



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

(2012年版)

西藏农村电网35kV输电线路典型设计

国家电网公司农电工作部 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

(2012年版)

西藏农村电网35kV输电线路典型设计

国家电网公司农电工作部 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

西藏农村电网 35kV 输电线路典型设计: 2012 年版/国家电网公司农电
工作部组编. —北京: 中国电力出版社, 2013. 3
ISBN 978-7-5123-4152-4

I. ①西… II. ①国… III. ①农村配电-输电线路-设计-西藏
IV. ①TM727.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 043392 号

西藏农村电网 35kV 输电线路典型设计 (2012 年版)

中国电力出版社出版 (北京市东城区北京站西街 19 号 100005 http://www.cepp.sgcc.com.cn)			航远印刷有限公司印刷		
2013 年 4 月第一版	2013 年 4 月北京第一次印刷	880 毫米×1230 毫米	横 16 开本	14.5 印张	479 千字

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

《西藏农村电网 35kV 输电线路典型设计》工作组

牵头单位 国家电网公司农电工作部

成员单位 中国电力科学研究院 西藏电力有限公司

甘肃兰州倚能电力设计咨询有限公司

甘肃白银电力设计有限责任公司

四川绵阳奥瑞特电力设计咨询有限公司

青海天慧电力设计咨询有限公司

前 言

西藏农村电网建设与改造是国家新一轮农网改造升级工作的重点,为有效解决西藏电力有限公司农网工程设计施工力量弱、工程建设进度慢等问题,加快推进西藏农村电网建设与改造,改善西藏生产生活条件,助推西藏经济社会发展,国家电网公司农电工作部会同基建部、运检部、营销部等相关部门,自2011年12月以来,组织西藏电力有限公司、中国电力科学研究院、甘肃兰州倚能电力设计咨询有限公司、甘肃白银电力设计有限责任公司、四川绵阳奥瑞特电力设计咨询有限公司、青海天慧电力设计咨询有限公司6家单位,近百名科研、设计人员,历时6个月,编制完成《西藏农村电网110kV变电站典型设计(2012年版)》《西藏农村电网110kV输电线路典型设计(2012年版)》《西藏农村电网35kV变电站典型设计(2012年版)》《西藏农村电网35kV输电线路典型设计(2012年版)》《西藏农村电网10kV配电线路及台区典型设计(2012年版)》5个分册。

西藏农村电网典型设计是国家电网公司标准化建设成果的有机组成部分,典型设计以基建标准化建设成果为基础,贯彻全寿命周期设计理念和方法,总结、提炼已有西藏农网工程设计、建设经验和成果,综合考虑西藏地区海拔高、气温低、温差大、日照强、冻土等地理、地形和气象特点,符合“设计标准化、设备成套化、采购超市化、施工装配化、工艺规范化”的设计思路,努力做到统一性与可靠性、灵活性、适应性、先进性和经济性的协调统一。典型设计包括以下内容:110kV变电站典型设计共4类,18个方案;110kV输电线路典型设计包括3个气象区、1种杆塔材质,共6个模块,48种杆塔;35kV变电站典型设计共3类,4个方案;35kV输电线路典型设计包括3个气象区、2种杆塔材质,共16个模块,92种杆塔;35kV配电工程典型设计包括35kV柱上变压器台、35kV箱式变电站和35kV直供变压器台3类典型设计,共3个方案;35kV配电化线路典型设计共1个模块,16种杆型;10kV配电工程典型设计包括10kV箱式变电站和柱上变压器2类典型设计,共2个方案;10kV配电线路典型设计共4个模块、72种杆型。

为方便有关设计人员使用,除常规的设计说明、图纸外,还编制了典型设计使用说明。使用说明对典型设计的使用条件、方案选用、拼接方法、组合条件等进行了详细说明。

由于编者水平有限,错误和遗漏在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2013年3月

目 录

前言

第一篇 总 论

第 1 章 概述	1	第 6 章 杆塔结构优化	9
第 2 章 编制过程	2	第 7 章 主要技术特点	11
第 3 章 设计依据	3	第 8 章 差异化说明	11
第 4 章 模块划分及分工	3	第 9 章 总体使用说明	12
第 5 章 主要设计原则和方法	4		

第二篇 35kV 输电线路典型设计

第 10 章 35A 模块	14	第 12 章 35C 模块	123
第 11 章 35B 模块	27		

附录 西藏农村电网建设与改造技术要点

第 1 章 目的及范围	219	第 6 章 中压配电网	222
第 2 章 规范性引用文件	219	第 7 章 低压配电网	223
第 3 章 术语和定义	219	第 8 章 自动化及通信	224
第 4 章 总则	220	第 9 章 无功补偿	224
第 5 章 高压配电网	220		



第一篇

总 论

第 1 章 概 述

1.1 典型设计的内容

西藏农村电网工程典型设计是国家电网公司标准化建设成果的有机组成部分。典型设计以基建标准化建设成果为基础,贯彻全寿命周期设计理念和办法,总结、提炼已有西藏农村电网输变电工程设计建设和成果,综合考虑西藏地区海拔高、气温低、温差大、日照强、冻土等地理、地形和气象特点,形成 110kV 输电线路、35kV 输电线路、110kV 变电站、35kV 变电站、10kV 配电线路、配电台区(箱式变电站)、配电台区(柱上变压器)共 7 个分册。

1.2 典型设计的编制原则

开展西藏农村电网 35kV 输电线路典型设计的原则是:安全可靠、环保节约;技术先进、标准统一;提高效率、合理造价;在努力做到统一性、可靠性、适应性、先进性、经济性与灵活性的协调统一的前提下,达到“设计标准化、设备成套化、施工装配化、工艺规范化、运维少人化”等要求,满足西藏农村电网工程建设需要。

(1) 统一性:典型设计的基本方案统一,适用标准统一,外部形象体现国家电网公司企业文化特征。

(2) 可靠性:各个模块安全可靠,通过模块拼接得到的技术方案安全可靠。

(3) 适应性:典型设计要考虑西藏地区的实际情况,在西藏农村电网建设时具有广泛的适用性。

(4) 先进性:推广应用电网新技术,典型设计各项技术经济可比指标先进。

(5) 经济性:综合考虑工程初期投资与长期运行费用,追求工程寿命期内最佳的经济效益。

(6) 灵活性:典型设计模块划分合理,接口灵活,组合方案多样,增减方便,便于使用。

(7) 设计标准化:本典型设计均采用模块化设计手段,针对西藏地区高海拔、高寒的地理环境特点,遵循国家电网公司输变电工程典型设计原则,努力做到建设标准标准化、基建和生产运行要求标准化、外部形象风格标准化,体现输变电工程设施定位要求和国家电网公司企业文化特征。

(8) 设备成套化:为达到设备成套化的要求,方便今后实际工程中的设备运输及设备组装,结合西藏地区实际特点,本次设计大量减少混凝土杆的使用,混凝土杆仅用于直线段,并采用标准化的锥形普杆;转角(耐张)杆塔采用角钢铁塔。

(9) 施工装配化:本次典型设计在吸收以往经验的基础上,混凝土杆采用标准化的锥形普杆,并且采用法兰盘连接方式;角钢铁塔设计过程中尽量减小铁塔分段的段长,达到了现场安装施工便捷性要求,实现了大散件生产组装方式,在现场施工中也达到了施工装配化的要求。

(10) 工艺规范化:西藏高海拔地区现场施工难度较大、施工人力匮乏,以往 35kV 线路多采用拉线水泥杆且采用焊接方式。由于施工人员的作业水平不一,造成了很多施工工艺的不规范,给线路的安全运行留下了很多隐患。本

次典型设计在吸收以往经验的基础上，在直线杆塔上采用标准化的锥形普杆，并且采用法兰盘连接方式取代常规的焊接连接，减少了由于施工人员在焊接作业中水平不一造成的工程质量的参差不齐；在转角杆塔上摒弃了拉线水泥杆而采用角钢铁塔，减少了拉线盘开挖、拉线金具组装等作业，而角钢铁塔的螺栓连接保证了施工工艺的规范化。

(11) 运维少人化：西藏地区农村电网线路普遍距离较长，全区内 35kV 农村电网线路普遍分布于少人区或无人区，维护困难。为减少线路工程维护量，典型设计重点考虑：①水泥杆考虑无拉线设计；②提高绝缘水平，减少因绝缘引起的线路故障；③适当提高抗冰、抗风设计标准，减少因冰、因风引起的倒塔断线事故；④考虑防鸟害装置，减少鸟害事故。

1.3 典型设计的工作组织

为加强组织协调工作，成立了西藏农村电网输变电工程典型设计工作组、

编制组和专家组，分别开展相关工作。

工作组是以国家电网公司农电工作部为组长单位，公司有关部门、西藏电力有限公司（简称“西藏公司”）为副组长单位，绵阳奥瑞特电力设计咨询有限公司等单位为成员单位，主要负责典型设计总体工作方案策划，组织、指导和协调典型设计研究编制工作。

编制组由甘肃白银电力设计有限公司、兰州倚能电力设计咨询有限公司、绵阳奥瑞特电力设计咨询有限公司、青海天慧电力设计咨询有限责任公司组成，分工负责西藏农村电网 110kV 输电线路、110kV 变电站、35kV 输电线路、35kV 变电站、10kV 配电线路、配电台区（箱式变电站）、配电台区（柱上变压器）。

专家组由国家电网公司总部相关部门、西藏公司，设计、生产运行、科研等相关单位的专家组成，受国家电网公司委托，负责技术原则和方案的评审。

第 2 章 编 制 过 程

根据 2011 年 12 月 6 日国家电网公司农村电网改造升级领导小组办公室第四次会议精神，农电工作部针对国家电网公司西藏农村电网工程典型设计，于 2011 年 12 月 20 日召开启动会。2012 年 2 月 14 日召开了《西藏农村电网改造升级技术要点》及《农网 10kV 标准化施工工艺说明》审查会，2012 年 3 月 8 日召开《西藏农村电网典型设计方案》审查会，2012 年 5 月 10、11 日召开“西藏农村电网典型设计”审查会，2012 年 5 月 31 日形成最终成果，具体编制过程如下。

2011 年 12 月 20 日，国家电网公司农电工作部召开《组织帮扶西藏公司编制农村电网项目典型设计工作方案》启动会，听取西藏公司农村电网建设工程专项帮扶需求的情况汇报，对西藏农村电网工程建设进行需求分析，结合西藏地区特有的地理环境特点，制定帮扶工作的工作思路及目标任务，确定任务分工，提出预期成果形式，确定了满足西藏地区农村电网建设要求的 110kV 输变电、35kV 输变电、10kV 配电典型设计方案。

2012 年 2 月 14 日，国家电网公司农电工作部召开了《西藏农村电网改造升级技术要点》及《农网 10kV 标准化施工工艺说明》审查会，确定编

制典型设计思路及方案的指导原则，明确帮扶西藏公司农村电网项目典型设计工作的进度要求，细化各个编制单位的工作安排，开展典型设计初稿编制工作。

2012 年 3 月 8 日，国家电网公司农电工作部召开《西藏农村电网典型设计方案》审查会，明确了“设备宜采用工厂化生产的模块化、集装箱等模式，现场大散件组装方式”的设计思路，进一步提出要紧紧围绕“设备成套化，施工装配化、运维少人化”的要求开展典型设计，以达到“施工安装简约、运行维护简单”的目的。

2012 年 4 月上旬，各设计单位形成典型设计初稿，送西藏公司征求意见。

2012 年 4 月 16 日~4 月 23 日，开展西藏农村电网输变电工程现状和建设需求现场调研，收集西藏公司已运行的线路及变电站的运行数据，并与西藏公司各个相关部门就典型设计情况开展讨论，提出修改调整意见。

2012 年 4 月底，各个设计单位汇总梳理调研和讨论的反馈意见，完成修改工作，形成西藏农村电网典型设计的送审稿。

2012 年 5 月 10、11 日，国家电网公司农电工作部在北京召开“西藏农网

工作典型设计”审查会，国家电网公司农电工作部、发展策划部、基建部、科技部，中国电力科学研究院，国网经济技术研究院，西藏公司，西南电力设计院，西藏水电设计院等相关单位的专家参加了会议，会议对西藏农村电网典型

设计进行了评审，形成了评审意见。

2012年5月中下旬，各设计单位根据评审会专家意见，对典型设计进行修改完善和排版统稿，形成最终典型设计成果。

第 3 章 设 计 依 据

3.1 设计依据性文件

国家电网公司西藏农村电网改造升级技术要点
国家电网公司西藏农网工程典型设计审查会议纪要

3.2 主要设计标准

GB 50009—2012 建筑结构荷载规范
GB 50017—2003 钢结构设计规范
GB 50061—2010 66kV 及以下架空电力线路设计规范
GB/T 700—2006 碳素结构钢
GB/T 1179—2008 圆线同心绞架空导线

GB/T 1591—2008 低合金高强度结构钢
GB/T 3098.1—2000 紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱
GB/T 3098.2—2000 紧固件机械性能 螺母 粗牙螺纹
GB/T 3098.4—2000 紧固件机械性能 螺母 细牙螺纹
GB/T 26218.1—2010 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定
第1部分：定义、信息和一般原则
DL/T 562—1995 高海拔污秽地区悬式绝缘子片数选用导则
DL/T 620—1997 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合
DL/T 5131 农村电网建设与改造技术导则
DL/T 5154—2002 架空送电线路杆塔结构设计技术规定
DL/T 5442—2010 输电线路铁塔制图和构造规定

第 4 章 模块划分及分工

4.1 定义及划分原则

本典型设计为适应西藏地区高原地形及气象条件，结合西藏 35kV 农村电网线路特点，定义为西藏农村电网 35kV 输电线路典型设计。本典型设计 35kV 模块按线路单回、双回、海拔（2000～3000m，3000～4000m，4000～5000m）进行划分，共 16 个子模块。

4.2 模块划分及编号

本典型设计模块划分及编号见表 4-1。

表 4-1 西藏农村电网 35kV 输电线路典型设计模块划分及编号

模块编号	回路数	杆塔类型	导线型号	气象条件	塔型	海拔高度（m）
35A1	单	混凝土杆	JL/G1A-120	10mm、30m/s	上字型	2000～4000
35A2		混凝土杆	JL/G1A-120	10mm、35m/s	上字型	4000～5000
35A3		混凝土杆	JL/G1A-185	10mm、30m/s	门型	2000～4000
35A4		混凝土杆	JL/G1A-185	10mm、35m/s	门型	4000～5000
35B1	单	角钢塔	JL/G1A-120	10mm、27m/s	上字型	2000～3000
35B2		角钢塔	JL/G1A-120	10mm、30m/s	上字型	3000～4000
35B3		角钢塔	JL/G1A-120	10mm、35m/s	上字型	4000～5000
35B4		角钢塔	JL/G1A-185	10mm、27m/s	上字型	2000～3000
35B5		角钢塔	JL/G1A-185	10mm、30m/s	上字型	3000～4000
35B6		角钢塔	JL/G1A-185	10mm、35m/s	上字型	4000～5000

续表 4-1

模块编号	回路数	杆塔类型	导线型号	气象条件	塔型	海拔高度 (m)
35C1	双	角钢塔	JL/G1A-120	10mm、27m/s	鼓型	2000~3000
35C2		角钢塔	JL/G1A-120	10mm、30m/s	鼓型	3000~4000
35C3		角钢塔	JL/G1A-120	10mm、35m/s	鼓型	4000~5000
35C4		角钢塔	JL/G1A-185	10mm、27m/s	鼓型	2000~3000
35C5		角钢塔	JL/G1A-185	10mm、30m/s	鼓型	3000~4000
35C6		角钢塔	JL/G1A-185	10mm、35m/s	鼓型	4000~5000

4.3 设计分工

本典型设计模块分工：35A1、35A2、35A3、35A4、35B1、35B2、35B3、35B4、35B5、35B6、35C1、35C2、35C3、35C4、35C5、35C6 由绵阳奥瑞特电力设计咨询有限公司负责设计。

4.4 杆塔命名

本着“唯一性、相容性、方便性和扩展性”的原则，确定了典型设计的杆

塔命名方式。

35kV 杆塔名称由下述三部分组成。

[模块编号] - [塔型名称] [杆塔编号]

(1) 模块编号：由三部分组成，对应典型设计的各个设计模块。

第一部分为电压等级：35——35kV。

第二部分为杆塔代号：A——混凝土杆；B——单回角钢塔；C——双回角钢塔。

第三部分为模块代号：1、2、3、……

(2) 塔型名称。

直线杆塔部分：Z——单回路直线杆、塔，SZ——双回路直线杆、塔。

转角杆塔部分：J——单回路耐张转角杆塔，SJ——双回路耐张转角杆塔。

(3) 杆塔编号：1、2、3、……即杆塔编号。

例如：35A1-Z1 代表电压等级为 35kV，混凝土杆 1 模块中单回路直线 1 型杆；35C3-SJ2 代表电压等级为 35kV，角钢塔 3 模块中同塔双回路耐张转角塔的 2 型塔。

第 5 章 主要设计原则和方法

5.1 设计气象条件

本典型设计用于西藏地区，根据收集目前西藏地区已有 35、110kV 线路设计、运行调研情况，按照各种基本风速和设计覆冰组合条件，结合 GB 50061—2010 中的典型气象区，对其他气象要素进行了适当归并，提出各海拔高程的三种设计冰风组合条件：

海拔 2000～3000m 地区：覆冰 10mm，最大风速 27m/s，最低温度 -20℃；

海拔 3000～4000m 地区：覆冰 10mm，最大风速 30m/s，最低温度 -30℃；

海拔 4000～5000m 地区：覆冰 10mm，最大风速 35m/s，最低温度 -40℃。

各主要设计气象组合见表 5-1～表 5-3。

表 5-1 海拔 2000～3000m 气象条件组合（条件 I）

项目 条件	温度 t (℃)	风速 v (m/s)	冰厚 b (mm)
最低气温	-20	0	0
平均气温	5	0	0
最大风速	-5	27	0
覆冰	-5	10	10
最高气温	40	0	0
安装情况	-10	10	0
外过电压	15	10	0
内过电压	5	15	0
冰的密度 (g/cm ³)	0.9		
年平均雷电日 (d/a)	80		

表 5-2 海拔 3000~4000m 气象条件组合 (条件Ⅱ)			
项目 条件	温度 t (°C)	风速 v (m/s)	冰厚 b (mm)
最低气温	—30	0	0
平均气温	5	0	0
最大风速	—5	30	0
覆冰	—5	10	10
最高气温	40	0	0
安装情况	—15	10	0
外过电压	15	10	0
内过电压	5	15	0
冰的密度 (g/cm ³)	0.9		
年平均雷电日 (d/a)	80		

表 5-3 海拔 4000~5000m 气象条件组合 (条件Ⅲ)			
项目 条件	温度 t (°C)	风速 v (m/s)	冰厚 b (mm)
最低气温	—40	0	0
平均气温	—5	0	0
最大风速	—5	35	0
覆冰	—5	10	10
最高气温	40	0	0
安装情况	—15	10	0
外过电压	15	15	0
内过电压	—5	18	0
冰的密度 (g/cm ³)	0.9		
年平均雷电日 (d/a)	90		

5.2 导线和地线

目前我国导线标准采用 GB/T 1179—2008，该标准基本参照 IEC 相关的架空线路导线标准编制的，在导线设计、制造和检验方面基本与国际接轨。所以推荐采用 GB/T 1179—2008 标准。

根据目前西藏地区农村电网 35kV 线路设计调研情况，结合西藏地区农村电网分布及今后 20 年负荷预测发展情况，推荐导线采用 JL/G1A-120/20 和 JL/G1A-

185/30 钢芯铝绞线。对应推荐采用的各种导线的主要技术参数见表 5-4。

表 5-4 导线参数表			
导线型号		JL/G1A-120/20	JL/G1A-185/30
结构 (根数/直径, mm)	铝	26/2.38	26/2.98
	钢	7/1.85	7/2.66
计算截面积 (mm ²)	铝	115.67	181.34
	钢	18.82	29.59
	总计	134.49	210.93
直径 (mm)		15.07	18.88
单位质量 (kg/km)		466.8	732.6
综合弹性系数 (MPa)		76000	76000
线膨胀系数 (1/°C)		0.0000189	0.0000189
计算拉断力 (N)		41000	64320
20℃ 直流电阻 (Ω/km)		0.2496	0.1592

输电线路地线主要根据系统对地线是否有特殊要求来进行选择，根据对西藏地区的调研情况，地线推荐采用镀锌钢绞线。对应推荐采用的各种地线的主要技术参数见表 5-5。

表 5-5		地 线 参 数 表	
地 线 型 号		1×7-9.0-1270-B (GJ-50)	1×7-11.4-1270-B (GJ-80)
结构 (根数/直径, mm)		7/3.00	7/3.80
计算截面积 (mm²)	总计	49.48	79.39
直径 (mm)		9.0	11.4
单位质量 (kg/km)		411.9	630.4
综合弹性系数 (MPa)		185000	185000
线膨胀系数 (1/℃)		0.000115	0.000115
计算拉断力 (N)		57800	92750

导线安全系数取 2.5，年平均运行张力取 25%。地线安全系数、年平均运行张力百分数的选择应根据不同的覆冰厚度、导地线配合、荷载计算等具体条件确定，但地线安全系数原则上应大于导线安全系数。

5.3 绝缘配合及防雷保护

5.3.1 绝缘配合原则

依照 GB 50061—2010 和 DL/T 620—1997 进行绝缘配合设计，使输电线路能在工频电压、操作过电压和雷电过电压等各种情况下安全可靠地运行。

根据目前西藏地区已有电力线路的设计、运行情况，大量的线路处于Ⅰ、Ⅱ级污秽区，因此选择按Ⅱ级污秽区进行绝缘配合设计。若在具体工程的设计中，线路经过地区污秽程度低于或高于上述条件时，可以通过采用不同的绝缘子型式来满足要求。在一般线路的绝缘设计上，以防污设计为主，但由于西藏地区高海拔、空气稀薄等自然环境特殊因素的影响，防污设计已不再是控制性因素，更多考虑的是高海拔空气放电间隙的影响。

5.3.2 绝缘子片数及串长

依照规范按工频电压的爬电距离要求来确定绝缘子片数，可由下式计算

n \geq \frac{dU_e}{KL_0}

式中 n——直线杆塔绝缘子串的绝缘子片数；

U_e——线路额定电压，kV；

d——单位爬电比距，cm/kV；

L₀——绝缘子几何爬电距离，cm；

K——有效系数，一般取 1.0。

由于绝缘子应用于西藏高海拔地区，须根据设计规程 GB 50061—2010 中 6.0.7 公式对上式进行修正，同时结合西藏地区 35kV 线路运行经验进行适当增加，确定各海拔高度绝缘子配置片数见表 5-6。

表 5-6 35kV 绝缘子片数选择一览表				
电压等级 (kV)	回路	海拔高度 (m)	悬垂绝缘子 片数 (片)	耐张绝缘子 片数 (片)
35	单、双	2000~3000	5	6
	单、双	3000~4000	5	6
	单、双	4000~5000	6	7

注 悬垂Ⅰ串单串长度为 1200mm，悬垂Ⅰ串双串长度为 1400mm，单联耐张串长度为 1500mm，双联耐张串长度为 1700mm，跳线串长度为 1200mm。

耐张绝缘子串受力比悬垂绝缘子串大，容易产生零值绝缘子，因而通常使用耐张绝缘子片数比同级悬垂串绝缘子片数增加 1~2 片。

根据西藏地区线路分布区域地形、地貌等自然特点，结合本典型设计杆塔荷载，确定悬垂串、耐张串均采用 70kN 绝缘子单、双联成串。绝缘子串组合型式及使用范围见表 5-7。

表 5-7 绝缘子串组合型式及使用范围			
组装方式		使用塔型	使用范围
悬垂Ⅰ串	70kN 单联	直线塔	一般地区
	70kN 双挂点双联	直线塔	重要的交叉跨越及大垂直荷载档
跳线串	单联 70kN	耐张塔	
耐张串	单、双联 70kN	耐张塔	

5.3.3 空气间隙

空气间隙按照规程的相关规定选择，高海拔地区根据规程中的公式进行相应修正，同时结合西藏地区已有线路运行调研情况进行适当增加，推荐采用的空气间隙值见表 5-8。

表 5-8 35kV 空气间隙推荐采用数值					单位：m
回路	海拔高度	空气间隙			
		运行电压	内过电压	雷电过电压	
单、双	2000~3000	0.15	0.4	0.65	
单、双	3000~4000	0.18	0.45	0.7	
单、双	4000~5000	0.20	0.5	0.75	

5.3.4 间隙圆

各模块直线杆塔的间隙圆绘制原则如下：

计算直线杆塔悬垂串风偏角时，水泥杆以下导线平均高度取 10m、角钢塔以下导线平均高度取 15m 为基准高度，由此分别推算下、中、上导线高空风压系数。

在杆塔塔头设计中绝缘子串风偏计算时，当基本风速≥27m/s 时，风压不均匀系数 α 取 0.61；当 20m/s≤基本风速<27m/s 时，α 取 0.75；当基本风速<20m/s 时，α 取 1.0。在具体工程校验杆塔电气间隙时，风压不均匀系数 α 随水平档距变化取值。

计算悬垂绝缘子串风偏角时，采用复合绝缘子计算。计算跳线串风偏角

时，风压不均匀系数取 1.0。

参照以上原则分别计算出各相在最大风速、操作过电压、雷电过电压等工况下的风偏角，并按导线和第一个带电金具分别校验塔头的电气间隙。

直线塔按照单联Ⅰ串规划塔头，同时满足工程应用中挂两个独立单联作为Ⅰ串双联，绘制杆塔施工图时须明确双联串间距。

5.3.5 带电作业

35kV 电压等级线路杆塔不考虑带电作业间隙取值。

5.3.6 防雷保护

35kV 杆塔考虑了有地线和无地线两种情况。

对有地线的混凝土门型杆、双回路铁塔按照双地线设计，对有地线的混凝土单杆、单回路铁塔按单地线设计。

地线对导线的保护角：铁塔不大于 25°，混凝土杆不大于 30°。

5.4 塔头布置

根据规程规范的要求，结合对西藏地区 35kV 线路多年设计运行经验的调研情况进行适当调整，导地线布置按以下原则执行。

（1）杆塔相邻导、地线间和垂直排列的上下导线之间的最小水平偏移应不小于 0.35m。

（2）导线垂直排列时，相邻导线最小垂直线间距离不小于水平线间距离计算值的 75%，双回路塔不同回路的不同相导线间的最小水平距离应较水平线间距离计算值大 0.5m。

（3）根据西藏地区独有的地理环境特点，塔头计算尺寸须根据各海拔高度系数进行修正。

（4）转角塔内、外侧跳线串安装按跳线间隙计算确定，推荐按表 5-9 设计。

表 5-9 跳线串安装原则表		
转角度数 (°)	转角外侧	转角内侧
0~20	单串	单串
20~40	单串	
40~60	单串	
60~90	单串	

（5）国内 35kV 线路单回路导线布置方式大多为上字型排列，所以单回路部分除门型混凝土杆采用水平布置外，其他均采用上字型布置。

国内 35kV 线路双回路导线布置方式大多为鼓型排列，所以只考虑鼓型排列。

直线杆塔的导线挂线点均采用Ⅰ型串，须分别按照单挂点和双挂点进行设计，地线采用单挂点。

导线Ⅰ型悬垂串联塔金具采用 UB 挂板，地线悬垂串的联塔金具采用 UJ-1880。

导线耐张串及地线耐张串均采用单挂点，联塔金具采用 EB 挂板，跳线串采用 UJ-1880。

5.5 杆塔规划

杆塔规划是在对西藏地区已有 35kV 线路水平档距、垂直档距、垂直档距系数、转角度数分布等进行了统计，同时通过对在西藏有设计经验的设计院进行调研，在对统计结果、以往设计经验进行分析、整理的基础上进行杆塔规划。

水泥杆系列只考虑了直线杆型，包括直线单杆、直线门型杆两种，分别按有地线和无地线进行设计。直线单杆导线采用上字型排列，直线门型杆导线采用水平排列。各直线杆的水平档距为：直线单杆 100m，直线门型杆 150m。各直线杆呼高范围为：直线单杆 9.25~11.85m，直线门型杆 9.8~14.4m。

角钢塔均按平腿设计。

直线塔规划有三种塔型，导线采用上字型排列方式。

各直线塔的水平档距为：Ⅰ型塔 250m，Ⅱ型塔 400m，Ⅲ型塔 600m。各直线杆塔的最小垂直档距系数 K_v 取值为：Ⅰ型塔 0.80，Ⅱ型塔 0.75，Ⅲ型塔 0.70。各直线塔呼高范围为：Ⅰ型塔 12~24m，Ⅱ型塔 12~30m，Ⅲ型塔 12~27m。

转角塔规划有四种塔型，按转角度数的划分采用 0°~20°、20°~40°、40°~60°、60°~90°方案，其中 60°~90°方案兼作 0°~90°终端塔。铁塔呼高范围为 12~24m。

直线塔型的计算呼高均取最高呼高减 3m，耐张塔型的计算呼高均取最高

呼高，水泥杆各种杆型的计算呼高均取最高呼高。
各杆塔的设计垂直档距取设计水平档距的 1.5 倍，并按 50m 取整。

5.6 杆塔荷载

铁塔荷载组合按 GB 50061—2010、DL/T 5154—2002 的要求进行组合。

5.6.1 气象条件的重现期

35kV 输电线路取 30 年。

5.6.2 设计风速离地高度

风速离地高度取 10m。

5.6.3 杆塔荷载组合及特殊的考虑

铁塔荷载组合条件均满足 GB 50061—2010、DL/T 5154—2002 中所规定的杆塔正常、事故、安装的强度要求。

结合典型设计特点及西藏地区的实际情况，对有些情况作了特殊规定，说明如下：

- (1) 各直线杆塔的塔身风荷载按照最高呼高计算，线条风荷载按照最高呼高减 3m 计算。耐张塔均按照最高呼高计算。
- (2) 直线塔的导线采用 I 型串，按照前、后、中三个挂点设计，前后两挂点的垂直荷载按照 4：6 分配。
- (3) 耐张塔前后挂点的水平、垂直荷载按照 3：7 分配，且应考虑一侧上拔情况，其上拔垂直荷载按照设计垂直档距的 50% 计算。
- (4) 由于直线塔的荷载较小，考虑锚线后铁塔重量增加较多，所以直线塔不考虑锚线工况。
- (5) 双回路模块需考虑分期架设的工况。
- (6) 综合考虑导、地线安装时初伸长、过牵引、施工误差等因素，导线张力增加 15%，地线张力增加 8%。

5.7 杆塔结构设计方法

杆塔结构设计采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，结构的极限状态是指结构或构件在规定的各种荷载组合作用下或在各种变形或裂缝的限值条件下，满足线路安全的临界状态。极限状态分为承载力极限状态和正常使用极

5.7.1 承载力极限状态

结构或构件的强度、稳定和连接强度，应按承载力极限状态的要求，按荷载效应的基本组合进行荷载组合，并应采用下列设计表达式进行设计：

$$\gamma_G C_G G_K + \Psi \gamma_Q \sum C_{Qi} Q_{iK} \leqslant R$$

- 式中 γ_G ——永久荷载分项系数，对结构受力有利时，取 1.0，不利时取 1.2；
 γ_Q ——第 i 项可变荷载的分项系数，应取 1.4；
 C_G ——永久荷载的荷载效应系数；
 C_{Qi} ——第 i 项可变荷载的荷载效应系数；
 G_K ——永久荷载的标准值；
 Q_{iK} ——第 i 项可变荷载的标准值；
 Ψ ——可变荷载组合系数，正常运行情况宜取 1.0，耐张型杆塔断线工况和各类杆塔的安装工况宜取 0.9，直线型杆塔断线工况和各类杆塔的验算工况宜取 0.75；
 R ——结构构件抗力的设计值。

5.7.2 正常使用极限状态

结构或构件的变形或裂缝，应按正常使用极限状态的要求，采用荷载的标准组合，达到

$$C_G G_K + \Psi \sum C_{Qi} Q_{iK} \leqslant \delta$$

式中 δ ——构件的裂缝宽度或变形的规定限制值，mm。

5.7.3 杆塔使用材料的原则和要求

(1) 杆塔材料。钢材材质为现行国家标准 GB/T 700—2006 中规定的 Q235 系列、GB/T 1591—2008 中规定的 Q345 系列。按实际使用条件确定钢材级别，钢材的强度设计值见表 5-10。

表 5-10		钢材的强度设计值		单位：N/mm ²
钢 材		抗拉、抗压和抗弯	抗 剪	
牌号	厚度或直径（mm）			
Q235 钢	≤16	215	125	
	>16~40	205	120	
	>40~60	200	115	
	>60~100	190	110	

续表 5-10

钢 材		抗拉、抗压和抗弯	抗 剪
牌号	厚度或直径 (mm)		
Q345 钢	≤16	310	180
	>16~35	295	170
	>35~50	265	155
	>50~100	250	145
	>16~35	395	230
	>35~50	380	220
	>50~100	360	210

螺栓和螺母的材质及其特性应分别符合 GB/T 3098.1—2000、GB/T 3098.2—2000、GB/T 3098.4—2000 的规定，螺栓的强度设计值见表 5-11。

表 5-11		螺栓的强度设计值		单位：N/mm ²	
螺栓类型	等级	抗拉	抗剪		
镀锌粗制螺栓	4.8	200	170		
	5.8	240	210		
	6.8	300	240		
	8.8	400	300		
锚栓	Q235	160			
	35 号优质碳素钢	190			
	45 号优质碳素钢	215			

(2) 角钢塔应用原则及范围。

1) 角钢塔构件一般应采用 Q235 及以上强度的热轧角钢。角钢型号及最小厚度为：L40×4、L45×3、L45×4、L50×4、L56×4、L63×4、L63×5、L70×5、L70×6、L75×5、L75×6、L80×6、L80×7、L90×6、L90×7、L100×7、L100×8、L110×7、L125×8、L140×12、L160×14、L180×14、L180×16、L200×14。L63×5 及以上角钢规格可以采用 Q345 材质。

2) Q420 及以上高强钢，经技术经济比较具有优势时可采用。一般情况下，杆塔构件规格不小于 L125×10（肢宽×厚度），可采用高强角钢。

3) 运输安装困难地区，宜采用角钢塔。

(3) 构件连接方式。杆塔构件采用螺栓连接，塔脚及局部结构采用焊接，螺栓有 M16、M20（6.8 级）、M24 及以上规格（8.8 级）。

5.7.4 铁塔与基础的连接方式

杆塔与基础的连接采用地脚螺栓的方式。

接地孔为两个 φ17.5 孔，竖排，间距取 50mm，四个塔腿均设置，位置在面向塔身的右侧主材正面上，位于靴板（座板式）上方 300mm 左右，且离基础主柱顶面高度不宜大于 1500mm。

5.8 防鸟措施

目前西藏农村电网中鸟害事故呈上升趋势，本典型设计在收资基础上，考虑在铁塔上预留将来加装防鸟害措施的可能性。

第 6 章 杆 塔 结 构 优 化

6.1 结构优化的主要原则

在杆塔结构的优化设计中，主要遵循以下原则：

- (1) 满足现行规程规范的要求。
- (2) 减少线路走廊的宽度。
- (3) 降低钢材耗量。
- (4) 结构布置合理、形式简洁，传力路线直接、简短、清晰。

(5) 优化主材节间，充分发挥构件的承载能力。

(6) 方便加工和施工。

6.2 塔头部分的优化

塔头部分的优化，主要是在满足电气间隙要求的前提下，尽量减少线路走廊宽度、优化结构布置和杆件受力。

6.3 塔身坡度优化

铁塔塔身坡度取值对铁塔单基重量有着重要的影响，它直接影响铁塔主材、斜材的规格和基础的经济指标。合理的塔身坡度应使塔身主材应力分布的变化与材料规格的变化相协调，使主材受力均匀；同时，还应考虑到塔身坡度对铁塔占地面积和基础造价的影响，力求做到铁塔和基础综合造价最低。

塔身上下口的大小，即铁塔根开和塔身坡度与构件的受力状态有直接的关系。塔身坡度越大，主材受力越小、基础作用力也越小，但斜材长度和辅助材长度增加；反之，主材受力加大，基础作用力也越大，但斜材长度减小。为保证铁塔具有足够的刚度，变形满足要求，塔身上下口取值不宜过小，但塔身坡度存在最佳值，为此，通过反复计算比较，找出各塔型的最佳坡度。下面，以2000~3000m海拔的 Z1 直线塔为例来进行详细分析，由塔身坡度变化引起的铁塔重量和基础作用力的变化见表 6-1。

表 6-1 Z1-24 塔重及基础作用力表						
塔型	呼高 (m)	塔身 坡度	塔重 (t)	铁塔根开 (m)	基础作用力 (kN)	
					上拔力	下压力
Z1-24	24.0	0.05	2.75	1.99	225.41	247.56
		0.07	2.51	2.45	193.98	218.35
		0.09	3.03	3.41	182.67	205.36
		0.11	3.31	4.37	169.18	189.45

从表 6-1 可看出，当 Z1 直线塔塔身坡度取值为 0.07 时，其铁塔重量最轻，基础作用力较小，基础根开适宜（可保证铁塔具有足够的整体刚度，铁塔变形满足使用要求），铁塔及基础的综合造价最优，故 Z1 直线塔塔身坡度取值为 0.07。

其余塔型的塔身坡度取值同样采用上述措施进行综合技术经济比较，以求得各塔型的最佳坡度值。

6.4 塔身隔面设置优化

随意增加塔身隔面，不仅会使铁塔传力复杂，还可能引起铁塔重量的增加。因此，在铁塔结构布置过程中，在满足技术规定的前提下，尽量减少横隔面的设置。同时为防止铁塔传力变得复杂，横隔面的设置应不影响铁塔的正常传力路线，避免塔身交叉材同时受压的发生。

横隔面为几何不变体系，其形状也对铁塔重量有较大影响，当塔身断面尺寸较小时，可采用简单的十字交叉形式；塔腿顶面处的横隔面尺寸较大，在布置时尽量减小构件的计算长度，减小构件规格，以达到降低横隔面重量的目标。

6.5 传力路线优化

优化力的传递路线，不但对降低塔重有重要意义，对保证杆塔结构稳定也有特别重要的意义。例如横担的剪力，若通过横担上下平面传递，不但使塔重有所增加，而且对上平面带来不利影响。另外，横担剪力通过下平面传递，若靠近塔身的斜材布置为交叉型式，应避免在结构上出现较大的偏心。

6.6 主材布置及节间优化

节点构造是杆塔结构设计的一个重要环节，直接关系到构件承载力设计值与实际承受力是否相符，对杆塔的安全可靠运行十分重要，同时也影响杆塔重量。在杆塔结构设计中应遵循以下几点优化原则：

- （1）避免相互连接的杆件夹角过小，减小杆件的负端距。
- （2）节点连接要紧凑、刚度强、节点板面积小。
- （3）尽量减小杆件偏心连接，减小偏心弯矩对杆件承载力的不利影响。
- （4）两面连接的杆件避免对孔布置，减小杆件断面损失。
- （5）合理确定杆件长度，减少包铁连接数量，为进一步降低塔材耗量创造条件。

6.7 节点连接优化

输电线路铁塔塔身主材肢宽一般较大，斜材多布置为交叉型式，交叉斜材应利用主材的多排芯线尽量伸入主材，使斜材与主材直接连接，以改善其端约束，提高斜材的承载能力，节省节点板，降低斜材耗钢量。

由于铁塔塔身坡度的影响，斜材两端不能与主材的两肢紧密结合，塔身坡度越大越明显，螺栓紧固后会使斜材产生一个初挠度，这对杆件受力不利。在通过节点板连接时，采取以下方法予以解决：

- （1）在塔身和节点板之间或节点板和塔身斜材之间加斜垫。
- （2）塔身主材为单角钢时，可采用设置双排螺栓，靠主材肢端的螺栓以保证主材轧制边距为准，制弯节点板。

混凝土杆主要从杆头间隙、杆头结构形式、配筋、混凝土强度、杆重与根 径进行优化。

第 7 章 主要技术特点

7.1 注重设计调研工作

本次典型设计过程中向设计、施工、运行、生产等相关单位进行了多方面、深层次的调研工作，设计人员充分采纳各方的意见，同时根据调研结果确定典型设计各模块的设计技术条件，并根据调研情况对塔型设计进行了优化，使得典型设计更加满足各主要使用地区的实际情况和实际要求，具有较好的适应性和灵活性。

7.2 杆塔使用条件规划合理

根据不同的地形、地理情况，采用多条线路的终勘定位成果和运行维护的资料数据，利用概率、回归分析等数理统计理论对本典型设计的塔型规划进行全方位技术经济比较，提出了杆塔设计档距、经济塔高、呼高系列等规划方案，提高了杆塔设计条件的利用系数。

7.3 转角塔分档更细

转角塔由原来的三塔改为分四塔系列，其中将 60° 以内转角按每 20° 一档细分，使得杆塔设计条件科学、经济、合理，从而在实际工程使用中更加灵活。

7.4 杆塔结构优化

本典型设计对杆塔结构进行了全面的优化，主要从塔头间隙、塔头结构型式、塔身坡度、斜材的布置方式以及主材的分割进行优化。每一种塔型都进行反复的优化计算，采用优化后的塔头结构型式和塔身的坡度，然后再对斜材的布置方式及主材的节间分割进行优化，使得典型设计的铁塔结构受力合理，具有相当的安全可靠性和经济性。

7.5 技术水平的提高

充分考虑运行单位的意见、吸收以往工程的经验，提高典型设计的技术水平，主要体现在以下几个方面。

(1) 根据目前雷害事故较多的情况，适当增加典型设计的耐雷水平，35kV 线路地线保护角按照铁塔不大于 25° ，混凝土杆不大于 30° 设计。

(2) 绝缘设计上充分考虑目前西藏地区气象条件中污秽发展较快的实际情况，35kV 按照 II 级污区设计。

(3) 针对近年来跳线风偏闪络事故发生较多的情况，典型设计中 35kV 直线塔采用 I 串，转角塔转角 20° 以内考虑内外侧均挂跳线串、 20° 以上外侧挂跳线串。减少了大风风偏闪络事故发生。

第 8 章 差异化说明

鉴于西藏地区有别于内地的独特自然环境，本典型设计与内地常规线路设计以及西藏地区以往典型设计的差异化主要体现在以下几个方面。

8.1 设计气象条件

通过分析西藏地区多区域多条线路的设计资料以及当地的运行管理经验，本典型设计按海拔高度分为 2000~3000m、3000~4000m、4000~5000m 共 3

档，形成 3 种气象条件组合，较以往西藏地区典型设计的气象条件组合更为细化，使得模块划分更为合理，具有更好的适用性和经济性。

8.2 绝缘配合

在绝缘子片数的选择上，国内大部分地区均按照工频电压的爬电距离要求来确定绝缘子片数，再根据海拔高度适当修正。但根据设计人员的收资调研，