1 概述

1.1工程概况

1.1.1 建设规模

海东红狮半导体有限公司郭隆—红狮330kV供电线路工程，起于已建的郭隆750kV变电站，止于在建的红狮330kV变电站，两端变电站出线侧采用同塔双回出线，其余线路段均采用单回路架设，推荐路径长度约24.5km，航空距离为19km，沿线海拔高度在2200-2900之间，曲折系数为1.29。推荐路径均位于青海省海东市互助土族自治县境内。

另，由于郭隆变出线侧走廊比较拥挤，本次采用同塔双回路出线方式，单侧预留，为减少后期预留线路架设时郭隆-红狮330kV陪停时间，本次郭隆变出线侧同塔双回路段预留侧线路同步架设。

设计基准风速取25m/s，覆冰厚度10mm。导线采用4×JL3/G1A-400/35型钢芯高导电率铝绞线，地线采用两根OPGW光缆。

线路沿线污秽等级按照d级污区上限设防。

依据本工程沿线地质情况，本工程采用的基础形式有挖孔桩基础和钻孔灌注桩基础。

1.2 设计依据

1.2.2 遵循的主要规程、规定

1）《110～750kV架空输电线路设计规范》（GB 50545-2010）；

2）《架空输电线路电气设计规程》（DL/T 5582-2020）；

3）《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》（GB/T50064-2014）；

4）《架空输电线路杆塔结构设计技术规程》（DL/T5486-2020）；

5）《架空输电线路基础设计技术规程》（DL/T5219-2023）

6）《钢结构设计标准》（GB50017-2017）；

7）《混凝土结构设计规范（2024年版）》（GB50010-2010）；

8）《高压架空送电线路无线电干扰计算方法》(DL/T691-2019) ；

9）《国家电网公司物资采购标准高海拔外绝缘配置技术规范》；

10）《国家电网公司输变电工程通用设计500（330）kV 输电线路分册》（2011年版）；

11）《国家电网公司输变电工程通用设计330kV 输电线路金具分册》（2011年版）；

12）《330kV～750kV架空输电线路勘测规范》 (GB50548—2010)；

13）《青海省电力公司电力系统污区分布图》（2023年）；

凡未提及的规程、规范，结合送电线路的结构特点，参照有关的专业标准执行。

1.2.3 遵循的主要法律、法规

1） 中华人民共和国土地管理法；

2） 中华人民共和国环境保护法；

3） 中华人民共和国文物保护法；

4） 中华人民共和国森林法；

5） 中华人民共和国公路管理条例等地方性法规。

1.3 设计范围

郭隆750kV变电站-红狮330kV变电站线路工程的本体设计，对临近电信线路和无线电设施的影响计算及防护设计及编制本工程投资概算书。

1.4 主要技术经济指标

1.4.1 铁塔使用情况

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 塔型 | 呼高 | 数量（基） | 备注 | 塔型 | 呼高 | 数量（基） | 备注 |
| 330-KC23D-JC1 | 21 | 2 | 单回路转角塔 | 330-KC23D-ZMC1 | 21 | 1 | 单回路直线塔 |
| 24 | 1 | 24 | 3 |
| 27 | 2 | 27 | 5 |
| 36 | 2 | 30 | 2 |
| 39 | 1 | 36 | 2 |
| 48 | 1 | 330-KC23D-ZMC2 | 27 | 2 |
| 51 | 1 | 30 | 3 |
| 330-KC23D-JC2 | 18 | 2 | 330-KC23D-ZMC3 | 24 | 1 |
| 21 | 2 | 27 | 2 |
| 24 | 2 | 36 | 2 |
| 26 | 1 | 42 | 2 |
| 27 | 3 | 330-KC23D-ZMC4 | 39 | 1 |
| 36 | 3 | 54 | 1 |
| 39 | 1 | 330-GSZC1 | 30 | 1 | 双回路直线钢管杆 |
| 51 | 1 |  |  |  |  |
| 330-KC23D-JC3 | 24 | 2 |  |  |  |  |
| 30 | 1 |  |  |  |  |
| 33 | 1 |  |  |  |  |
| 48 | 1 |  |  |  |  |
| 330-KC23D-JC4 | 27 | 2 |  |  |  |  |
| 30 | 2 |  |  |  |  |
| 330-KC23S-JC1 | 24 | 1 | 双回路转角塔 |  |  |  |  |
| 330-GSDJC | 24 | 1 | 双回路终端(钢管杆) |  |  |  |  |
| 合计：64基，其中单回路直线塔27基；双回路直线塔（钢管杆）1基；单回路耐张塔34基；双回路耐张塔1基；双回路终端(钢管杆)1基；  红狮变终端与小寨-红狮I回330kV线路同塔（已建成），本工程未计列。 | | | | | | | |

1.4.2 工程主要技术经济指标

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 类 别 | 规格 | 耗 用 量 | 单位 | 单位耗用指标 |
| 导 线 | JL3/GIA-400/35 | 425.86 | t | 17.4t/km |
| 复合绝缘子 | FXBW-330/210  FXBW-330/160  FXBW-330/120 | 289 | 支 | 11.8支/km |
| 瓷绝缘子 | U300BP/195D  U160BP/155D | 11130 | 片 | 454.29片/km |
| 间隔棒 | FJZD-445/27B | 1863 | 个 | 76个/km |
| 挂线金具 |  | 75.56 | t | 3.08t/km |
| 接地钢材 |  | 6.722 | t | 0.274t/km |
| 铁塔钢材 |  | 1618.08 | t | 67.22t/km |
| 基础钢材 |  | 350.93 | t | 14.58t/km |
| 地脚螺栓 |  | 62.4 | t | 2.59t/km |
| 基础混凝土 |  | 5037.73 | m3 | 209.3m3/km |

1.5通用设计应用情况

1）杆塔通用设计应用情况说明。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 工程概况 | 电压等级 | 330kV | |
| 架设回路数 | 单回路 | 双、四回路出线 |
| 线路长度（km） | 24.07 | 0.43 |
| 导地线型号 | 导线4\*JL3/G1A-400/35，两根地线为OPGW光缆 | |
| 气象条件（风速/覆冰） | 基本风速25m/s，覆冰10mm | |
| 地形条件 | 平地、山地 | |
| 杆塔总数（基） | 64基（不包含红狮变终端） | |
| 杆塔设计 | 通用设计模块编号 | / | |
| 塔型模块应用数量 | / | |
| 自行编制塔型模块应用数 | 64 | |
| 其他（以大代小等情况） | / | |

2）说明金具通用设计的应用情况说明

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 工程概况 | 电压等级 | 330kV | |
| 架设回路数 | 单回路 | 双、四回路出线 |
| 线路长度（km） | 24.07 | 0.43 |
| 导、地线型号 | 导线4\*JL3/G1A-400/35，两根地线为OPGW光缆 | |
| 气象条件（风速/覆冰） | 基本风速25m/s，覆冰10mm | |
| 金具设计 | 金具总串数量 | 430 (包含损耗量) | |
| 采用金具通用设计的串数量 | 418 | |
| 未采用通用设计的串数量 | 12 | |
| 未采用通用设计的原因 | 门架进出线需采用较小吨位金具，无可用通用金具 | |

3）本工程采用通用金具型号

|  |  |
| --- | --- |
| 名称 | 金具通用设计图纸编号 |
| 180kN导线复合绝缘子悬垂双串组装图 | 5XC2-4545-18H |
| 240kN导线复合绝缘子悬垂双串组装图 | 5XC2-4545-24H |
| 导线耐张串 | 5N2-4545(50.60)-30P(400/35) |
| 导线复合绝缘子跳线串 | 5T-45-10H |

由于本工程采用四分裂导线，无可用的330kV通用金具，本工程采用的通用金具均为500kV通用金具。

3 线路路径

3.1路径选择原则

本工程线路路径方案，系根据电力系统总体规划设计的要求，结合地方城市规划及建设情况，自然保护及文物保护情况，军事设施及通信设施的布置情况、林业情况、矿产情况、水文及地质情况、交通及沿线污秽情况，统筹兼顾，相互协调，按下述原则进行选择。

1）尽可能减少路径长度并靠近现有公路，方便施工运行；

2）避开林区、自然生态环境保护区、文物保护区；

3）尽量避开和缩短重污秽区段，提高线路可靠性、降低建设投资；

4）充分考虑沿线地质、水文条件及地形对线路可靠性及经济性的影响，避开不良地质地带。

5）应尽量避免从矿区、采空区通过，减少压矿，减少在基本农田内通过，为线路安全运行创造条件。

6）在路径选择中，充分体现以人为本、保护环境的意识，尽量避免大面积拆迁民房。

7）综合协调本线路与沿线已建、在建、拟建送电线路、公路、铁路及其它设施之间的矛盾。

8) 充分征求沿线政府的意见，综合协调本线路路径与沿线已建线路、规划线路及其它设施的矛盾，统筹考虑线路路径方案。

3.2 变电站进出线

3.2.1郭隆750kV变电站330kV出线侧

郭隆750kV变电站位于青海省海东市互助县五十乡东北方向约3公里处，距互助县城及平安县城约30km，西邻平安至互助主要县级公路，交通较为便利。

郭隆750kV变电站330kV侧最终出线24回，采用双母双分段接线，设计水平年出线9回，其中2回至向阳，2回至景阳，2回至杏园，2回至小寨，1回至中庄牵，5回备用，预留10回出线。本期间隔选择西侧出线南数第4备用出线间隔（该出线间隔已在《郭隆750千伏变电站330千伏间隔扩建工程》中考虑），详见“750kV郭隆变330kV侧进出线示意图”。



3.2.2红狮330kV变电站

在建红狮330kV变电站位于位于互助县红崖子沟乡下寨村零碳工业园区内部，红狮330kV变电站330kV侧最终出线3回，其中2回至小寨，1回至郭隆。本期由北侧西数第一间隔（郭隆）出线。具体详见附图“红狮330kV变电站进出线示意图”。

考虑郭隆变出线侧走廊比较拥挤，本次采用同塔双回路出线方式，单侧预留，为减少后期预留线路架设时郭隆-红狮330kV陪停时间，本次郭隆变出线侧同塔双回路段预留侧线路同步架设。

4推荐路径方案

4.1 路径描述

4.1.1推荐路径描述

线路由郭隆750kV变电站西侧南数第四间隔向西出线，平行郭隆-小寨I、II回330kV线路向西南走线，跨过西宁环城公路后走至荷包村西侧山梁，后线路左转沿330kV郭寨I、II线及郭杏II线之间走廊向南走线至杨家湾，线路左转向东南方向走线，跨过西宁环城公路至班彦村北侧，钻越郭隆-西宁I、II回750kV线路后线路右转向南走线至沙沟附近，避让山顶光伏园区后线路右转，钻越330kV郭寨I、II线后左转平行330kV郭寨I、II线向南走线至小寨330kV变电站北侧，右转跨过平互公路后向西走线至小寨330kV变电站西侧，线路左转继续向南走线至园区规划经五路北侧，平行经五路向西走线，左转进入在建红狮330kV变电站。

本工程在郭隆变出线侧采用同塔双回方式出线，红狮变终端与小寨-红狮I回330kV线路采用同塔双回终端，其余线路段均采用单回路架设，推荐路径长度约24.5km，其中同塔双回段长约0.43km，单回路段长约24.07km，航空距离19km，沿线海拔高度在2200-2900m之间，曲折系数为1.29。

路径走向详见《路径图》。

4.1.2海拔高度

此段线路海拔高度介于2200-2900m之间。

4.1.3地形划分

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 地形划分 | | 郭隆-红狮330kV线路 | |
| 地形划分（所占比例） | 平 地 | 2.5km（10.2％） |
| 丘陵 | 6km（24.5％） |
| 山地 | 16km（65.3%） |
| 线路长度 | | 24.5km（100%） |

4.1.4交通条件

本工程可依托西宁环城公路、乡间道路作为运输道路，全线交通条件一般。

4.1.5交叉跨越

表4.1-2主要交叉跨越表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 被跨越物 | 次数 | 备注 |
| 1 | 750kV线路 | 1次 | 钻越 |
| 2 | 330kV线路 | 2次 | 钻越 |
| 3 | 35kV电力线 | 3次 | 跨越 |
| 4 | 10kV电力线 | 9次 | 跨越 |
| 5 | 通信线 | 11次 | 跨越 |
| 6 | 地下光缆 | 8次 | 跨越 |
| 7 | 地下管道 | 2次 | 跨越 |
| 8 | S102西宁环城公路 | 2次 | 跨越 |
| 9 | 平互公路 | 1次 | 跨越 |
| 10 | 乡间道路 | 8次 | 跨越 |
| 11 | 改造塔位处水管 | 6处 |  |

4.2 通道清理原则

4.2.1房屋等建筑物

按照《110kV～750kV架空输电线路设计规范》（GB50545-2010）的要求，330kV线路不应跨越长期住人房屋。无风时边导线与建筑物水平距离小于3m者拆除；若房屋在边导线3m以外，则以满足边导线最大风偏与房屋的净空距离大于6m、同时房屋处离地面1.5m处的未畸变电场小于4.0kV/m的条件时，可不予拆除，否则需进行拆除。

4.2.2树木处理原则

本工程不涉及树木砍伐。 需树木移植1500棵。

7 导、地线选型及其防振措施

7.1导线结构及型号选择

7.1.1导线截面及分裂根数

根据接入系统方案，按照现有330kV电网主干线的导线截面，本工程新建750kV郭隆变-330kV红狮变单回330kV架空线路，导线截面按最终装机容量选择4×400mm2。

7.1.2导线分裂间距选取

本工程导线分裂间距取450mm。

7.1.3导线的型号选择

根据系统专业提资，330kV线路导线截面为4×400mm2。参与比选的节能导线有钢芯高导电率硬铝绞线、铝合金芯高导电率铝绞线、中强度铝合金绞线等三种。本工程共选择四种400mm2截面导线进行比较，分别为：钢芯铝绞线JL/G1A-400/35、钢芯高导电率铝绞线JL3/G1A-400/35、铝合金芯高导电率铝绞线JL1/LHA1-210/220和中强度全铝合金绞线JLHA3-425，各类导线的相应主要技术参数见表7.1-1。

表7.1-1导线主要特性参数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 导线型号 | JL/G1A-400/35 | JL3/G1A-400/35 | JL1/LHA1-210/220 | JLHA3-425 |
| 芯线截面(mm2) | 34.36 | 34.36 | 218.9 | 426.28 |
| 外层截面(mm2) | 390.88 | 390.88 | 207.38 | 426.28 |
| 总截面(mm2) | 425.24 | 425.24 | 426.28 | 426.28 |
| 直径(mm) | 26.82 | 26.82 | 26.81 | 26.81 |
| 单位质量(kg/m) | 1.349 | 1.347 | 1.178 | 1.178 |
| 弹性模量MPa | 65000 | 65000 | 55000 | 55000 |
| 线膨胀系数（×10-6 1/℃） | 20.5 | 20.5 | 23.0 | 23.0 |
| 计算拉断力(N) | 98487 | 98487 | 93756 | 97195 |
| 20℃直流电阻（Ω/km） | 0.074 | 0.072 | 0.073 | 0.071 |

7.1.4杆塔条件

根据导、地线类型、气象条件，结合工程的特点，本工程全线采用330-KC23D系列铁塔。该类塔型具有结构简单、传力清晰、用材经济、加工施工方便的优点。典型的直线塔和耐张塔详见图7.1-1。

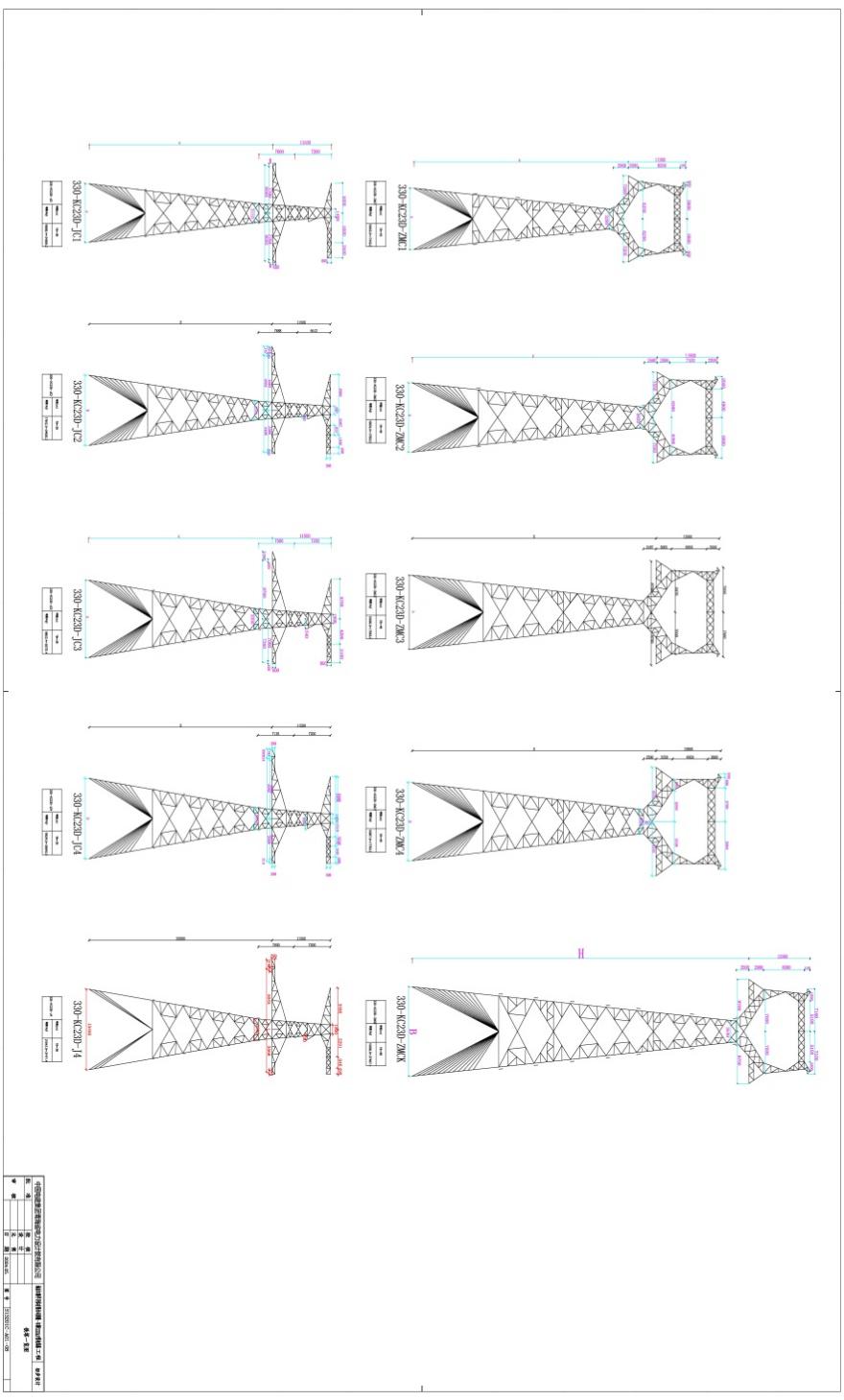


图7.1-1 铁塔一览图

7.2导线电气性能比较

7.2.1电力系统条件

1）系统额定电压：330千伏；

2）系统最高运行电压：363千伏；

3）功率因数：0.95；

4）最大负荷利用小时数：4000小时；

5）系统单回输送功率：1250MW。

7.2.2导线载流量比较

在事故运行方式下，交流输电线路可能出现的最大容量由系统的过负荷能力所决定。导线载流量与导线所处气象条件(环境温度、风速、日照强度)有关，在计算导线载流量时，应使导线不超过某一温度，目的在于使导线在长期运行或在事故条件下，由于导线的温升，不致影响导线强度，以保证导线的使用寿命。

钢芯铝绞线和钢芯铝包钢绞线连续允许使用温度为70~80℃，若温度升高，会恶化导线的综合性能。《110~750kV架空输电线路设计规范》（GB50545-2010）中规定，验算导线允许载流量时钢芯铝绞线的允许温度采用+70℃，必要时可采用+80℃。本报告钢芯铝绞线、钢芯铝包钢绞线、铝合金绞线最高允许温度采用+70℃和+80℃两种方案进行计算。

计算中环境温度为最高气温月的平均气温，根据当地气象统计资料，计算导线允许载流量的环境温度取25℃。日照强度1000w/m2，风速0.5m/s，导线表面辐射系数取0.23，吸热系数取0.35，根据《110~750kV架空输电线路设计规范》（GB50545-2010）条文说明5.0.6公式计算。

表7.2-1 各种导线载流量和输送功率

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 导线型号 | JL/G1A-400/35 | JL3/G1A-400/35 | JL/LHA1-210/220 | JLHA3-425 |
| 分裂根数 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 70℃交流电阻(Ω/相) | 0.0193934 | 0.0192406 | 0.0184741 | 0.0179814 |
| 70℃允许电流(A/相) | 3285.55 | 3298.57 | 3366.02 | 3411.83 |
| 70℃输送功率(MW/回) | 1784 | 1791.06 | 1827.69 | 1852.56 |
| 80℃交流电阻(Ω/相) | 0.0194402 | 0.019287 | 0.0184783 | 0.0179854 |
| 80℃允许电流(A/相) | 3697.17 | 3711.83 | 3791.84 | 3843.45 |
| 80℃输送功率(MW/回) | 2007.5 | 2015.45 | 2058.9 | 2086.92 |

从表7.2-1可看出，当导线允许温度从70℃上升至80℃，导线载流量提高约1.125倍。参加比选的四种导线的每回线极限输送功率均满足系统要求。各种导线的载流量和极限输送功率相差不大，中强度铝合金绞线JLHA3-425的极限输送功率最大。

7.2.3交流电阻损失比较

单回交流输电线路的电阻热损失为：



式中：

WQ—功率热损耗，MW/km；

N—分裂根数；

I—单回路每根导线的额定工作电流，A；

re—导线的交流电阻，Ω/km。

根据本工程的系统条件，各种导线的电阻损耗计算结果见表，

计算中环境温度取年平均气温，根据当地气象统计资料，计算导线额定载流量的环境温度取15℃。日照强度1000w/m2，风速0.5m/s，导线表面辐射系数取0.23，吸热系数取0.35，根据《110~750kV架空输电线路设计规范》（GB50545-2010）条文说明5.0.6公式计算。

表7.2-2 各种导线组合的电阻损耗(kW/km)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 导线型号 | JL/G1A-400/35 | JL3/G1A-400/35 | JL/LHA1-210/220 | JLH3-425 |
| 分裂根数 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 导线工作温度(℃) | 65.3255 | 65.1801 | 64.5858 | 64.1172 |
| 交流电阻(Ω/相) | 0.0192532 | 0.0191 | 0.0184719 | 0.017979 |
| 电阻损耗（kW/km） | 306.107 | 303.672 | 293.685 | 285.849 |

电阻损失相差不大，节能导线节能效果较好，电阻损失最少，在输送功率较大的线路其节能效益更明显。

7.2.4小结

（1）同截面的各种导线的载流量和允许输送功率基本相当，均可满足本工程的要求。

（2）JLHA3-425导线因其交流电阻小，损失少，节能效果最好，在输送功率较大的线路其节能效益更明显。

7.3导线机械特性比较

7.3.1导线弧垂

导线的弧垂特性与导线的计算拉断力、铝钢截面比、自重等因素有关。各导线弧垂计算结果见表7.3-1。

表7.3-1 导线在各种档距下40℃气温下的弧垂

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 导线型号 | JL/G1A-400/35 | JL3/G1A-400/35 | JL/LHA1-210/220 | JLH3-425 |
| 弧垂(L=200m) | 3.76182 | 3.76182 | 3.64724 | 3.55057 |
| 差值百分比(%) | 100 | 100 | 96.9541 | 94.3842 |
| 弧垂(L=300m) | 7.42688 | 7.42688 | 7.16639 | 6.92266 |
| 差值百分比(%) | 100 | 100 | 96.4927 | 93.2109 |
| 弧垂(L=400m) | 12.707 | 12.707 | 12.4077 | 11.9392 |
| 差值百分比(%) | 100 | 100 | 97.6442 | 93.9578 |
| 弧垂(L=500m) | 19.5601 | 19.5601 | 19.1119 | 18.406 |
| 差值百分比(%) | 100 | 100 | 97.7086 | 94.0999 |
| 弧垂(L=600m) | 27.928 | 27.928 | 27.2969 | 26.2999 |
| 差值百分比(%) | 100 | 100 | 97.7403 | 94.1705 |
| 弧垂(L=700m) | 37.8242 | 37.8242 | 36.9757 | 35.633 |
| 差值百分比(%) | 100 | 100 | 97.7567 | 94.2068 |
| 弧垂(L=800m) | 49.2609 | 49.2609 | 48.1598 | 46.4159 |
| 差值百分比(%) | 100 | 100 | 97.7648 | 94.2246 |

从表7.3-1弧垂性能比较得出：中强度全铝合金绞线JLHA3-425弧垂最小，其它三种导线基本相当；在档距500m以下，中强度全铝合金绞线JLHA3-425-37与其它三种导线弧垂比较小约0.7m～1.1m之间。500m～800m之间小1.6m～3.0m之间。对于本工程而言，平均档距在400m附近，对地距离是档距使用控制条件，同时弧垂对铁塔高度的影响较小在1m左右，故可暂不考虑对铁塔高度的影响。

7.3.2导线过载能力

各导线过载能力见表7.3-2，覆冰验算的气象条件为：气温-5℃、风速15m/s。

表7.3-2 导线过载冰厚比较表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 导线型号 | JL/G1A-400/35 | JL3/G1A-400/35 | JL/LHA1-210/220 | JLH3-425 |
| 过载覆冰厚度(mm)(L=200m) | 33.4953 | 33.4953 | 33.4268 | 34.6813 |
| 过载覆冰厚度(mm)(L=300m) | 26.4529 | 26.4529 | 26.0911 | 26.8401 |
| 过载覆冰厚度(mm)(L=400m) | 23.6507 | 23.6507 | 23.3233 | 23.7636 |
| 过载覆冰厚度(mm)(L=500m) | 22.2779 | 22.2779 | 21.8398 | 22.1539 |
| 过载覆冰厚度(mm)(L=600m) | 21.4747 | 21.4747 | 20.9625 | 21.1959 |
| 过载覆冰厚度(mm)(L=700m) | 20.9669 | 20.9669 | 20.4061 | 20.5853 |
| 过载覆冰厚度(mm)(L=800m) | 20.6273 | 20.6273 | 20.0321 | 20.1737 |

由上表可以看出，JLHA3-425型导线过载能力较强，钢芯高导电率铝绞线与钢芯铝导线次之。结合本工程气象条件，由于覆冰为10mm地区，故过载能力对导线不控制，四种导线均满足要求。

7.3.3导线耐张串强度比较

随着导线铝钢截面比的减少，自重、张力及绝缘子串的受力随之增加。不同导线结构的耐张串安全系数见表7.3-3。

表7.3-3 耐张串安全系数表（Ldb=200～400m）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 导线型号 | JL/G1A-400/35 | JL3/G1A-400/35 | JL/LHA1-210/220 | JLH3-425 |
| 分裂根数 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 挂点张力(kN)覆冰工况 | 171.659 | 171.659 | 163.163 | 169.025 |
| 水平张力(kN)覆冰工况 | 156.054 | 156.054 | 148.33 | 153.659 |
| 水平张力(kN)年均工况 | 89.4044 | 89.4044 | 80.4361 | 83.6943 |
| 水平张力(kN)断联工况 | 90.3612 | 90.3612 | 81.4564 | 84.8382 |
| 耐张串安全系数(挂点) | 2.79624 | 2.79624 | 2.94184 | 2.83981 |
| 耐张串安全系数(覆冰工况) | 3.07586 | 3.07586 | 3.23602 | 3.12379 |
| 耐张串安全系数(年均工况) | 5.36886 | 5.36886 | 5.96747 | 5.73515 |
| 耐张串安全系数(断联工况) | 2.65601 | 2.65601 | 2.94636 | 2.82891 |
| 耐张串强度取值(kN) | 2×300 | 2×300 | 2×300 | 2×300 |

从表7.3-3可知，在本工程气象条件下采用2×300kN耐张串均可满足要求。

7.3.4导线对杆塔荷载的影响

各种导线结构的相荷载见表7.3-4。

表7.3-4 各种导线结构的每相荷载（kN）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 导线型号 | JL/G1A-400/35 | JL3/G1A-400/35 | JL/LHA1-210/220 | JLH3-425 |
| 分裂根数 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 大风水平荷载(kN)(Lh=420) | 16.5322 | 16.5322 | 16.5261 | 16.5261 |
| 大风水平荷载(kN)(Lh=500) | 19.6812 | 19.6812 | 19.6739 | 19.6739 |
| 覆冰垂直荷载(kN)(Lv=550) | 51.5323 | 51.5323 | 47.8715 | 47.8736 |
| 覆冰垂直荷载(kN)(Lv=700) | 65.5866 | 65.5866 | 60.9273 | 60.9301 |

从上表可看出，各导线的水平荷载基本相同；铝合金芯高导电率铝绞线与中强度全铝合金绞线的垂直荷载优于钢芯铝绞线、钢芯高导电率铝绞线。

7.3.5导线风偏角

当基本风速为25m/s时，各种导线结构的风偏角见表7.3-5。

表7.3-5 25m/s风速各种导线风偏角(Kv=0.85)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 导线型号 | JL/G1A-400/35 | JL3/G1A-400/35 | JL/LHA1-210/220 | JLH3-425 |
| 分裂根数 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 大风风偏角(°)(Lh=200) | 45.1878 | 45.1878 | 49.791 | 49.8269 |
| 内过风偏角(°)(Lh=200) | 21.8083 | 21.8083 | 24.9389 | 24.9859 |
| 外过风偏角(°)(Lh=200) | 9.77337 | 9.77337 | 11.2426 | 11.2603 |
| 大风风偏角(°)(Lh=300) | 43.9987 | 43.9987 | 48.4579 | 48.5111 |
| 内过风偏角(°)(Lh=300) | 21.2002 | 21.2002 | 24.1521 | 24.2022 |
| 外过风偏角(°)(Lh=300) | 9.58899 | 9.58899 | 10.9969 | 11.0142 |
| 大风风偏角(°)(Lh=400) | 43.4046 | 43.4046 | 47.7566 | 47.8071 |
| 内过风偏角(°)(Lh=400) | 20.893 | 20.893 | 23.7306 | 23.77 |
| 外过风偏角(°)(Lh=400) | 9.49191 | 9.49191 | 10.8602 | 10.8735 |
| 大风风偏角(°)(Lh=500) | 43.0911 | 43.0911 | 47.3898 | 47.4261 |
| 内过风偏角(°)(Lh=500) | 20.7331 | 20.7331 | 23.5191 | 23.5452 |
| 外过风偏角(°)(Lh=500) | 9.43996 | 9.43996 | 10.7901 | 10.7989 |
| 大风风偏角(°)(Lh=600) | 42.9131 | 42.9131 | 47.1799 | 47.2059 |
| 内过风偏角(°)(Lh=600) | 20.6432 | 20.6432 | 23.4005 | 23.4186 |
| 外过风偏角(°)(Lh=600) | 9.41021 | 9.41021 | 10.75 | 10.7561 |
| 大风风偏角(°)(Lh=700) | 42.8032 | 42.8032 | 47.0498 | 47.0689 |
| 内过风偏角(°)(Lh=700) | 20.588 | 20.588 | 23.328 | 23.3409 |
| 外过风偏角(°)(Lh=700) | 9.39172 | 9.39172 | 10.7252 | 10.7295 |
| 大风风偏角(°)(Lh=800) | 42.7309 | 42.7309 | 46.9641 | 46.9785 |
| 内过风偏角(°)(Lh=800) | 20.5518 | 20.5518 | 23.2805 | 23.29 |
| 外过风偏角(°)(Lh=800) | 9.37948 | 9.37948 | 10.7088 | 10.7119 |

从上表可看出，铝合金芯高导电率铝绞线和中强度全铝合金绞线导线风偏角相对偏大。

7.3.6小结

对这四种导线的电气和机械性能进行总体比较如下：

（1）由于导线弧垂的变化差值较小，仅在导线施工放线时，存在档距细微差别，对单个铁塔而言，呼高未发生变化，因此塔重也未改变。铝合金芯高导电率铝绞线、中强度全铝合金绞线和钢芯高导电率铝绞线导线弧垂特性基本相同。铝合金芯高导电率铝绞线及中强度全铝合金绞线略优其它导线。

（2）从过载能力角度看，线路的设计覆冰厚度为10mm时，所列四种导线的过载允许覆冰均能满足本工程覆冰过载的要求，且有较大裕度。

（3）在本工程气象条件下比选的四种导线，采用2×300kN耐张串均可满足要求。

（4）各导线的水平荷载相差不大；钢芯铝绞线和钢芯高导电率铝绞线的荷载基本相当；铝合金芯高导电率铝绞线与中强度全铝合金绞线的垂直荷载优于其它导线。

（5）铝合金芯高导电率铝绞线和中强度全铝合金绞线导线风偏角相对较大。

7.6导线选型结论

（1）根据系统要求，本工程导线推荐选用400mm2截面规格；

（2）当导线允许温度从70℃上升至80℃，导线的载流量提高约1.125倍，为提高线路的输送能力，降低工程造价，本工程导线允许载流量按70℃控制；几种导线输送功率均满足系统要求。

（3）三种节能导线节能效果均优于普通导线；节能效果最好的为中强度全铝合金绞线，主要因为其直流电阻最小；节能性能从大到小依次为：中强度全铝合金绞线、铝合金芯铝绞线、钢芯高导电率铝绞线。但由于本工程输送功率小，几种节能导线效果均不明显。

（4）在年利用小时数较低的情况下，钢芯高导电率铝绞线及钢芯铝绞线费用较少，铝合金芯铝绞线费用居中，中强度全铝合金绞线费用最高。

（5）由于本工程输送功率较大，综合考虑各导线电气、机械和经济性能，四种导线都能满足本工程输送功率和机械性能的要求。由于钢芯高导电率铝绞线在初始投资相差不大的情况下节能效果较好且年费用较低，同时兼具机械性能较优，且便于使用通用设计中的塔型，故本工程导线推荐采用JL3/G1A-400/35型钢芯高导电率铝绞线。

表7.6-1 本工程导线参数表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 导线型号 | | | | JL3/G1A-400/35-48/7 |
| 结构 | 铝单线 | 股数/直径 | 根/mm | 48/3.22 |
| 镀锌钢线 | 股数/直径 | 根/mm | 7/2.50 |
| 计算截面积 | | 合计 | mm2 | 425 |
| 铝 | mm2 | 391 |
| 钢 | mm2 | 34.4 |
| 外径 | | | mm | 26.8 |
| 单位长度质量 | | | kg/km | 1348.6 |
| 20℃时直流电阻 | | | Ω/km | ≤0.0721 |
| 额定抗拉力 | | | kN | ≥103.7 |
| 弹性模量 | | | GPa | 65.9 |
| 线膨胀系数 | | | 1/℃ | 20.3×106 |

7.7 地线选择

1）地线选择及热稳定校验

本工程两根地线均采用OPGW光缆。

2） OPGW的选型原则

由于OPGW（架空地线复合光缆）是一种多功能地线，除了具有普通地线的防雷保护作用外，还是一条高可靠性的架空光缆通信线路。近几年来，我国超高压线路大量采用了OPGW。它作为地线安装在架空电力线路上，选型原则为：

a） 地线的设计安全系数宜不小于导线的设计安全系数。

b） 导线与地线在档距中央的距离不应小于S≥0.012L+1。

c） 应满足热稳定校验。

d） OPGW荷载满足铁塔设计要求。

e） 满足系统通信要求。

f） 在选型上与普通地线权衡，作到满足工程要求，经济上合理。

g） OPGW的结构型式

OPGW结构包括光纤单元结构和外绞层结构。

光纤单元结构对光纤的受力和传输信号衰减程度有很大的影响，因此光纤单元结构的选择需考虑必要的机械保护结构防止光纤受侧压、保证适度的光纤余长、并采用可靠的措施进行防潮、隔热。

按光纤单元结构中光纤在缆中的松紧程度分为紧套和松套两种结构。

紧套结构的OPGW一般直径较小，可以减少铁塔上风荷载和冰荷载；另外由于光缆束一般都置于金属分隔的定位槽中，具有较高的抗侧压能力。但价格一般较松套高10%左右。

根据有关资料介绍，紧套光纤束在光纤单元结构中几乎没有余长，此种结构的光缆一般在伸长2%时，光纤可能被拉断，单根光纤伸长1%后就被拉断。尽管缆线在各种气候、大档距等情况下的延伸率不过千分之几，但较难保证光纤不受轴向拉力；光纤一旦受力其信号衰减将会增加，所以对通信效果有一定的影响。

松套结构中光纤一般都置于有填充物的金属管中，具有较大的调整空间可以放大光纤的余长，能保证光纤在各种不利运行情况下不受力。

目前国内外厂家生产松套结构的OPGW较多，在高压输电线路上普遍使用的光缆型式有中心光纤式、层绞式和铝骨架式三大类。中心光纤式还派生出中心不锈钢管、中心铝管、中心束管等。

各种光纤单元结构的性能各有侧重，作为国际公认性能比较见下表。

OPGW各种结构性能比较

|  |  |
| --- | --- |
| 结构 | 特 点 |
| 紧套结构 | 1. 光纤始终受力，光缆张力愈大其受力愈大 |
| 2. 衰减大，（很难保证光纤低衰减） |
| 3. 紧凑性较好 |
| 松套结构  中心束管 | 1. 光纤在光缆大张力下受微小张力 |
| 2. 1550nm时衰减很小 |
| 3. 抗侧压性能一般 |
| 松套结构中心钢管或绞丝钢管内含光纤 | 1. 光纤在光缆大张力下受微小张力 |
| 2. 1550nm时衰减很小 |
| 3. 结构紧凑 |
| 4. 防水性能好 |
| 松套结构  铝 骨 架 | 1. 光纤在光缆70%UTS张力下受微小张力 |
| 2. 1550nm时衰减很小 |
| 3. 结构紧凑性一般 |
| 4. 抗侧压性能好 |

外绞层结构以满足电气机械性能和保护光纤为目的，根据工程具体情况来确定单丝直径、光缆外径，单重，同时满足电气机械特性要求。

外绞层结构可以有多层，相邻层间的绞线绞合方向应相反，最外层绞向一般为右旋（Z）。

从上表中不难看出松套光纤单元结构较紧套结构在受力、衰减等方面有一定的优势，但从有关资料来看，紧套结构的防侧压能力要强于松套。由于松套结构光纤一般都置于填充物中有较大的游动空间，有一定的缓冲作用，瞬时冲击和短期大荷载下光纤不会受到影响。

在松套的三种结构中，铝骨架式和中心束管式的含铝成分较大，其直流电阻较小，与普通地线的分流比一般较大，在热稳定控制的情形下，不会造成普通地线造价的提高。另外，铝骨架式和中心束管式的直径一般较大，而拉断力较小，对铁塔荷载和塔头设计不利。

铝骨架式比其他结构的抗侧压能力要强，据有关资料介绍，骨架式抗侧压的能力较松套铝管式强2倍以上。通过向厂家咨询，钢管层绞结构的钢管对重冰区防侧压进行了充分考虑，具有足够的径向强度来承受重冰区条件下的侧压。

综上所述，松套和紧套各有其优点，就余长问题，松套肯定要大于紧套。从中心式（包括中心单管和中心束管式）、层绞式和铝骨架式三种型式来看，层绞式强度、荷载等优于其它两种型式。目前，中心式和层绞式应用较为广泛。

4) OPGW光缆热稳定校验及选型

短路电流持续时间取决于故障排除时间。要求线路发生接地短路故障时，线路故障切除时间为0.1s（含断路器动作时间和继电保护动作时间），重合闸于故障后再次切除故障的时间约为0.1s，两次切除短路电流中非周期分量引起的热效应的等效时间约为0.1s，因此计算中短路电流故障时间应为0.3s。但考虑到目前系统中所采用的设备在系统发生故障时反应较灵敏，实际反应时间小于0.3s，故本次计算中短路电流故障时间取0.25s。

根据系统计算结果，郭隆750kV变侧的短路电流为57.85kA，红狮330kV变侧短路电流为38.04kA。

根据分段短路电流计算结果：在距郭隆侧5.145km处的最大短路电流为39.1642 kA；故本工程在郭隆侧5.2km内架设2根36芯OPGW-17-150-3型光缆，其热容量为195(kA.kA.S)，每根可分流27.93 kA，可满足分流要求；其余路段架设2根36芯OPGW-15-120-2型光缆，其热容量为101(kA.kA.S)，每根可分流20.1 kA，可满足分流要求。

本工程新建线路的2根地线均为OPGW光缆，参照国家电网公司OPGW标准采购目录确定本工程采用OPGW-17-150-3和OPGW-15-120-2型光缆，光缆芯数采用36芯。

光缆主要技术参数见下表。

OPGW-17-150-3主要技术参数

|  |  |
| --- | --- |
| 地线型号 | OPGW-17-150-3 |
| 标称截面积（mm2） | 150 |
| 芯数 | 36芯 |
| 直径(mm) | 16.6 |
| 单位重量(kg/km) | 747 |
| 标称抗拉强度RTS(kN) | 95 |
| 20℃直流电阻（Ω/km） | 0.33 |
| 允许短路电流(kA) （0.25s，40～200℃) | 27.93 |
| 短路电流容量I2t (kA2s) | 195 |
| 外层单丝直径（mm） | 3.3 |

OPGW-15-120-2主要技术参数

|  |  |
| --- | --- |
| 地线型号 | OPGW-15-120-2 |
| 标称截面积（mm2） | 120 |
| 芯数 | 36芯 |
| 直径(mm) | 15.2 |
| 单位重量(kg/km) | 711 |
| 标称抗拉强度RTS(kN) | 96 |
| 20℃直流电阻（Ω/km） | 0.53 |
| 允许短路电流(kA) （0.25s，40～200℃) | 20.1 |
| 短路电流容量I2t (kA2s) | 101 |
| 外层单丝直径（mm） | 3 |

8 绝缘配合

8.1绝缘配置原则

1) 注重绝缘配置原则的前瞻性，绝缘配置原则应当综合考虑并处理好基建一次性投资和长期生产运行之间的关系，不仅要考虑当前的污秽情况，还要结合当地经济、环境发展状况，合理确定绝缘配置原则，避免新建线路投运初期就进行大面积调爬的被动局面。

2) 在设计过程中要注意考虑绝缘子的有效爬距以及多串绝缘子的邻近效应。

3) 在目前条件下，对于新建500kV（含330kV）输变电工程原则上0级、Ⅰ级污秽地区提高一级绝缘配置，Ⅱ级、Ⅲ级、Ⅳ级污秽地区按照上限进行配置。

4) 对于一些局部污秽严重地区（如公路附近、化工厂、煤窑等周边），要加大现场调研和预测工作力度，绝缘配置适当留有裕度。

5) 重视绝缘子选型工作，绝缘子选型是防污工作不可忽视的一个重要环节，由于各地区气候特点不同、运行习惯不同，绝缘子选型原则不可能完全相同，设计阶段要根据各地区运行实际情况，因地制宜的选择绝缘子型式，杜绝由于绝缘子选型不当，而造成清扫不便、积污严重，甚至引发污闪的现象。

随着2006年12月22日国家电网公司国家电网生【2006】1203号“关于印发《国家电网公司〈电力系统污区分级与外绝缘选择标准〉实施意见》的通知”的发布，绝缘配合需按照国家电网公司企业标准《电力系统污区分级与外绝缘选择标准》（ Q/GDW 152-2006）要求进行。本工程采用Q/GDW 152-2014标准进行绝缘配合，按照新标准要求，结合线路沿线污秽分布情况，本工程各污秽等级的统一爬电比距取值见表8.1-1。

表8.1-1 各污秽等级绝缘子的统一爬电比距

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 污秽等级 | a | b | c | d | e |
| 盐密(mg/cm2) | ≤0.025 | 0.025-0.05 | 0.05-0.10 | 0.10-0.25 | ≥0.25 |
| 统一爬电比距范围(mm/kV) | 22-25.2 | 25.2-31.5 | 31.5-39.4 | 39.4-50.4 | 50.4-59.8 |
| 统一爬电比距取值(mm/kV) | 25 | 31.5 | 39.4 | 50.4 | 59.8 |
| 等效爬电比距(mm/kV) | 14.4 | 18.2 | 22.7 | 29.1 | 34.5 |

8.2 污秽等级划分

8.2.1污区划分原则

(1)参照GB/T16434－1996《高压架空线路和发电厂、变电所环境污区分级及外绝缘选择标准》的规定。

(2)根据青海省最新电力系统污区分布图，参照国家电网公司“十八项重点反事故措施”以及164号文中关于防止电网污闪的有关技术规定，并充分考虑大气条件和环境污秽的发展总态势，线路污区等级应制定具有前瞻性，结合现场调查的情况，进行污区的划分。

(3)结合线路具体情况及污区划分“运行经验、污湿特征、现场等值附盐密度”三要素来确定。当三者不一致时，应以运行经验为主。

8.2.2 污区划分

根据青海省电力公司污区分布图（2023年版），本工程全线污区为d级，参照《国网基建部关于加强新建输变电工程防污闪等设计工作的通知》（基建技术〔2014〕10号）中：提高输电线路防污能力。ｃ级及以下污区均提高一级配置；ｄ级污区按照上限配置；ｅ级污区按照实际情况配置，适当留有裕度。

线路周边无大型污染源，参考附近已建330kV线路配置情况，综合考虑后，本工程线路按d级上限污秽等级设防(统一爬电比距不低于50.4mm/kV)。

8.3 绝缘子型式

国内架空送电线路通常采用下列几种形式的绝缘子，即瓷制盘型绝缘子、钢化玻璃盘型绝缘子、棒式合成绝缘子。另外西方一些国家如德国、日本和美国等还采用不可击穿结构和深爬裙及中大爬距的棒式瓷绝缘子，国内目前也已开始生产，在我国华东地区500kV线路上已有使用。

1)钢化玻璃绝缘子

钢化玻璃绝缘子具有优良的机电性能及抗拉强度高、耐振动疲劳、耐冷热冲击、耐电弧烧伤、耐电击穿性能。还具有零值自爆的特性，因而无需对其进行绝缘测试。国内外的运行实践证明，钢化玻璃绝缘子具有长期稳定的机电性能，即具有较长的使用寿命。

钢化玻璃绝缘子的缺点是因制造工艺所限，防污型只能做成钟罩式。若要提高防污性能，就必须增加棱的数量和高度。因此导致棱槽深、易积污、难清扫、自洁性能差。比较适合于灰尘少、雾天多的沿海污秽地区。

2)盘形瓷绝缘子

盘形瓷绝缘子具有良好的绝缘性能、耐气候性、耐热性和组装灵活等特点，被广泛应用于各级电压线路上。盘形瓷绝缘子属于可击穿型，随着运行时间的延长，其绝缘性能会逐渐降低，即通常所说的瓷绝缘子“老化”现象，尤其当瓷配方不完善、结构设计未尽可能优化和生产工艺控制不严时，该问题比较突出。目前国产瓷绝缘子的平均年老化率低于0.005%。

瓷绝缘子的一大优点是当需要采用防污产品时，可设计成伞盘下表面光滑的双伞形或三伞型，这种形式由于其良好的空气动力学特性，十分有利于刮风条件下的自洁，积污率低，有效地提高了防污能力，特别适合于干旱、少雨和风沙多的污秽场合。

3)合成绝缘子

合成绝缘子具有强度高、重量轻、耐污性能好、易于安装和维护工作量小等优点。

国产合成绝缘子目前存在的主要问题是运行以后的机械强度下降，主要表现为运行2～3年后取下进行机械强度试验时发现，有的端头在低于额定机械负荷下芯棒出现较大的滑移或者从端部金具中脱出。这种情况在各种连接方式的端头中都发生过，采用外楔式的产品尤甚，甚至国外个别采用压接式端头的产品也发生过。此外还存在如伞裙老化、憎水性下降、不明原因的闪络、覆冰和积雪对合成绝缘子安全运行的影响等问题。

大量运行经验证实，合成绝缘子具有优异的耐污闪能力。在较重污秽地区合成绝缘子的爬电距离设计与普通绝缘子等同，但绝缘子串长可大大减小，从而缩小杆塔尺寸，降低工程造价。

4）棒式瓷绝缘子

棒式瓷绝缘子具有不可击穿性、优良的自洁性能、优良的耐污闪特性：污闪电压比盘形绝缘子平均高18%、有效爬距为盘形的1.1～1.3倍、劣化率小于百万分之三、机械强度为传统瓷绝缘子的1.3倍、覆冰的速度及重量是盘形绝缘子的33%和23%、免清洗，少维护等优点。但其价格相对较高，影响其使用。

长棒形瓷绝缘子在欧洲特别是德国已有50多年的历史，在30多个国家和地区已有30年以上的良好运行记录，总量已超过千万支，有记录的年损坏率在百万分之三以下。自1997年始， 在湖北、河北、河南、山东、广西、内蒙古、江苏、上海、安徽等地区500kV交、直流线路上，已超过11万支长棒形瓷绝缘子良好运行，自洁性能优良。

根据上述各种绝缘子的特点和导线选型对绝缘子强度的要求，以及沿线的具体污秽特征及污区划分情况；考虑瓷质绝缘子（标准型、外伞型、钟罩型、长棒形）、玻璃绝缘子（标准型、钟罩型）以及合成绝缘子各自的积污特性及自洁性能，应采用高质量的绝缘子。在合成绝缘子的使用上，由于其优异的耐污闪能力，可以大大缩短绝缘子串长度，减小杆塔尺寸，降低工程造价。且大吨位合成绝缘子的价格比瓷质或玻璃绝缘子的价格低，经济上是可行的。

5）瓷（玻璃）复合绝缘子

盘形悬式瓷（玻璃）复合绝缘子（简称：瓷复合绝缘子），是国网公司首批列入重点应用新技术产品，要求加大使用力度，予以大力推广。2008年1月7日，国网公司以国家电网科(2008)16号文件，正式发布Q／GDW 167-2007《交流系统用盘形瓷或玻璃复合伞裙绝缘子元件》技术标准，要求从发布之日起实施。

国网公司技术标准中附有瓷复合绝缘子结构图：

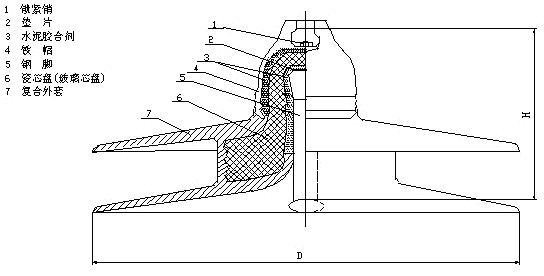


图8.3-1双伞型

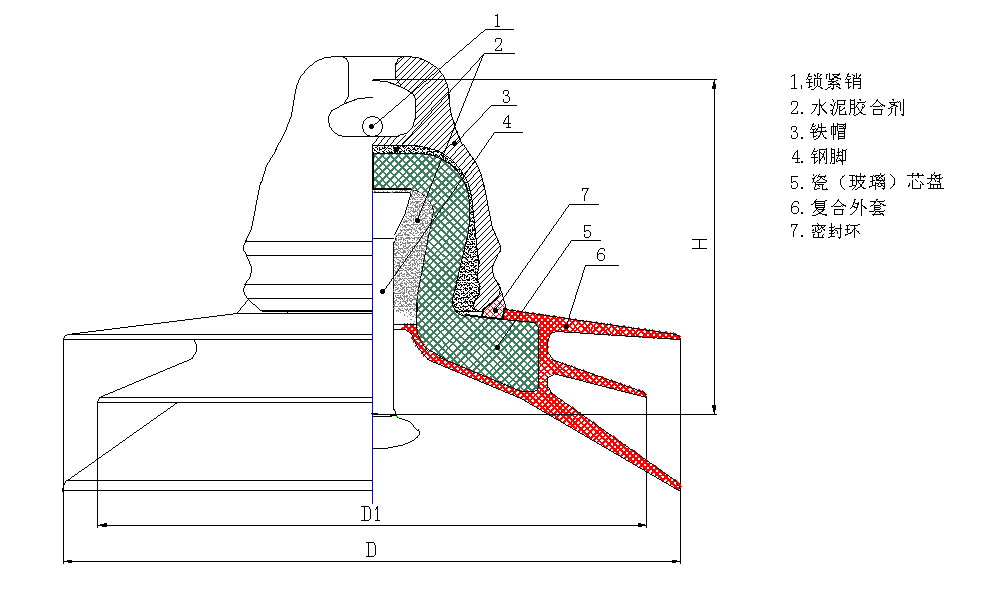


图8.3-2三伞型

按照国家电力行业标准DL/T 1122-2009 《架空输电线路外绝缘配置技术导则》和国网公司“积极推进“两型三新”输电线路”《导则》技术标准要求，设计采用瓷复合绝缘子，能有效解决输电线路防污闪、防雷、瓷绝缘子零值、玻璃绝缘子自爆、复合绝缘子芯棒脆断掉串等技术性能不足问题。防污能力提高70％，重量减轻三分之一。

本线路所处地区在青藏高原，干旱少雨、温差大、风沙大、紫外线强是当地的特点。根据各种绝缘子的特性、气候特点及目前青海电网的绝缘子使用状况。本工程绝缘子推荐采用双伞瓷绝缘子（用于耐张串）和合成绝缘子（用于悬垂串和跳线串）。

8.4 绝缘子片数的确定

《110～750kV架空输电线路设计规范》（GB 50545-2010）规定：110～750kV输电线路的绝缘配合，应使线路能在工频电压、操作过电压、雷电过电压等各种条件下安全可靠地运行。

8.4.1按工频电压选择绝缘子片数

本工程按爬电比距（λ）要求选择绝缘子片数，并依据高海拔污秽地区绝缘子交流放电特性，进行高海拔污秽地区绝缘子爬电比距修正。《110～750kV架空输电线路设计规范》（GB 50545-2010）推荐每串绝缘子片数应符合下式要求



式中：

n—每串绝缘子所需片数；

Uph-e—相对地最高运行电压，kV;

λ—不同污秽条件下所需爬电距离，mm/kV；

L01—单片悬式绝缘子的几何爬电距离，mm；

Ke—绝缘子爬电距离的有效系数，取1；

|  |  |
| --- | --- |
| 污秽区 | d级上限 |
| 统一爬电比距 | 50.4mm/kV |
| U300BP/195D双伞瓷绝缘子片数（Lo=480mm） | 22 |
| U160BP/155D双伞瓷绝缘子片数（Lo=450mm） | 23.47 |

8.4.2按操作过电压选择绝缘子片数

本工程的统计操作过电压倍数采用《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T620～1997）中规定的2.2倍值。操作过电压要求的线路绝缘子串正极性操作冲击电压波50%放电电压Usj应符合下式的要求：



式中：U0——计算用最大操作过电压，kV；

K1——线路绝缘子串操作过电压统计配合系数，1.25。

操作过电压的幅值一般按下式表示：





测试表明，操作过电压幅值具有正态分布、韦布尔分布或极值分布的特征。在进行绝缘设计时，一般均假定幅值为正态分布，相应的分散性用标偏系数（σ%）来表示。

操作过电压的幅值一般用下式来表示：



式中：—指大于它的过电压值出现的概率为2%；

—一般在5%~20%范围内，取5%。

因此，考虑到绝缘子串50%放电电压与耐受电压的差异。





正极性操作冲击电压波50%放电电压us.l.i为898.6kV，所要求的绝缘子片数为15片。

从以上可以看出按操作过电压要求的绝缘子片数，少于按工频电压要求的绝缘子片数。

8.4.3按雷电过电压选择绝缘子片数

根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T620～1997）要求，本工程送电线路的耐雷水平应达到100～150kA，本工程送电线路拟采用的主要铁塔塔型，当绝缘子片数为21片，冲击接地电阻为10Ω时，耐雷水平已达到115kA。由于本工程送电线路沿线雷电活动强度较小，雷电流幅值小，由工频电压要求的绝缘子片数，均能满足《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T620～1997）所要求的耐雷水平。

8.4.4海拔高度修正绝缘子片数

依照《架空输电线路电气设计规程》（DL/T 5582-2020），高海拔地区污秽绝缘子的闪络电压，随着海拔升高或气压降低而变化，悬垂绝缘子的片数，宜按下式进行修正。



式中：nH—海拔1000m及以下地区的绝缘子串片数；

H—海拔高度，km；

m1—特征指数，它反映气压对污闪电压的影响程度（取0.38）。

作海拔修正后，绝缘子片数见下表:

本工程按3000m海拔修正后的绝缘子片数见下表:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 污秽等级 | | d级上限 |
| 统一爬电比距 | | 50.4mm/kV |
| U300BP/195D双伞瓷绝缘子片数（Lo=480mm） | 海拔3000m | 24.16 |
| U160BP/155D双伞瓷绝缘子片数（Lo=450mm） | 海拔3000m | 25.77 |

8.4.5绝缘子片数推荐值

经以上计算结果可得出，高海拔污秽地区绝缘子片数的确定，主要取决于工频电压防污闪的要求。随着电力系统操作过电压倍数的降低，操作过电压要求的绝缘子片数已不起控制作用。沿线雷电活动强度很小，雷电流幅值小，由工频电压要求的绝缘子片数，均能满足所要求的耐雷水平。

本工程绝缘子片数的推荐值见下表：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 海拔高度（m）  缘子片数 | | 3000 |
| d级（统一爬电比距50.4mm/kV） | 跳线串合成绝缘子（FXBW-330/120 爬距mm） | 11850 |
| 悬垂串合成绝缘子（FXBW-330/160 爬距mm） | 11850 |
| 悬垂串合成绝缘子（FXBW-330/210 爬距mm） | 11850 |
| 耐张串双伞瓷绝缘子（U300BP/195D lg=480mm） | 2\*25 |
| 进出线档双伞瓷绝缘子（U160BP/155D lg=450mm） | 2\*26 |

8.4.6瓷绝缘子串选型

根据本工程的气象条件、机械负荷和维护情况，本工程跳线串、悬垂串采用120kN、160kN、210kN（用于山区较大档距）级的复合绝缘子，耐张绝缘子串的绝缘子推荐选用300kN级的双伞瓷绝缘子，进出线档耐张绝缘子串的绝缘子推荐选用160kN级的双伞瓷绝缘子。绝缘子主要技术特性如下表：

瓷绝缘子主要机电特性表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 绝缘子型号 | 机械破坏强度不小于kN | 结构高度mm | 盘径mm | 爬电距离mm | 冲击耐受电压kV | 工频电压有效值不小kV |
| U300BP/195D | 300 | 195 | 330 | 480 | 130 | 45（工频一分钟湿耐受电压） |
| U160BP/155D | 160 | 155 | 300 | 450 | 130 | 45（工频一分钟湿耐受电压） |

8.4.7合成绝缘子选型

根据《110～750kV架空输电线路设计规范》（GB 50545-2010）的规定：“在重污区其爬电距离不应小于盘型绝缘子最小要求值的3/4”。另外，参照《国家电网公司物资采购标准高海拔外绝缘配置技术规范》，本工程选用爬电距离为11850mm的复合绝缘子即可满足绝缘强度要求。

合成绝缘子的机电特性与主要尺寸应符合下表要求：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 绝缘子型号 | FXBW-330/120-G | FXBW-330/160-G | FXBW-330/210-G |
| 1 | 海拔高度 | 3000 | 3000 | 3000 |
| 2 | 额定电压 kV | 330 | 330 | 330 |
| 3 | \*额定机械负荷 kN | 120 | 160 | 210 |
| 4 | 结构高度 mm | 3540 | 3540 | 3540 |
| 5 | 最小电弧距离 mm | 3150 | 3150 | 3150 |
| 6 | \*最小公称爬电距离 mm | 11850 | 11850 | 11850 |
| 7 | \*连接标记 | 16 | 20 | 20 |
| 8 | 雷电全波冲击干耐受电压kV ≥ | 1820 | 1820 | 1820 |
| 9 | 操作冲击湿耐受电压 kV ≥ | 1140 | 1140 | 1140 |
| 10 | 工频1分钟湿耐受电压 kV ≥ | 730 | 730 | 730 |

根据《110～750kV架空输电线路设计规范》（GB 50545-2010）规定盘式瓷质绝缘子的机械强度应满足下表所列数值：

绝缘子机械强度安全系数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 状 况 | 常年荷载 | 最大使用荷载 | 断线 | 断联 |
| 安全系数 | 4.0 | 2.7 | 1.8 | 1.5 |

8.4.8 绝缘配合

绝缘子配置如下：

导线悬垂绝缘子双串：2\*FXBW—330/160（复合绝缘子成双串）；

导线悬垂绝缘子双串：2\*FXBW—330/210（复合绝缘子成双串，山区较大档距）；

导线耐张绝缘子串: 2x25xU300BP/195D (双伞瓷绝缘子成双串）；

导线耐张绝缘子串: 2x26xU160BP/155D (双伞瓷绝缘子成双串，进出线档）；

跳线绝缘子串: FXBW—330/120（合成绝缘子成单串）；

8.5空气间隙

根据《110kV-750kV架空输电线路设计规范》（GB50545-2010），本工程不同海拔下的空气间隙值下表8.5-1。

表8.5-1不同海拔的空气间隙

|  |  |
| --- | --- |
| 海拔高度（m）  标称电压间隙 | 3000 |
| 工频电压间隙 （mm） | 1100 |
| 操作过电压间隙（mm） | 2450 |
| 雷电过电压间隙（mm） | 2800 |
| 带电作业间隙（mm） | 2750 |

注：上表中带电作业间隙对操作人员需停留的工作部位还考虑人体活动范围500mm。