

# 高压输电电缆敷设方式的选择研究

曹凯

(国网武汉供电公司 湖北武汉 430062)

摘要：随着电力系统的快速发展，高压输电电缆在电力传输中的作用越来越重要。高压输电电缆的敷设方式对电力系统的安全、可靠运行具有关键影响。本文通过对不同敷设方式的分析，探讨了高压输电电缆敷设方式的选择方法，以期为电力系统设计提供参考。

关键词：高压输电电缆；敷设方式；安全性；可靠性

引言：高压输电电缆是电力系统中重要的传输设备，其工作状态直接影响电力系统的安全、稳定运行。敷设方式是高压输电电缆设计中的关键环节，选择合适地敷设方式对提高电力系统的运行可靠性、降低维护成本具有重要意义。

## 1 线路概况

本工程选用 YJLW03-127/220kV-1 × 2000mm<sup>2</sup> 型电缆，并配有双回路 6 股 XLPE 绝缘电缆，导线的最高容许温升为 90℃，是一种新型的输电方式。电缆的结构参数见表 1。这条 220 kV 线路从 1 号至 3 号线的地下洞道敷设，呈“品”字形，间隔 500mm。剩下的部分则是以直埋式的槽箱方式，水平布置，间隔 320mm。当遇到其他的地下管道和障碍物时，可将其穿入钢管中，管材为 HDPE，内径 200mm，外径 216mm；水平向下对齐，排距为 500mm。工程数据表明，该光缆通过 5 条公路时，采取了顶管的方法，顶管的深度为 5.5 m、6.0 m、8.0 m、5.92 m、3.5 m，长 66.75 m、114.3m、94.7m、84 m。两回线横向布置，层间间距 1.0 米，层间间距 1.0 米。本电缆线有 11 根中间节、2 根末端节，如图 1 所示，1~11 是中间节，m 是光缆分段。

表 1 电缆地结构参数

导体	导体材料	Cu
	类型	分割圆绞线
	导体截面 (mm <sup>2</sup> )	2000
	导体直径 (mm)	55
	导体 20℃ 下直流电阻 (Ω/km)	0.009
绝缘	材料	XLPE
	热阻系数 (K · m/w)	3.6
	介损正切值	0.009
	绝缘平均厚度 (mm)	25
	绝缘屏蔽层外径 (mm)	112
阻水带	材料	半导体缓冲阻水层
	波峰外径 (mm)	3.6
	厚度 (mm)	7
皱纹金	材料	Al

属套	波峰外径 (mm)	139
	金属套厚度 (mm)	2.9
外护层	材料	PE
	热阻系数 (K · m/w)	3.6
	外径	148.5

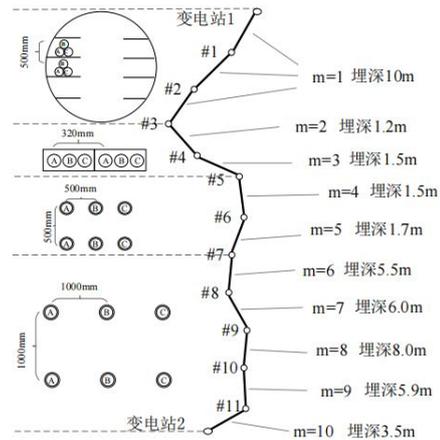


图 1 线路敷设

## 2 夏季输电瓶颈评估

利用三要素法，得到初始状态、稳定状态及时间常数，从而得到系统在任一时刻的响应。将一级电路阶梯激励的响应与瞬态电缆导线的温度进行比较，即可求出瞬态电缆导线的温度，计算方式见式 (1)。

$$\theta_c(t) = \theta_0 + W_c T + (\Delta\theta - W_c T) e^{-\frac{t}{T\theta}} + \Delta\theta_p + \Delta\theta_s + \Delta\theta_h + \Delta\theta_0 \quad (1)$$

其中： $W_c = I^2$  代表导线损失， $\theta_c(t)$ 、 $\theta_0$  表示导线在 t 时刻的温度，周围环境的温度；A=&o 代表导线在起始瞬间的温度升高。其中， $\Delta\theta = \theta_{c0} - \theta_0$ ，表示由其他线圈产生的涡流损失和环形损失， $\Delta\theta_0$  表示由外界热源导致的温度升高。

夏季是用电高峰时段，因此对其传输瓶颈进行研究显得尤为重要。针对这条电缆线位于车流密集的地区，车辆尾气等造成的道路表面温度很高，因此，在 1 米深的地方，选择了 33℃ 的参考地温作为参考，并且给出了 1200 A 的初始电流，通过各个区段的实际铺设操作，来

计算出具体线路上的导线温度。确定传输瓶颈区段，对线缆的负荷容量进行评价，如表 2 所示。现有的电缆载流计算未考虑土层温度变化和热阻系数的差别，普遍将大埋深上覆土层视为制约电缆载流的“瓶颈”。但是，由表 2 中的计算结果可知，对于具体的线路，在夏季连续负载时，其传输瓶颈区段是第三区段，也就是深度 1.5 m 的直埋区段。因地温高和布置间距小，直埋区段成了整条线路电缆的“瓶颈”。但由于大深度土层的低温，使得大深度顶管（6-10 区段）导线的温度偏低。瓶颈部分（分段 3）的负荷容量为 1286A，也就是 220 kV 线路的全部负荷容量是 1286A。

表 2 夏季持续符合各电缆段导体问题与负载能力

电缆段别 m	周边媒质 温度/℃	导体温度/ ℃	输电瓶颈 段	负载能力/A
1	31	50.0	3	1286
2	34	73.5		
3	34	77.9		
4	34	73.8		
5	34	76.0		
6	23	68.5		
7	23	69.8		
8	22	73.2		
9	23	69.6		
10	27	66.1		

3 冬季输电瓶颈评估

拟以 1200 A 的起始电流为基础，通过对某一段导线在冬季的传输过程进行数值模拟，并对其传输性能进行分析，确定传输瓶颈，对负荷容量进行评价，如表 3 所示。从表 3 可以看出，考虑到此线路的实际状况，在冬季连续负载时，最大的瓶颈区段是第八区段，也就是 8 m 深的顶管段。冬季地温与土层深度差异不大，而大深度顶管因其最大埋深的散热差异而成为整条管线的“瓶颈”。瓶颈部分（分段 8）的承载流量为 1347A，换言之，整个 220kv 线路具有 1347A 的持续负荷容量。

表 3 冬季持续符合各电缆段导体问题与负载能力

电缆段别 m	周边媒质 温度/℃	导体温度/ ℃	输电瓶颈 段	负载能力/A
1	31	50.1	8	1347
2	26	64.4		
3	25	67.4		
4	25	63.7		
5	24	64.7		
6	22	67.4		
7	22	68.7		
8	21	72.0		
9	21	67.3		

10	23	61.6		
----	----	------	--	--

4 输电瓶颈与负载能力时空特性

将表 2、3 的结果进行比较可知，此线路的铺设断面较大，但受土体的热力性质影响较小，且设置了通风系统来维持恒定的温度，在同样的负荷下，冬、夏两种情况下，导线的温度几乎没有变化。在直埋段、穿管段和顶管段的情况下，夏、冬两种情况下，导线在夏季的负荷容量要小于冬季。此线路夏季和冬季的传输瓶颈和负荷能力的比较情况如表 4 所示。从表 4 可以看出，在相同的恒定负载电流条件下，导线的最大温升区间会随着季节的不同而改变：在夏季，1.5 m 的直埋区间和冬季的大深度区间。主要是由于在夏季，随着土层深度的增大，地温显著下降；由于直埋段布置空间小，不利于散热，极易形成整条线路的“瓶颈”，且冬季地温上升，大埋深顶管段难以散热，极易成为“瓶颈”。在相同的负荷电流下，其持续负荷容量还存在季节性差异。冬天时，瓶颈段导线的温升要比夏天低，所以夏天的负荷容量要比冬天小。夏季是用电高峰时段，负荷容量偏小，因此，在夏季电缆线的传输瓶颈和负荷容量仍然是一个值得注意的问题。

表 4 夏季与冬季输电瓶颈与负载能力对比

	初始负荷 /A	输电瓶 颈段	敷设信息	导体温度 /℃	负载能力 /A
夏季	1200	3	1.5m 直埋	77.9	1286
冬季	1200	8	8.0m 顶管 敷设	72.0	1347

5 高压输电电缆敷设方式的选择方法

5.1 确定评价因素

根据敷设方式选择原则，需要考虑以下几个方面的评价因素：输电线路条件、电力系统要求、敷设方式的适用性和环境因素。首先，输电线路条件是选择敷设方式的重要依据之一。根据输电线路的电压等级、线路长度、地形地貌等因素，选择合适的敷设方式，以确保输电线路的安全稳定运行<sup>[1]</sup>。例如，对于高压输电线路，可以采用跨越式敷设方式，而对于低压输电线路，可以采用埋地敷设方式。其次，电力系统要求也是选择敷设方式的重要因素。根据电力系统的负荷特性、运行方式、可靠性要求等因素，选择合适的敷设方式，以满足电力系统的运行需求。例如，对于负荷波动较大的电力系统，可以采用可调节的敷设方式，以适应负荷的变化<sup>[2]</sup>。第三，敷设方式的适用性也是选择敷设方式的重要因素。根据敷设方式的技术特点、经济性、施工难度等因素，选择合适的敷设方式，以确保输电线路的建设质量和经济效益。例如，对于地形复杂的地区，可以采用隧道敷设方式，以降低施工难度和成本。最后，环境因素也是选择敷设方式的重要依据。根据敷设区域的自然环境、社会环境、生态环境等因素，选择合适的敷设方式，以保护

环境和促进社会和谐。例如,中国南方电网 2016 年度 35~500 kV 输电线路操作规范:110kV 及以上的新敷设电缆沟应为钢筋混凝土,而不应为砖混,高压传输电缆主要是架空光缆,尤其是架空线,其电缆沟为单面铺设,其设计净高度为 1800mm,净宽为 900mm,两侧铺设的净高为 1800mm、净宽为 1300 mm 及更高,其支架通常为 3000~5000 mm,电缆沟尺寸根据规划敷设电缆根数进行具体调整,采用整体浇筑形式,避免盖板存在缝隙及易被压坏等带来的弊端。

### 5.2 确定评价指标

针对每个评价因素,确定相应的评价指标,如线路走向、地形地貌、地质条件、输电容量、输电距离、可靠性要求、安全性、稳定性、经济性、环境保护、土地利用、社会影响等。首先,线路走向是一个重要的评价因素,需要根据线路的走向确定其对应的评价指标。这包括对地形地貌的了解,以确保线路能够顺利通过各种地形条件<sup>[3]</sup>。同时,也需要考虑地质条件,以保证线路的安全稳定。其次,输电容量和输电距离也是重要的评价因素,输电容量决定了线路的电力传输能力,而输电距离则决定了电力传输的效率。因此,需要根据这些因素确定相应的评价指标,以确保线路的输电容量和输电距离能够满足需求。最后,可靠性要求、安全性、稳定性、经济性、环境保护、土地利用、社会影响等也是重要的评价因素。我们需要根据这些因素确定相应的评价指标,以确保线路的可靠性、安全性、稳定性、经济性、环境保护、土地利用和社会影响能够满足需求。

### 5.3 制定评价标准

根据评价指标的重要程度,制定相应的评价标准,对于线路规划而言至关重要。这些评价标准应该综合考虑线路的技术性、经济性、社会性和环境影响等方面,以确保线路的顺利实施和长期稳定运行。首先,对于线路的技术性评价,应该重点关注线路的走向、地形地貌、地质条件等因素,线路的走向应该符合电力传输的要求,同时要尽量减少对周边环境的影响,地形地貌和地质条件则应该满足线路建设和运行的要求,保证线路的安全稳定。其次,需要根据线路的输电容量、输电距离等因素,评估线路的建设成本和运行成本,以确保线路的经济性。同时,我们还应该考虑线路的电力市场前景,预测未来的电力需求,以指导线路规划和设计。最后,需要充分考虑线路对周边社会环境的影响。例如,直埋敷设是指在电缆全长的上下相邻侧,铺设一层不少于 100mm 的软土层或沙层,并沿着电缆的整个长度方向,在电缆的整个长度上,要有一层不少于 50 mm 的防护板,防护板的材质为混凝土,并在防护板上铺设防腐、防蚁警示标志,方便在防止外力破坏的情况下,在电缆的周围设置明显的位置标记或标记<sup>[4]</sup>。在敷设管道、人井和建筑物的时候,为了避免水的进入,必须在管道内穿过

并堵住管道。由于电缆直接埋置后,将不需要进行任何的操作和维修,所以在施工前对电缆的施工和铺设技术提出了很高的要求,要对施工前后的整个过程进行严格的控制,防止在施工中对电缆造成损坏。

### 5.4 评价和决策

在选择最优的敷设方式之后,还需要进行详细的方案设计,以确保该方式能够顺利实施。首先,需要进行的是工程量的估算,包括各种材料和设备的需求量,以及人工成本等,这一步的目的是预估工程的总体投入,为后续的预算和资金筹措提供依据。其次,要进行的是施工方案的设计,包括施工步骤、施工方法、施工时间等内容。这一步的目的是确保施工能够按照预定的计划和质量要求进行,避免施工中的安全事故和质量问题。在设计完成后,还需要进行方案的评审和修改。这一步的目的是确保方案的可行性和合理性,避免在施工过程中出现问题。评审的过程应该由专家和相关人员进行,他们可以从专业的角度对方案进行审查,提出修改意见和建议<sup>[5]</sup>。最后,方案通过评审后,开始进行施工,在施工过程中,要严格按照方案进行,同时也要根据实际情况进行适当地调整。只有如此,才能确保施工的顺利进行,达到预期的效果。例如,保护管敷设规定,当单芯电缆为一条时,不能采用无隔离磁性线路的金属管,保护管直径宜为电缆外径的 1.5 倍,如果过小则不方便,在铺设前,要将防护管管口磨成光滑状,或者配置特殊的喇叭形,并将防护管内的杂物清理干净,以免在铺设过程中刮伤。电缆敷设完毕,工作井内防护管的管口必须封闭。为避免电缆串烧,防护管道间必须留有 20mm 的间隔。

### 结语:

高压输电缆敷设方式的选择是电力系统设计中的重要环节,本文通过对不同敷设方式的分析,提出了选择方法,为电力系统设计提供了参考,在实际工程中,应根据线路所经地区的地形、地貌、地质条件等因素,综合考虑选择合适的敷设方式。

### 参考文献:

- [1]李伟.超高竖井条件下高压电缆敷设技术[J].水电站机电技术,2023,46(07):96-98.
- [2]齐金龙,何光华,张志坚等.高压电缆线路高、宽度适位调节敷设方法[J].电工技术,2023(13):204-206.
- [3]林波,缪应东.深竖井高压电缆敷设安装研究与实践[J].云南水力发电,2023,39(05):74-78.
- [4]张帅,苏习灿,阎树勇.大倾角斜巷高压铠装电缆敷设技术研究与应用[J].煤炭科技,2023,44(02):161-163+167.
- [5]焦凝礼,彭路,刘焱冲.新型隧道式电缆沟高压电缆敷设成套装置的应用分析[J].大众用电,2022,37(04):58-60.