[绝缘导线]

大跨距中强度铝合金芯绝缘导线配电线路应用研究

文/刘　云　徐　睿
国网南通供电公司南通电力设计院有限公司

介绍了不同档距下绝缘导线的应用现状和问题，对大跨距中强度绝缘导线的弧垂特性、阻水功能、技术标准进行可行性分析，并具体研究了福建闽清试点工程中，杆塔、金具配置、绝缘配置及防雷接地。对中强度绝缘导线应用前景进行了展望。

随着经济的快速发展，我国对电力资源的需求不断攀升，用户对供电可靠性和电能质量的要求不断提高。目前，我国配电线路主要采用普通铝芯绝缘导线。在我国地域广、地理环境复杂的国情下，随着智能电网的建设，对配电线路的电能输送能力、功能特性及工程应用等方面有了更高要求。国家电网公司启动了大跨距中强度铝合金绝缘导线的试点工程——福州闽清35 kV店前变电站10 kV上莲线06#～09#段改造工程，这是中强度铝合金芯绝缘导线在全国范围内的首次应用。

绝缘导线应用现状

1. 铝芯绝缘导线应用情况

绝缘导线相对于电缆性价比高且易维护，相对于裸导线安全可靠性高，因此，在配电线路中大量使用架空绝缘导线。

档距80 m以下常采用普通铝芯绝缘导线，因为普通铝芯绝缘导线线路机械强度低、弧垂大。当档距增加时，铝芯绝缘导线出现断线、断股。

2. 大档距的钢芯铝绞线芯绝缘导线应用情况

档距80 m以上常选用JKLGYJ钢芯铝绞线芯交联聚乙烯绝缘架空电缆（简称钢芯铝绞线绝缘导线）作为配电线路用线。按照国网技术要求，当导体截面积为240 mm^2时，紧压后的钢芯铝绞线绝缘导线单位长度重量为1.238 kg，比普通铝芯绝缘导线增加0.292 kg，难以选择匹配的国网典型设计的杆塔，需设计新的杆塔，不仅给工程施工带来不便，工程造价也大幅提高。在实际工程应用中，大跨距的JKLGYJ钢芯铝绞线绝缘导线易出现断线、断股，阻水性能较低。

3. 大跨距中强度绝缘导线可行性分析

目前，80 m以上的大跨距配电线路多采用钢芯铝绞线绝缘导线，或者采用JL/G1A钢芯铝绞线（简称钢芯铝绞线）。找到一种综合性能优异、全寿命周期经济性更好的新型绝缘导线显得尤为重要。

（1）弧垂比较的基本条件

对比中强度铝合金芯绝缘导线和钢芯铝绞线绝缘导线的弧垂和张力，选取计算代表档距200 m。国网典型设计B类气象条件见表1。

表1　国网典型设计B类气象条件

项目	最高气温	最低气温	安装情况	外过电压	内过电压	大风情况	复冰情况	事故情况	年平均
气温/℃	40	－20	－10	15	10	－5	－5	0	10
风速/(m/s)	0	0	10	10	15	25	10	0	0
冰厚/mm	0	0	0	0	0	0	10	0	0

（2）弧垂特性比较

以10 kV配电网中常用的JKLHA3XZYJ-10/240绝缘导线为例进行对比说明，结构如图1所示。

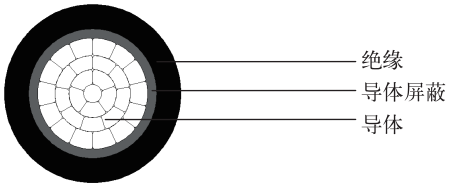


图1　10 kV配电网中常用的JKLHA3XZYJ–10／240绝缘导线结构

结合输电容量、地形和气象条件，该工程选择了两种截面积为240 mm^2的导线进行比较，分别是JKLHA3XZYJ-10/240中强度铝合金芯绝缘导线和JKLGYJ-10-240/30钢芯铝绞线绝缘导线。两种导线的主要技术参数对比见表2。

表2　两种导线主要技术参数对比

项目	中强度铝合金芯绝缘导线	钢芯铝绞线绝缘导线
导线型号	JKLHA3XZYJ	JKLGYJ
导体计算截面积/mm^2	244.6	280.05
导体外径/mm	18.3	20.3
电缆外径/mm	26.3	28.3
单位质量/（kg/m）	0.941	1.238
额定拉断力/kN	57.60	75.62
弹性模量/GPa	5.5×10^{-7}	7.05×10^{-7}
线膨胀系数/（1/℃）	23.0×10^{-6}	19.4×10^{-6}
拉力重量比	6.12	6.11
20 ℃直流电阻/（Ω/km）	0.123	0.124

1）等弧垂条件下的张力值对比。在两种导线的弧垂值接近相等的情况下，对比导线的张力特性对比见表3。

表3　导线张力特性对比的计算条件和结果

项目	中强度铝合金芯绝缘导线	钢芯铝绞线绝缘导线
导线型号	JKLHA3XZYJ	JKLGYJ
安全系数	3.2	3.5
导线弧垂/m	5.448	5.333
导线最大张力/N	18000	21606
与基准导线张力比值	基准	1.20

由表3中数据可得，当两种导线弧垂接近相等时，钢芯铝绞线绝缘导线的张力值是中强度铝合金芯绝缘导线的1.2倍。导线张力过大，普通的典型设计的杆塔无法使用，需要设计新的高强度杆塔，而中强度铝合金芯绝缘导线张力值可使用普通的杆塔，大幅降低安装敷设成本，为大档距配电网建设提供了优异的解决方案。

2）等张力条件下的弧垂值对比。在以上档距和气象计算条件下，两种导线的张力值接近相等，对比导线弧垂特性对比见表4。

表4　导线弧垂特性对比

项目	中强度铝合金芯绝缘导线	钢芯铝绞线绝缘导线
导线型号	JKLHA3XZYJ	JKLGYJ
安全系数	3.2	4.2
导线张力/N	18 000	18 004
导线弧垂/m	5.448	6.4
与基准导线弧垂比值	基准	1.17

由表4中数据可得，当两种导线张力接近相等时，钢芯铝绞线绝缘导线的弧垂是中强度铝合金芯绝缘导线的1.17倍。导线弧垂过大，往往要增加杆塔高度，导致工程整体造价偏高，而中强度铝合金芯绝缘导线可使用普通的杆塔，大幅降低了安装敷设成本，为大档距配电网建设提供了优异的解决方案。

（3）阻水功能

1）绝缘导线阻水需求原因。在绝缘导线大跨距的应用条件下，所使用的金具必须安装在剥皮的导线上，避免在大张力情况下挤压损伤导线绝缘层。导线剥皮后，虽有金具的绝缘罩以及绝缘胶带来恢复绝缘，但仍不可避免地存在绝缘导线内部线芯进水的情况。绝缘导线投入使用后，在较小的电压下产生电场畸变，引发水树枝现象。水树枝的生产相对较慢，随着水树枝的进一步生产，水树枝的电场更加集中，局部的高电场最终使水树枝产生电树枝。一旦形成电树枝，将造成绝缘导线绝缘在短期内被击穿，在雷雨天气引发档距中央雷击断线事故。

2）中强度铝合金芯绝缘导线阻水方法。架空绝缘导线在长时间的运行过程中遭受不同的气象条件，阻水是绝缘导线必备条件之一。在中强度铝合金芯绝缘导线的芯内采用半固态阻水膏进行填充，当水通过该导体时，阻水膏迅速膨胀，形成密实的固体状态，将所有缝隙填满，阻止水的纵向流动，实现导体的纵向阻水功能，避免绝缘导线受到水树枝的侵蚀，极大地提高了配电网架空绝缘线路的运行可靠性和绝缘导线使用寿命。这种阻水方法结构巧妙、生产简

单、成本较低且易于应用及推广。

（4）技术标准

对比的两种导线中，钢芯铝绞线绝缘导线可用于树线矛盾突出的较大使用档距的情况，但该导线未被录入现行国家标准、行业标准，无法找到相关的试验、检验的依据，同时线条张力和架线弧垂均较大，故不作为绝缘导线的主要类型推荐使用。

中强度铝合金芯绝缘导线早在GB/T 14049—2008《额定电压10 kV架空绝缘电缆》中已有具体要求。随着技术的进步和发展，中强度铝合金芯绝缘导线线芯部分在2012年国网企业标准Q/GDW 1816—2012 《中强度铝合金绞线》和2014年能源行业标准NB/T 42042—2014 《架空绞线用中强度铝合金线》中给出了明确的要求。2020年4月发布、2021年1月1日正式实施的JB/T 13795—2020《额定电压20 kV及以下中强度铝合金导体架空绝缘电缆》对中强度铝合金芯绝缘导线的导体中最小单线根数、绝缘厚度及导线拉断力均有明确规定。

国家电网公司企业标准《10 kV中强度铝合金导体架空绝缘导线》即将发布，标准中详细规定了交流额定电压10 kV中强度铝合金导体架空绝缘导线的使用特性、代号、型号、规格和产品表示方法、技术要求、试验、验收规则、包装、运输及贮存，为试点应用工程提供了依据和指导，并为中强度铝合金绝缘导线的推广和应用提供了有力的支撑。

由于现有的钢芯铝绞线绝缘导线张力和弧垂较大，中强度铝合金芯绝缘导线具有良好的机械特性与电气性能，节能效果较为出色，可作为配电网架空线路大跨距的首选导线。

试点工程应用

鉴于中强度铝合金芯绝缘导线所具有的技术优势，福建省电力有限公司应国家电网公司要求，将福州闽清35 kV店前变电站10 kV上莲线06#～09#段改造工程列为该导线试点应用工程，该线路是国内首条将中强度铝合金芯绝缘导线应用于200 m档距以上的线路。

1. 工程概况

（1）线路长度

该工程为改造线路，线路长度0.934 km，其中07#～08#+1塔两档大跨距采用中强度铝合金芯绝缘导线，07#～08#塔档距248 m，08#～08#+1塔档距248 m，海拔高度小于1 000 m。

（2）设计气象条件

该工程线路设计气象条件见表5。

表5 气象条件

项目	气温/℃	风速/（m/s）	覆冰厚度/mm
最高气温	40	0	0
最低气温	-5	0	0
年平均气温	15	0	0
覆 冰	-5	10	10
基本风速	15	27	0
安装工况	0	10	0
雷电过电压工况（有风）	15	10	0
雷电过电压工况（无风）	15	0	0
操作过电压工况	15	15	0
带电作业工况	15	10	0

2. 杆塔选用

该工程中大跨距杆塔选用《国家电网公司配电网工程典型设计10 kV架空线路抗冰抗台分册》2017版中的通用设计模块10D15-Z2、10D15-J3。

3. 绝缘子串

该工程导线耐张绝缘子串采用3片U70B/146盘形悬式绝缘子组装成串，采用单联单挂点组装形式；悬垂绝缘子串采用6片盘形悬式绝缘子串接。

4. 耐张金具

为了更好地观察该工程阻水型中强度铝合金芯绝缘导线与耐张线夹的匹配程度，其中一相导线采用预绞式耐张线夹，型号为NJ-70-240/JY，特点是不需剥除绝缘导线外绝缘层，导线紧线完成后可通过色标标记直接于导线绝缘层上逐一缠绕预绞丝，常温下握力可达导线拉断力的95%。

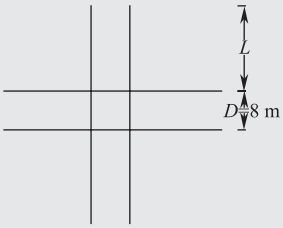
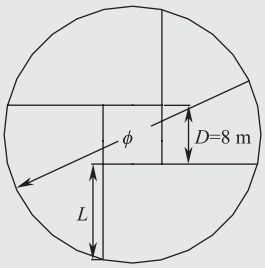
另外两相导线耐张线夹采用NLL螺栓型耐张线夹及配置防滑线卡，导线须采用剥皮安装，并且采用一种密封型耐张线夹绝缘罩，解决耐张线夹采用上引线时线夹绝缘罩进水问题。悬垂线夹采用预绞式悬垂线夹，型号为CLS-10kV-240。

5. 防雷接地

该试点工程位于强雷区，根据海拔1000 m及以下雷电冲击耐受电压350 kV，制定干弧距离为660 mm。直线塔采用提高干弧距离方式防雷，当悬垂串瓷绝缘子为5片时，干弧距离为770 mm，满足感

应雷要求，但直击雷起弧率仍有10%的概率使导线断线，为此将悬垂串瓷绝缘子由5片调整为6片，将起弧率降至6%左右。耐张塔安装固定间隙避雷器（内置柱式限压器），型号为J8YH10CX-13/40，避雷器通流容量选用10 kA。考虑较大受力情况下耐张瓷绝缘子的零值问题，将此耐张段两侧耐张串瓷绝缘子由2片调整为3片。该工程07#和08#铁塔接地采用方、圆环四射线接地装置，装置形式为4×16+ϕ40规格；08#+1铁塔接地采用方环八射线接地装置，装置形式为8×60规格；铁塔接地引下线采用ϕ12圆钢并应热镀锌防腐。接地装置参数见表6。

表6　接地装置参数

接地装置名称	方环八射线接地装置	方、圆环四射线接地装置
型号	8× 60	4×16+ϕ40
射线长度/（L /m ）	60	16
接地装置示意图		
ϕ10圆钢型号总长度/m	522 0	232.0
接地装置重量/kg	321.7	142 9
接地开挖方量/m^3	124.7	55.2
适用杆塔	8#+1	07#和08#

6. 基础配置

（1）工程地质地层分布情况

上部土层主要为坡残积台地的粉质黏土、砂土状及碎块状强风化砂岩。地层分布及岩性为：

1）粉质黏土。坡残积，灰黄色，稍湿，硬塑，黏性土为主，含大量石英砂颗粒，并含有少量石英砾石，厚度约2.5 m。

2）变粒岩。强风化，灰白色，晶屑结构，细纹状构造，呈碎块状，成分主要为石英，长石，厚度大于4.0 m。

（2）地下水情况

沿线属于山地地貌，地势较高，地下水主要为基岩裂隙水，靠大气降水补给，地下水埋藏较深，设计施工一般不考虑地下水的影响。根据区域经验，场地土对混凝土结构具有微腐蚀性，对钢筋混凝土结构中的钢筋具有微腐蚀性，对钢结构有弱腐蚀性。

该工程08#和08#+1塔采用掏挖式基础，07#塔采用灌注桩基础。

应用前景展望

中强度铝合金绝缘导线的直流电阻与铝芯、钢芯铝绞线芯绝缘导线一致，重量、耐腐蚀性与铝芯绝缘导线接近，拉断力是铝芯绝缘导线1.5倍以上，有利于提高绝缘导线的架设档距或运行安全可靠性。与钢芯铝绞线绝缘导线相比，该导线拉断力减小12%～35%，可避免铝钢电化学腐蚀，耐腐蚀性能更优。同时还具有等张力条件下弧垂小、等弧垂条件小张力小、抗蠕变和耐疲劳性能优异等特点。

福建大档距试点工程中，中强度铝合金绝缘导线及其配套附件的开发应用，积累了导线、金具、杆塔及防雷接地等方面的应用经验，为后期新版国家电网典型设计的编制提供了支撑。随着国家电网典型设计和国家电网企业标准的发布，中强度铝合金绝缘导线将广泛应用于大档距架空绝缘配电线路和重敷冰地区、各种增容或节能线路、树林茂密地区等配电线路中，同时档距有望突破250 m，可达300 m，解决了绝缘导线大跨距的技术难题。EA

（收稿日期：2022-10-10）

参考文献

[1] 梁宏光．浅谈架空绝缘导线在配电线路中的应用[J]．电力建设，2013，34(5)：223-224.