

500kV 淄博 ~ 滨州黄河大跨越设计探讨

汤 涛 何桂明 李如振 高 戟
山东电力工程咨询院, 山东 济南 250013

摘 要: 主要从跨越点选择, 设计气象条件, 导线和避雷线选型、绝缘配合和塔头布置等方面对 500kV 送电线路大跨越设计作了初步探讨。希望对今后送电线路工程中跨越设计起到抛砖引玉的作用。

关键词: 大跨越; 设计; 工程

中图分类号: TK723.7 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-9904(2004)01-0041-05

0 概述

500kV 淄博 ~ 滨州(黄河北) 变电线路黄河大跨越段长度为 3.08km, 大跨越档长 1050m, 是我省设计的第一条大跨越线路, 现已投入运行一年。设计中分别对跨越点选择, 设计最大风速及覆冰厚度、导线和避雷线选择、塔头间隙以及导线防振、防舞动等方面进行了设计优化。

1 黄河跨越点的基本情况

黄河历史上是一条变迁性河流, 河面宽阔, 主槽不稳定, 要选择河面窄、主槽稳定的跨河点极不容易。本工程在跨河点选择上采用卫星遥感影像和航测地图, 对黄河跨越点进行了多方案比较, 来优选路径方案和优化路径。对拟推荐方案进行地质钻探; 在实测资料的基础上, 对跨河方案进行了计算和比较, 优化跨河设计。

最终确定的方案: 跨越点在刘春家东, 西纸坊和小阮家之间。该方案黄河大堤间距离 1610m, 现主槽宽度约 400m, 主槽变化范围宽度 640m; 现滩地宽度约 1210m。本段河道自七十年代以来至今, 主流线无大变化, 河道平面形态较稳定。两侧大堤外均有淤背工程。此方案附近河道主流受控于两案险工、控导工程的约束, 河势稳定, 便于立塔跨越。

该方案主槽冲刷深度为 16.0m; 左岸滩地冲刷深度为 3.5m; 50 年后滩地淤积厚度为 2.67m。

黄河跨越段长度约 3.1km, 跨越方案采用耐-直-直-耐方式, 确定主槽跨越档距 1050m, 河滩地内立一基, 两大堤淤背外各立一基。

2 设计气象条件的选择

2.1 设计最大风速

本工程黄河大跨越段位于淄博市的高青县和滨州市(北镇)之间, 距高青县城较近。根据高青、北镇气象台站的年最大风速资料, 经整理换算后, 离地面 10m 高处、30 年一遇、50 年一遇、10min 平均最大风速如下表:

表 1 高青北镇最大风速表

气 象 台 (站)		高 青	北 镇
风 速 m/s	30 年一遇	24.14	24.24
	50 年一遇	25.62	24.21

根据以上气象台站的风速统计计算结果, 以距离本跨越处位置最近的高青气象站为主要参考, 分析采用设计最大风速如下:

高青气象站 50 年一遇、离地面 10 米高、10 分钟平均最大风速值为 25.62m/s, 计及大

跨越风速增大系数 1.1 及水面提高系数 1.1 后,取 $25.61 \times 1.1 \times 1.1=31\text{m/s}$ 。参考我省多条 500kV、220kV 线路黄河跨越设计的气象条件及运行经验,本工程黄河大跨越段设计最大基准风速拟取 10 米高度基准风速为 31m/s。

根据各气象台站的历年大风记录的同时气温情况,最大风速时的气温取为 -5 。

2.2 最大设计冰厚

本工程跨越点附近地区近 50 年来没有发生过大的电线覆冰,一般年份无覆冰或覆冰轻微,最大覆冰厚度不超过 10mm。

位于本跨河点黄河下游 15km 的 220kV 辛(店)—北(镇)线黄河跨越处的覆冰厚度为 10mm,验算冰厚为 15mm;位于本跨河点黄河下游 15km 的 220kV 沾(化)—胜(利)线黄河跨越处的覆冰厚度为 10mm,验算冰厚为 20mm。

根据上述情况,参考我省多条 500kV、220kV 线路黄河跨越最大设计冰厚的取值和运行经验,黄河大跨越段最大设计冰厚按大跨越设计标准,较一般地段线路增加 5mm,设计冰厚取 15mm。参照附近 220kV 线路的设计及以上地区的覆冰情况,考虑到 500kV 线路黄河跨越的重要性,为安全计,拟按稀有覆冰 25mm 进行验算。

最终采用的气象条件见下表 2。

表 2 气象条件

计算情况	气温 ()	风速(m/s)	冰厚 (mm)
最高气温	40	0	0
最低气温	-20	0	0
平均气温	10	0	0
设计覆冰	-5	15	15
验算覆冰	-5	15	20
最大风速	-5	31	0
安装情况	-10	10	0
工频电压	-5	31	0
雷电过电压	15	10	0
操作过电压	15	16	0
带电作业	15	10	0
事故情况	-10	0	0
不均匀脱冰	-5	0	25 ~ 50 覆冰
舞动情况	-5	15	5

注:1 表中各风速值,均为换算到历年平均最低水位以上 10 米处之值。2 年雷暴日数为 40。

3 导线和地线的选型

3.1 导线选型

本大跨越工程的导线,根据载流量、电晕条件、张力弧垂特性、制造条件以及施工、定货、建设工期等工程的实际情况,并结合铁塔的设计条件,参照国内相似的大跨越工

程，通过技术经济比较，全面衡量予以选择。

本工程对加强型钢芯铝绞线 LGJ-400/95、加强型铝包钢芯铝绞线 JL/LB1A-400/95、加（特）强型钢芯热处理铝镁硅稀土合金铝绞线 LH₆GJ-400/95 三种导线进行了分析比较。

3.1.1 三种导线物理特性参数如表 3

表 3 三种导线物理特性比较

导线名称	钢芯铝绞线	铝包钢芯铝绞线	钢芯热处理铝镁硅稀土合金绞线
型号	LGJ-400/95	JL/LB1A-400/95	LH ₆ GJ-400/95
结构	铝股 30 × 4.16 钢芯 19 × 2.5	铝股 30 × 4.16 钢芯 19 × 2.5	铝股 30 × 4.16 钢芯 19 × 2.5
综合截面/mm ²	501.02	501.02	501.01
铝截面/mm ²	407.75	407.75	407.75
钢截面/mm ²	93.27	93.25 (铝包钢)	93.26
铝钢截面比	4.372	4.372	4.372
直径/mm	29.14	29.14	29.14
弹性系数(N/mm ²)	78000	78000	78000
温度线膨胀系数(1/°C)	18E-6	18E-6	18E-6
综合质量(kg/km)	1.860	1.7462	1.8574
计算拉断力/N	171300	177200	226010
拉力质量比/m	2297	2458	2947
20 °C 直流电阻(/km)	0.07087	0.06577	0.08228
允许载流量/A	742	771	742

三种导线的铝截面相同，载流量相差不大，可认为三种导线电气性能，即输电能力相同。

3.1.2 各种导线方案的塔高及经济比较

各种导线在正常运行气象条件下的抗拉安全系数不小于 2.5；导线的设计平均运行应力取为抗拉强度的 20%。

塔高由最大载流线温的弧垂控制，按上述应力选择原则和各种导线的最大载流线温计算所得的各导线方案跨越主槽段的塔高见下表 4。

表 4

导线方案	LGJ-400/95	JL/LB1A-400/95	LH ₆ GJ-400/95
方案编号	I	II	III
允许线温(°C)	90	90	90
应力控制条件	覆冰	覆冰	平均气温
铁塔呼高(m)	122	118	101

通过比较,使用 LH₆GJ-400/95 导线可有效降低铁塔呼高,经济性较好。

对稀有覆冰 25mm 情况进行验算表明,所选导线的最大应力不超过抗拉强度的 60%。

根据以上计算及比较,本工程导线拟选用加强型钢芯热处理铝镁硅稀土合金绞线,其型号为:LH₆GJ-400/95。

3.2 地线选型

在一般情况下,大跨越地线由机械强度方面的要求所控制,使得其截面要大于一般线路,因而地线载流时的热稳定当比一般线路好。因而本工程的地线将根据合理的地线架高度来选择恰当的截面。一般的镀锌钢绞线,价格比较便宜,机械强度高,但防腐能力较差,使用寿命短。若采用经特殊处理的铝锌合金镀层钢绞线,能解决防腐及使用寿命短的问题,但目前国内的生产厂家尚无能力生产 GJ-150 相当的截面及以上规格的产品。基于以上情况,而采用引进国外先进工艺和产品企业标准并获得专家评审通过的铝包钢绞线,作为本工程的地线方案。

按照防雷保护要求和均匀脱冰时,地线最低点不应低于导线的要求,与本工程四分裂导线配合的地线型号为 JLB1A-150。

4 绝缘配合及接地

4.1 污区划分和绝缘配备

根据[1999]山东省污区等级划分图及现场实际情况,全跨越段为二级污区。

4.2 导线悬垂绝缘子串片数的选择

本黄河大跨越跨越高塔的悬垂绝缘子片数将根据以上计算结果和规程中“全高超过 40m 有地线的杆塔,每增高 10m,应增加一个绝缘子”的要求,考虑到跨越塔比较高,将来运行检修比较困难,故考虑跨越塔适当加强绝缘。

根据跨越段所处的地质情况,冲击接地电阻可以做到 3 欧姆以下,按此确定各跨越塔的绝缘子片数为 33 片(绝缘子选用 CA882EZ 普通型瓷绝缘子):

4.3 导线耐张绝缘子串片数的选择

一般地区绝缘子串二级污区用 300kN、标准型瓷绝缘子 25 片,爬电比距 2.525cm/kV 的配备,由于大跨越耐张串维护较为困难,同时考虑在耐张塔上耐张绝缘子串及跳线绝缘子串的冲击绝缘强度按“差绝缘”方式配合,以减少在耐张塔绝缘子串上的闪络。故选取耐张绝缘子串为 28 片 CA-590EZ 悬式普通型瓷绝缘子。

5 塔高及塔头布置

5.1 塔高确定

黄河跨越段长度约 3.08km,跨越方案均采用耐-直-直-耐方式,主槽跨越档距 1050m,河滩地内立一基,两大堤淤背外各立一基。

塔高=通航水位+桅杆高度+间隙距离+定位裕度+绝缘串长+电线弧垂-杆塔高程-基础抬高

有关数据见下表 5。

控制条件：通航水位

导线型号：LH₆GJ-400/95

表 5

	堤外	堤内
杆塔位置高程(m)	14	17
基础抬高(m)	3	5.5
绝缘串长(m)	7	7
通航水位(m)	23.86	23.86
桅杆高度(m)	15	15
间隙距离(m)	6	6
定位裕度(m)	3	3
90 电线弧垂高程(m)	64.05	67.14
塔高	101.9	99.5

根据以上计算结果,为便于设计施工,两基跨越塔呼称高可取 101m,全高为 122.5m。

5.2 跨越塔头布置

5.2.1 导线线间距离

5.2.1.1 导线水平线间距离

导线水平线间距离按《架空送电线路大跨越设计技术规定》(试行)中的水平线间距离公式进行计算:

$$D = 0.4L_k + \frac{U}{110} + K\sqrt{f}$$

式中: L_k -----悬垂绝缘子串长度(m);

U -----线路电压(kV);

K -----系数,取 0.8-0.9;

f -----导线最大(载流温升时)弧垂(m)。

根据以上公式计算,并计入子导线间距后的水平线间距离并考虑一定的裕度,取为: 15m。

5.2.1.2 导地线垂直线间距离

导地线垂直线间距离除满足防雷保护要求外,还应满足不均允脱冰时的要求:

当地线全覆冰,导线脱冰 50%时,地线不得低于导线,且导地线之间的静态接近及动态(脱冰跳跃)接近均能满足相应的绝缘间隙要求。

5.2.1.3 导地线间的水平位移

按《架空送电线路大跨越设计技术规定》(试行)中的规定:导线间、导、地线间的水平位移按子导线中心计算,取3m。

5.2.2 跨越塔空气间隙的选择

对工频电压和操作过电压时的空气间隙,按《110~500kV 架空送电线路设计技术规程》(DL/T 5092-1999)中的规定。雷电过电压时空气间隙的选择,应与悬垂绝缘子串的冲击绝缘强度相配合。跨河直线塔高101m,选取33片防污型高度为155mm的瓷绝缘子,绝缘长度为5.115m,以该绝缘子串正极性雷电冲击电压50%的0.85倍值,并参照平洛大跨越和阳淮线东明大跨越采用的空气间隙数值,按照本工程绝缘水平的具体情况相应取值,各种情况的空气间隙值详见下表6。此外,带电作业时空气间隙满足3.2m,相应的人体活动范围按照0.5m校验,同时风速取为10m/s。

表6

检验情况		空气间隙(m)	同时基准风速(m/s)
工频电压		1.3	31
操作电压		2.7	16
雷电过电压	K1-1	4.4	10
	K1-2	4.4	10
	K1-3	4.0	10

注:K1-1、K1-2、K1-3分别为三基直线塔。

5.2.3 跨越塔头布置

导地线在塔上的布置,除综合满足上述各项间距要求外,还考虑到当导地线发生舞动时,它们之间应保持的绝缘间隙,以及杆塔结构布置的合理性。本工程选择单回路直线塔为酒杯型塔。

6 导地线防振和防舞动措施

6.1 导地线的防振措施

由微风引起的高频率、小幅值的自激振动,对大跨越导地线而言,由于电线本身张力大、档距大、悬挂点高、架设地段的地形开阔平坦,因而较一般地段的线路容易诱发产生,而且振动强度高、振动频带宽,这就对防振设计有更高的要求。

从以往建成的国内外大跨越线路工程的运行经验来看,采用合适的阻尼线并适当配置防振锤的联合方案,加上护线条和消振性能好的阻尼间隔棒,能够取得良好的防振效果。

6.1.1 抑制微风振动的措施

参照500kV平洛大跨越和500kV阳淮线东明大跨越防振设计,对大跨越四分裂导线采用阻尼线加防振锤的措施。线路运行证明导线采用阻尼线加防振锤的措施是安全可靠的。

地线无间隔棒的牵制作用,疲劳振动比导线严重,因而采用阻尼线加防振锤的联合防振措施。

阻尼线线夹采用中南电力设计院首创的交叉阻尼线夹,该产品经数十年的运行经验证明,防振效果显著。

6.1.2 抑制次档距振荡的措施

本工程黄河大跨越档距为1050m左右。按绝缘子金具串组合的要求,对四分裂导线,选

用导线的分裂间距为 450，与一般段线路相同。

为了进一步减少次档距振荡的强度，除选用防振性能较好的间隔棒外，还考虑用减小次档距长度的方法，来减小导线振荡的能量和增加间隔棒吸收的能量，从而把次档距振荡抑制在安全限度内。

6.2 防舞动对策

多年来，在送电线路路上，不时有观测到电线舞动的报道，我国 1988 年中南地区 500kV 中山口大跨越发生舞动，造成重大损失。因此对可能发生的导线舞动，应尽可能采取一些防止发生舞动的措施。本工程拟采用以下抗舞动措施：

适当加大线间距离，防止发生舞动时电线间发生鞭击损伤电线。

增加铁塔的抗舞动强度。

加强金具设计，如悬垂线夹采用握着力强的固定型悬垂线夹，与横担联接的金具采用转动性能较好的耳轴挂板和加强措施等。

新设计一种小人联板，以代替普通的三联板连接方式。

6.3 间隔棒

本工程四分裂导线的分裂间距为 450mm，因而可采用通用的阻尼间隔棒。

注：本文发表在《山东电力技术》2004 年第 1 期