具的抽查项目根据需要规定，简单列举如下：

(1) 联结金具：尺寸检验、机械试验（要求与型式试验的相同）和镀锌试验。

(2) 耐张接头：尺寸检验和镀锌试验。

(3) 非耐张接头：尺寸检验和镀锌试验。

(4) 悬垂线夹：尺寸检验、机械试验（要求与型式试验的相同）和镀锌试验。

(5) 均压屏蔽金具：尺寸检验、机械试验（要求与型式试验的相同）和镀锌试验。

(6) 机械保护金具：尺寸检验和镀锌试验。

全数试验是淘汰有缺陷的金具的，系用可行的方法逐个进行试验的。全数试验一般只进行主要尺寸和外观缺陷的检查，但对于联结金具、耐张线夹、悬垂线夹和均压屏蔽金具中的铸造及焊接加工的，且焊接处在运行中是受力的，加上等于规定最小破坏荷载的40%的抗拉负荷，并维持30s，经过试验金具应不损伤。均压屏蔽金具还只须瞬间的加荷即可。

根据建国以来我国在金具制造方面的经验，我国已经制订出了一套电力金具的国家标准，其标准号为GB2314-85至

GB2340-85。其中GB2314-85至GB2317-85为一般的设计和制造要求、荷重等级和试验方法等。GB2318-85至GB2340-85为已有运行经验的各种定型产品的产品标准。后来又增添了GB5075-85电力金具名词术语部分。

虽然电力金具已经有了这些标准，但是线路金具的根本任务应满足线路运行的要求。所以，不论是设计新金具、改进老金具、或者是处理有争议的问题，都应符合《架空送电线路设计技术规程》SDJ3-79的要求。

(三) 材料

金具的材料基本上是铁金属和铝金属，只有极少量的铜接头采用铜材。但是，从根本上说起来，金具的材料不应该限制在某一范围，而要根据需要而定，例如阻尼间隔棒就采用了合成橡胶作阻尼垫。在铁金属方面，前面已提到材料要有一定的韧性，所以，除一部分金具适合使用型钢外，都采用可锻铸铁，常用的为KT33-8，即强度 330N/mm^2 ，延伸率8%。对于大吨位的金具，当可锻铸铁强度不够时，则采用球墨铸铁或铸钢。只有对于只利用其重量的重锤和防振锤锤头才采用铸铁。铝金属方面，除一部分采用铝型材外，采用铸造铝和铸造铝合金。采用铝金属过去是出于对导电的要求。近年来，为了防电晕要求较光滑的表面、较复杂的造型以及减少线夹类的磁滞涡流损失，增加了铝金属的使用。纯铝的强度低而导电性好，铝合金则相反。例如铸铝强度只能达到 80N/mm^2 ，电阻率 $0.029 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ ，而ZL-102铝合金强度可达 140N/mm^2 ，电阻率则为 $0.0548 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 。在铝合金品种中，ZL-102的强度是较低的，但因其铸造性能好，且不需要热处理，遂成为金具常用的铝合金。但随着用户对金具要求的提高，各种高强度高导电率的铝合金品种

将会在金具中出现。

(四) 其他

本书正文共七章，除第七章大跨越金具外，按照一般分类方法分为六类分章阐述。但若以使用范围来分，则不能忽视“拉线金具”这一大类。拉线杆、拉线塔以其坚固可靠、节省投资的特点在我国和外国都已广泛使用，而随着超高压、特高压线路的发展，拉线塔的使用将会越来越增加，拉线金具在全线路金具中的数量所占比例将要提高。拉线金具是拉线塔可靠性的保证，不仅不允许断裂，即使是变形也是不允许的。拉线的联结方法、拉线金具的强度提高及拉线张力调节方法等都有着广阔的研究前途。拉线金具概括地说有四部分，即：握紧部分、联结部分、拉线假转部分和长度调节部分。目前拉线的握紧方法是：拉线截面 70mm^2 及以下的适于采用楔式线夹，截面 100mm^2 及以上的拉线由于假转困难则采用压接管。拉线的假转问题，用压接管不须假转，用楔式线夹则依楔块假转，没有采用专门的心形拉线垫环。至于调节方法都是靠U形螺杆上的螺帽来调节的。防止人们乱动调节螺帽也是一个重要问题，目前尚在研究中。由于楔式线夹和压接管已包括在第二章中，联结金具包括在第一章中，故未专门撰写拉线金具一章。关于预绞丝的拉线金具我国尚无实践，仅在预绞丝一节中作一简略介绍。

最后，为了使书中所提到的金具名称不致弄错，请利用本书后面的附录一附表1-1的“架空线路常用金具名称”随时查对。

第一章 联结金具

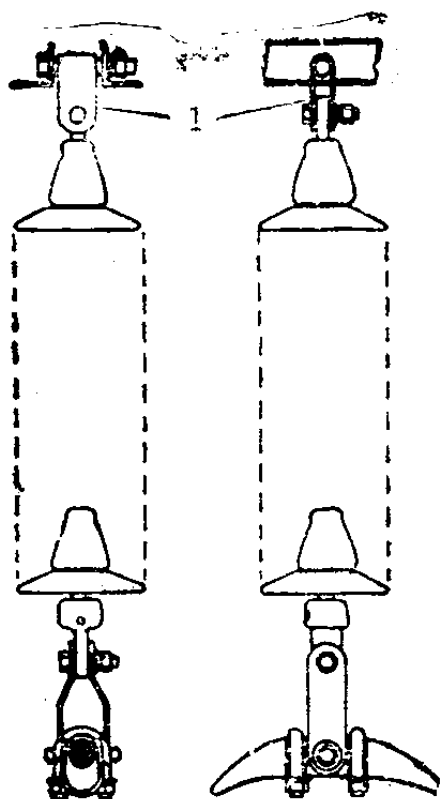
联结金具就是悬垂、耐张绝缘子串中和避雷线金具串中，除绝缘子片、线夹、均压屏蔽金具及机械保护金具外的所有金具。其基本任务是完成导线（通过绝缘子）与杆塔的联结。

联结金具的命名方法：为了明确易懂，采取对其两端分别表述的方法。例如，一端为双板另一端为碗头，即取名双联碗头；一端为双板另一端为单板，即取名双联单联等等。联结金具的种类繁多，但按其特点，可列出以下八类：球头和碗头、U形环、直角和平行挂板、联板、延长环和环板、调整板、U形螺丝、U形挂板和U形拉板等。

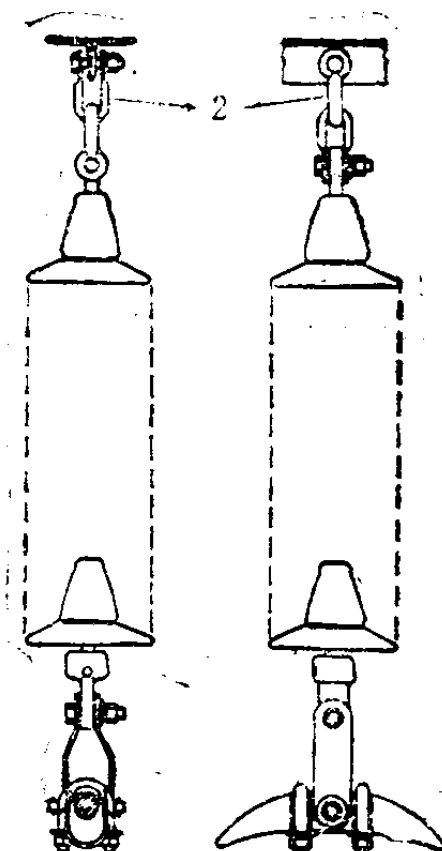
对联结金具要做的型式试验为机械强度试验。其方法是将金具固定在张力试验机中，其状态应尽可能接近于正常运行状态。应施加抗拉荷载等于规定的最小破坏荷载的75%，并以平稳的速度增加，在负荷小于规定的最小破坏荷载时不应发生金具的损伤。

第一节 联结方式的要求

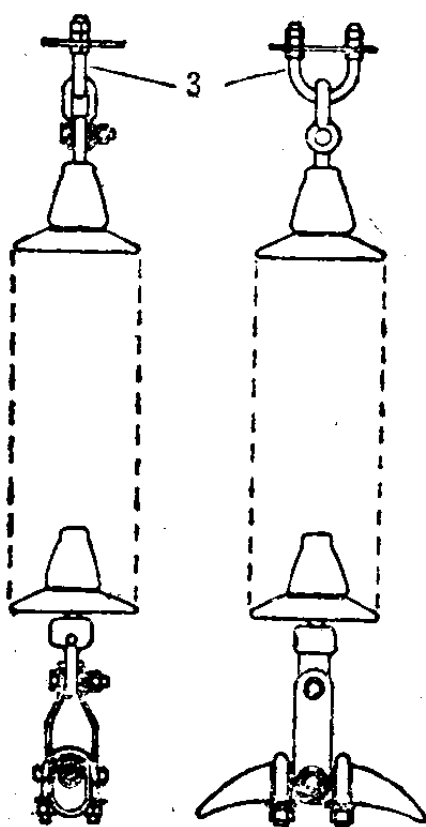
联结方式分绝缘子串的导线端与绝缘子串的杆塔端两部分。在导线端，与绝缘子相连的是碗头板，对其余零件的主要要求，就是要有“面接触”。在杆塔端，与绝缘子相连的是各类球头，对其余零件除了要求有“面接触”外，还要注意与



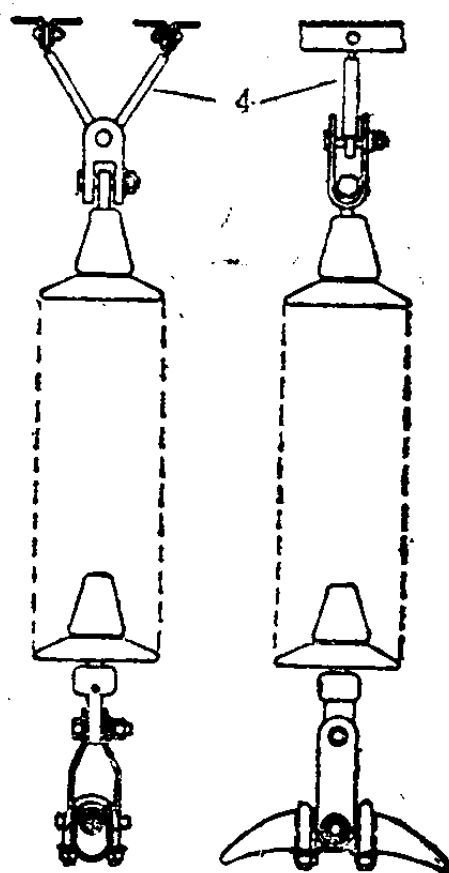
(a)



(b)



(c)



(d)

横担连接的方式，因为这关系到横担的结构问题，所以我们要重点讨论。

一、悬垂串与横担的连接

悬垂连接点要考虑两个方向的受力摆动：一个是比较经常的导线被风吹摆动，方向与线路走向相垂直；一个是偶然的断线事故，断线拉力方向与线路走向一致。在图1-1中列举的四种连接方式中，方式(a)有最好的适应性，在导线摆动时U形挂板产生的弯曲应力最小，而在断线时又没有弯曲力矩。横担上的承力点结构也简单，所以是最合理的方式。方式(b)在导线摆动时由于力臂较长，U形环将产生较大的弯曲应力，所以不好。方式(d)受力条件是好的，但造成横担承力点的结构复杂化而且增大绝缘子串的长度，一般只在当导线摇摆角太大使带电导线及绝缘子对横担的距离不够时才采用。方式(c)的受力条件不是太好，但由于它使杆塔结构简化因而得到应用。例如横担的两根主角钢并拢正好适合装上U形螺丝，可以使横担（或地线支架）设计成尖头，从而降低杆塔的造价。后面我们将讨论，在这种方式下，怎样正确地设计U形螺丝才能支持住导线摇摆所加给它的反复荷载。

二、耐张串与横担的连接

耐张串与横担的连接方式可列举三种，见图1-2的(a)、(b)、(c)。

显而易见，图1-2(b)、(c)图这类铰链式的连接最为

图 1-1 悬垂串与横担的连接方式

(a)U形挂板连接；(b)U形环连接；(c)U形螺丝连接；(d)V型延长杆连接

1—U形挂板；2—U形环；3—U形螺丝；4—V形延长杆