

Design Analysis of Long Distance Horizontal Directional Drilling Single Core High Voltage Cable

Kai Wei

Sinopec Petroleum Engineering Design Co., Ltd., Dongying, Shandong, 257000, China

Abstract

Buried high-voltage cables are an important transmission method for oil and gas field projects abroad. When long-distance heavy load power supply crosses obstacles such as rivers, long-distance horizontal directional drilling is often used, and single core high-voltage cables are used as cables; Unlike ordinary cable design, it often requires specialized design software for simulation calculations. In addition to electrical engineering, it also involves specialties such as crossing, materials, and stress, and requires detailed construction design plans to be completed in conjunction with construction. This requires significant investment and complex calculations. This article relies on a certain project and proposes a design scheme based on IEC and international standards, and describes various calculations and software used in the process, providing a foundation for subsequent design optimization.

Keywords

long-distance horizontal directional drilling; Single core high-voltage cable; IEC standards

长距离水平定向钻单芯高压电缆设计浅析

魏凯

中石化石油工程设计有限公司, 中国 · 山东 东营 257000

摘要

埋地高压电缆是国外油气田工程重要的输电方式, 当长距离大负荷供电穿越河流等障碍物时, 常常采用长距离水平定向钻, 电缆采用单芯高压电缆; 不同于普通的电缆设计, 常需要依托专门的设计软件进行模拟计算, 除了电力专业, 还会涉及穿跨越、材料、应力等专业, 并需要配合施工完成详细的施工设计方案, 投资较大且计算复杂。本文依托某工程, 基于 IEC 及国际标准, 提出设计方案并对过程中应用到的各类计算和软件进行描述, 为后续设计优化提供基础。

关键词

长距离水平定向钻; 单芯高压电缆; IEC 标准

1 引言

高压电缆进行长距离穿越时通常需要专门的计算, 本文针对实际工程案例, 探讨一种实际可行的方案, 为后续优化高压电缆设计、降低工程投资提供依据。

2 设计输入

2.1 工程简介

本工程位于非洲某国家, 为油气田产能项目, 从中心处理站 CPF 到井场 JBR02 采用高压电缆埋地供电, 中途穿越尼罗河, 尼罗河的穿越将采用非开挖技术, 考虑到尼罗河的敏感性、相关的 RAMSAR 区域, 以及在不可预见的地面条件下进行非开挖穿越水道的固有风险, 这是一项关键环节。

将尼罗河南部的中央处理设施 (CPF) 与尼罗河北部的 Jobi-Rii 油田 (JBR) 连接起来, 穿越尼罗河有生产管道、注水管道、光缆套管以及高压电缆的套管。

2.2 主要设计参数

前期阶段采用 3 根单芯铝芯电缆, 电压等级为 66kV, 负荷电流为 262A; 电缆截面为 500mm², 交联聚乙烯绝缘 HDPE 护套^[1], 穿越尼罗河之前为埋地敷设, 穿越尼罗河的地下路径长度为 1850.85m。

2.3 电缆穿尼罗河敷设方式

采用水平定向钻的方式穿越尼罗河, 电缆保护套管为 1 跟 16 寸的碳钢管 (钢套管定向钻及应力计算不在本文中详细论述), 16 寸碳钢管内部套 3 个呈品字形敷设的 $\phi 160$ 的 HDPE 管, 3 根电缆分别在 3 根 HDPE 管中敷设。

2.4 穿尼罗河高压电缆安装程序

定位绞车: 电缆绞车应放置在线路的一端, 并锚定, 使其在拉缆过程中不会改变位置。电缆绞车应能平稳 (无级) 调节拉索速度, 并应配备自动拉索力限制器, 当超过预设的

【作者简介】魏凯 (1988-), 男, 中国山东诸城人, 本科, 高级工程师, 从事电力设计研究。

力时，该限制器应自动关闭电缆驱动器。电缆绞车还应配备电缆实际拉力记录仪。电缆段应运送到卷筒上的安装地点。带电缆的卷筒应靠近电缆走线的末端，与绞车相对，使得待拉电缆从卷筒顶部伸出，卷筒轴线与走线轴线几乎垂直对称。在拉扯过程中，电缆从滚筒上脱落，既不被刚性拉紧，也不与地面摩擦。此外，电缆滚轮导轨的定位应尽量减少边缘的摩擦力，并防止电缆接触地面^[2]。安装时应注意避免超出弯

曲半径。

电缆夹头与钢丝绳末端的连接应通过旋转接头进行，该旋转接头消除了从接头的一部分到另一部分旋转运动的可能性。拉入管道的电缆应涂有润滑物质。电缆穿过管道时应使用润滑物质，以减小拉力。

拉力不应超过供应商提供的安全拉力。

电缆不能承受超过侧壁轴压力的侧压力。

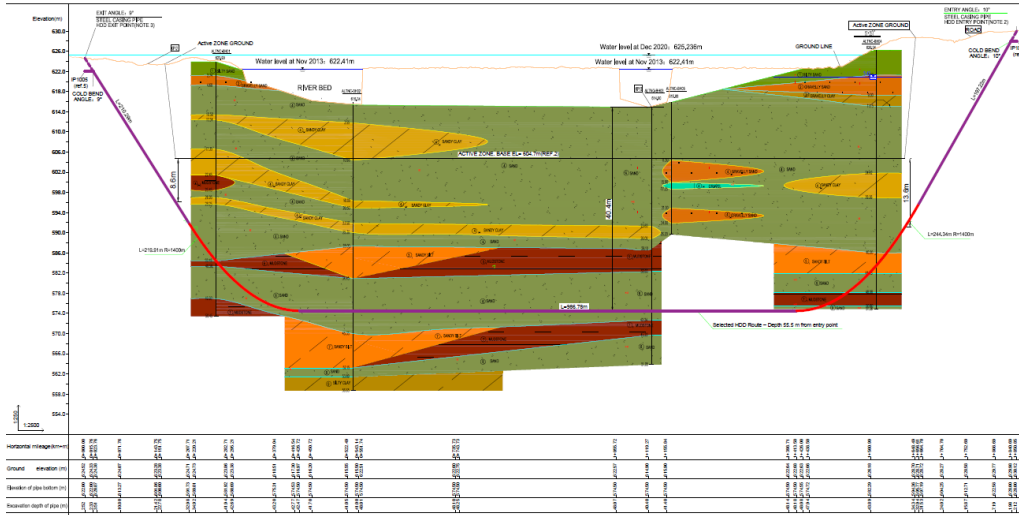


图 2.3-1 穿越尼罗河段纵断面图

2.5 电缆拉力计算

① 查阅供货商文件电缆最大可承受拖拉力为 $F_{max}=20kN$;

② 施工拉力计算 (电缆卷筒位于水平定向钻的出口点)

$$F_t = F_s + F_l + F_d + F_h + F_u$$

F_t - 总拉力;

F_s - 从电缆卷筒展开的拉力;

F_l - 在电缆护套上涂有润滑油时电缆水平段的拉力;

F_d - 下降部分的拉力;

F_h - 水平部分的拉力;

F_u - 上升部分的拉力;

$$F_l = w \times L \times \mu \times W = 280N$$

$$F_d = w \times L \times (\mu \times \cos \beta - \sin \beta) \times W = 32.92N$$

$$F_h = w \times L \times \mu \times W = 9805N$$

$$F_u = w \times L \times (\mu \times \cos \beta + \sin \beta) \times W = -350N$$

$$F_t = 10224N$$

w - 重量 (N/m)

L - 长度 (m)

μ - 摩擦系数

调整系数

β - 水平角

$F_t < F_{max}$, 可以满足要求。

2.6 电缆载流量验证

一般的电缆敷设是基于 IEC60502-2, 根据敷设条件对

电缆额定流量进行修正 (详见论文基于 IEC 标准的三芯电缆载流量调整计算), 然后与实际运行载流量对比验证, 这种方式简单可计算性强。

但是对于水平定向钻的敷设方式, 钢护套内有 HDPE, HDPE 里面敷设电缆^[3], 其中是有空气, 这种复杂的敷设方式难以用常规载流量调整系数进行修正。

载流量验证的实质是在实际运行电流在当前敷设条件下, 导体温升不能超过允许的限值。

本工程委托第三方使用 Flowsimulation 软件进行模拟, 在最恶劣情况下, 电缆导体最高温度为 61.49°C, 小于选用的铝芯导体 90°C, 可以满足要求。

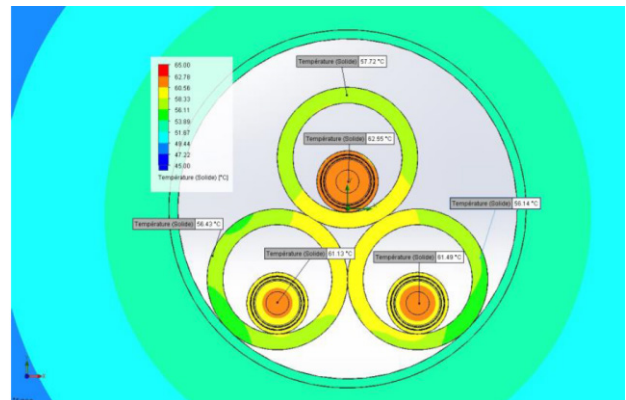


图 2.6-1 电缆最恶劣情况导体温升图

2.7 电缆短路电流验证

对于电缆，从 0.1 秒到 1 秒，最大短路值与电缆的最大承受的短路值进行比较，但 0.4 秒时的值（对于该项目）决定了电缆的适应性。验证结果如下，是可以满足要求的。

Short-circuit duration (s)	Short-circuit Ith (kA)	Cable Short-circuit withstand (kA)	Validation
T = 0.1 s	2.62	149.4	OK
T = 0.3 s	2.32	86.2	OK
T = 0.5 s	2.26	66.8	OK
T = 1 s	2.21	47.2	OK

图 2.7-1 电缆短路耐受电流验证结果

2.8 电缆压降验证

本项目电缆压降要求不低于 2%。水平定向钻的高压电缆所在的 66kV 回路电缆总长度为 15726m。验证结果如下，可以满足要求。

Cable	Size	Working Current	Cos Phi	Voltage Drop ΔU	Voltage Drop from source	Result
Branch JBR						
From Transformer 33/66kV CPF To Switchboard 66kV - JBR-02	1 cable 3x1C500PAL 15726 m	262 A	0.9	711.3 V 1.08 %	711.3 V 1.08 %	OK

图 2.8-1 电缆压降验证结果

2.9 外护层感应电压验证

流过电信电缆导体的电流会在金属评比中产生电流，而金属评比则取决于

铺设安装方法。

对于长电缆，为减小屏电流和感应电压，将水平定向钻的电缆和两侧的两段电缆划为一个单元，采用交叉互联的方式。

电路必须分成三个部分（每段 2042m），以使每个相电缆的护套能够连接起来，彼此以一致的模式。理想情况下，这些部分包含每个相位电缆护套的长度相等。这种布置要求每个三截面都有特殊的接头，其中包含可中断的绝缘中间头。在每个接头套管上使用绝缘连接引线来互连指定顺序的外护层引出线。这导致每个三部分有三个独立的护套电路，

这些护套电路每一相位电缆的长度相等。相位抵消效应，导致相对低水平的感应屏电压和非常小的循环电流。

采用 IEE std575附录 D 中的公式，由第三方进行了验证，在最恶劣情况下考虑一定的裕量，是可以满足要求的。

2.10 综述

除了以上方案的计算和模拟，按照需要还会通过软件对电磁强度、电缆相序电缆进行验算和模拟，这些要求与普通的电缆敷设方式是类似的，本文不进行详细的论述。

另外，对水平定向钻管线一般都是有详细的应力计算的，而电力电缆有所不同，一般需要简单的弯曲应力计算并考虑热胀冷缩的长度预留。

对比国内电缆的方案和设计，通常依据 GB50217-2018《电力工程电缆设计标准》或设计手册进行计算，国内的计算可操作性强，要求也是准确容易判断的，但是对于复杂的敷设方式，国内标准并没有给出详细的计算，这种特殊情况是需要专门的软件进行详细模拟计算的。

3 结论

高压电缆水平定向钻方案涉及电力、应力、材料、定向钻等各个专业，同时对施工方案也有特殊要求，应当编制相近的设计图纸和施工方案，对涉及的计算采用软件模拟或详细的公式计算，保证计算结果得当，方案可行。软件模拟常常需要用 ETAP、ELEK、Flowsimulation、Ple4Win 软件进行模拟完成。

参考文献

- [1] IEC 60502-2, Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1kV(Um=1.2kV) up to 30kV(Um=36kV)-Part2:Cables for rated voltages from 6kV(Um=7.2kV) up to 30kV(Um=36kV),International Electrotechnical Commission
- [2] 基于IEC标准的三芯电缆载流量调整计算[J].大众科学.
- [3] 李露露,李永培,张明保,等.新型高压单芯电缆特殊接地方式及其综合性能分析[J].电网技术,2024,48(12):5169-5178.