

“十二五”国家重点图书出版规划项目



国家电网公司
电力科技著作出版项目

向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压 直流输电示范工程

施工卷

国家电网公司 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

向家坝—上海 ±800kV特高压直流输电示范工程

- 综合卷
- 科研攻关卷
- 工程设计卷
- 设备研制卷
- 施工卷
- 调试试验卷
- 生产运行卷
- 环境保护卷



关注我,关注更多好书



ISBN 978-7-5123-3638-4



9 787512 336384 >

定价: 55.00元

上架建议: 电力工程/输配电

“十二五”国家重点图书出版规划项目



国家电网公司
电力科技著作出版项目

向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压 直流输电示范工程

施工卷

国家电网公司 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

《向家坝—上海±800kV特高压直流输电示范工程》共有八卷,分别为《综合卷》《科研攻关卷》《工程设计卷》《设备研制卷》《施工卷》《调试试验卷》《生产运行卷》和《环境保护卷》。本丛书是国家电网公司对向家坝—上海±800kV特高压直流输电示范工程建设情况的全面回顾和总结,通过系统、翔实的记录,全面反映了工程建设全过程及其建设特点。

本卷为《施工卷》,共五章,具体内容包括工程概况与特点、现场建设管理体系、工程建设过程管理、施工技术创新、工程建设成果及经验。

本丛书可供输变电工程相关科研设计单位、大专院校、咨询单位和设备制造厂家的工程技术人员和管理人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

向家坝—上海±800kV特高压直流输电示范工程. 施工卷/国家电网公司组编. —北京:中国电力出版社,2014.7
ISBN 978-7-5123-3638-4

I. ①向… II. ①国… III. ①特高压输电—直流输电线路—电力工程—工程施工—中国 IV. ①TM726.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第247732号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014年7月第一版 2014年7月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 10.75印张 163千字

定价 55.00元

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

《向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电示范工程》

编 委 会

主 任 刘振亚

副主任 舒印彪 郑宝森

成 员	张丽英	孙 昕	张文亮	张启平
	李文毅	余卫国	伍 萱	梁旭明
	赵庆波	王益民	丁广鑫	刘泽洪
	陈晓林	李 凯	张智刚	丁 扬
	叶廷路	肖安全	刘建明	郭剑波
	刘开俊	肖世杰		

《向家坝—上海±800kV 特高压直流输电 示范工程 施工卷》

编写工作组

组 长 刘泽洪

副组长 高理迎 丁永福 种芝艺 吕 健

滕乐天 周 宏 李明节 王玉玲

常 浩 娄殿强 郑福生 印永华

吴维宁 马为民

成 员 张卫东 黄 杰 陈 力 谭启斌

李保宏 梁 平 张 诚 李 勇

王茂钟 王 岳 龙爱平 张 伟

郎鹏越 朱 聪 吴自强 朱艳君

寻 凯 张毛盛 李 彪 邹生强

俞 磊 王雪野 邱国斌 孙法栋

邹 俊

序

向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电示范工程是我国自主设计、研发和建设的世界上首回电压等级最高、输送容量最大、输送距离最远、技术最先进的特高压直流输电工程，该工程在世界范围内率先实现了直流输电电压和电流的双提升、输送容量和输送距离的双突破，是我国能源领域取得的世界级创新成果，代表当今世界高压直流输电技术的最高水平。该工程是国家电网公司贯彻落实科学发展观，实施“一特四大”战略、推动我国能源布局在更大范围统筹平衡，转变我国电力发展方式的关键工程。该工程于2010年7月成功实现双极投运，额定输送容量达到640万kW，线路全长1891km，可将西南水电输送至华东负荷中心，工程对于构建现代能源综合运输体系、实现能源资源的大范围优化配置、促进区域经济协调发展具有重要作用。

通过该工程的建设，首次实现了特高压直流输电系统的自主设计、自主研发、自主建设和自主调试运行。在世界上首次成功研制出电压等级最高的换流变压器（800kV）、容量最大的单12脉动换流阀（160万kW）以及平波电抗器、穿墙套管等直流设备，提高了我国电网发展自主创新能力和电工装备制造核心竞争力。

为全面介绍工程建设取得的管理创新成果和技术创新成果，国家电网公司组织编写了《向家坝—上海±800kV 特高压直流输电示范工程》，对工程可行性研究、建设管理、科技创新、成套设计、设备研制、施工建设、环境保护、验收调试、生产运行等工作进行了系统总结。希望此套书的出版，为我国特高压直流输电工程建设提供有益的借鉴和帮助，为加快转变电力发展方式，服务经济社会发展发挥积极的促进作用。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '刘张' (Liu Zhang), written in a cursive style.

2014 年 3 月

前言

向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电示范工程（简称向上工程）是我国能源领域取得的世界级创新成果，代表了当今世界直流输电技术的最高水平，为了更加全面、系统地对向上工程进行总结，国家电网公司组织编写了《向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电示范工程》，本丛书共计八卷，包括《综合卷》《科研攻关卷》《工程设计卷》《设备研制卷》《施工卷》《调试试验卷》《生产运行卷》和《环境保护卷》。该丛书系统地总结了向上工程在决策、管理、建设、科研、设计以及设备制造等各方面的经验与成果，为今后的特高压直流输电工程实施提供有益参考。

编者力求全面、清晰地反映向上工程全貌，但书中的疏忽和遗漏在所难免，敬请各位读者批评指正。

编写工作组

2014年2月

目 录

序

前言

1

第一章 工程概况与特点

第一节 工程概况 / 2

第二节 工程特点 / 12

16

第二章 现场建设管理体系

第一节 建设管理目标 / 17

第二节 组织体系 / 18

第三节 制度体系 / 22

24

第三章 工程建设过程管理

第一节 管理创新 / 25

第二节 建设过程 / 26

第三节 安全管理 / 30

第四节 质量管理 / 39

第五节 进度管理 / 46

- 第六节 技术管理 / 47
- 第七节 环保与水保 / 48
- 第八节 物资管理 / 51
- 第九节 进口货代及大件运输 / 55
- 第十节 计划及投资管理 / 77
- 第十一节 合同管理 / 88
- 第十二节 信息管理 / 90
- 第十三节 档案管理 / 93

96 ▶ 第四章 施工技术创新

- 第一节 换流站工程施工技术创新 / 97
- 第二节 线路工程施工技术创新 / 109
- 第三节 通信工程施工技术创新 / 116

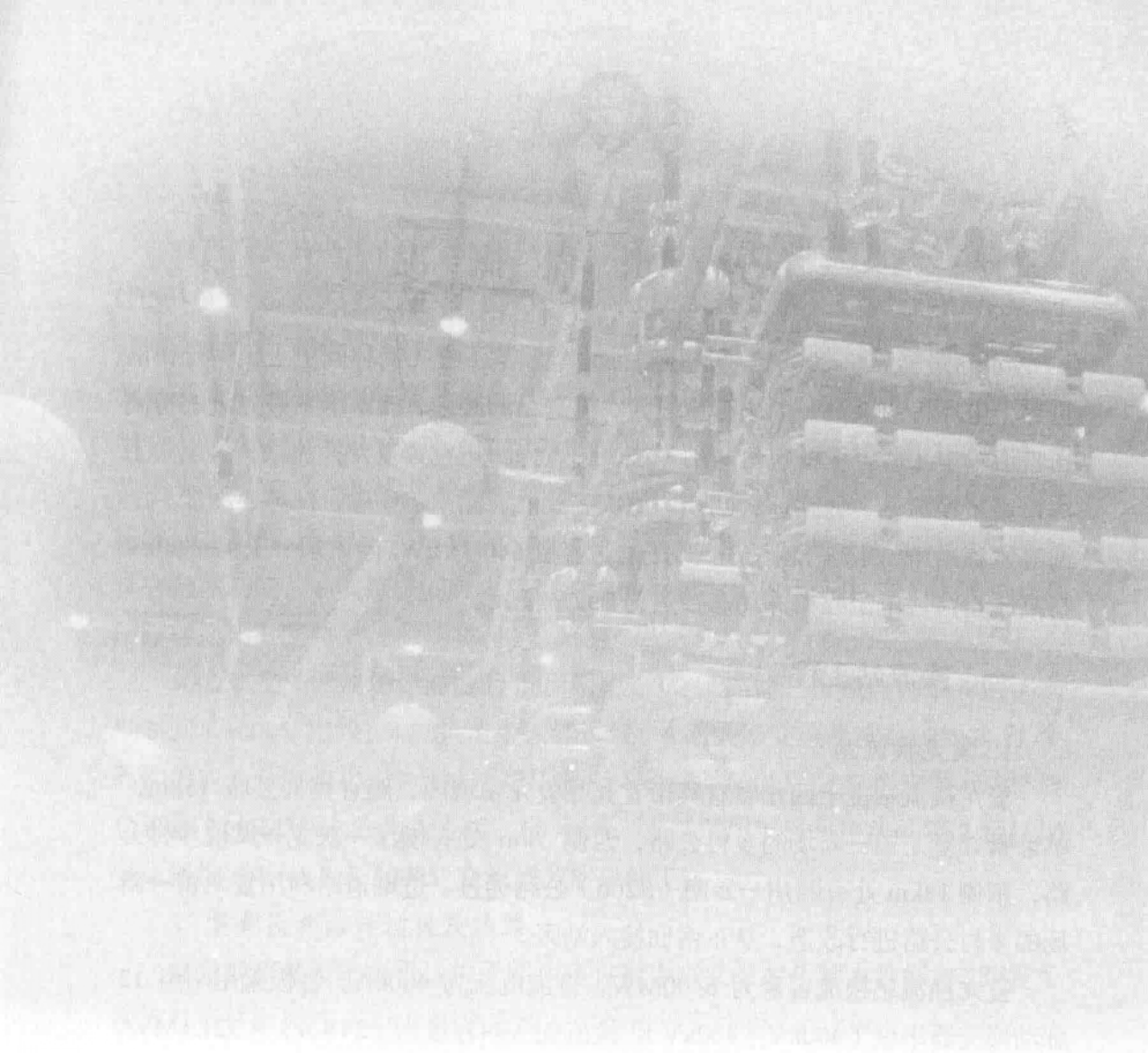
130 ▶ 第五章 工程建设成果及经验

- 第一节 工程建设成果 / 131
- 第二节 经验 / 132

137 ▶ 附录 A 主要参建单位

141 ▶ 附录 B 科技成果

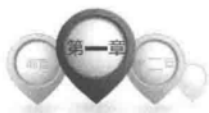
149 ▶ 附录 C 工程建设大事记



工程概况与特点

第一章





第一节 工 程 概 况

向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电示范工程（简称向上工程）是目前世界上电压等级最高、输送容量最大、输送距离最远、技术水平最先进的特高压直流输电工程。工程包含两站一线，起点为四川宜宾复龙换流站，落点为上海市奉贤换流站，线路途经四川、重庆、湖北、湖南、安徽、江苏、浙江、上海等六省两市，四次跨越长江，额定输送容量 640 万 kW。向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电工程概算动态投资为 232.7 亿元。

一、换流站工程

1. 复龙换流站

复龙换流站位于四川省宜宾市宜宾县复龙镇境内，距宜宾县县城 15km，站址紧邻复龙镇—新场的乡村公路，西侧 7km 处有横江—双龙—凤仪乡村公路，东侧 18km 处有四川—云南（S206）公路通过。进站道路利用复龙镇—新场的乡村公路进行改造，从东南面接入驻区。

复龙换流站换流容量为 6400MW，直流电流为 4000A。每极采用两组 12 脉动换流器串联（ $400\text{kV}+400\text{kV}$ ）。换流变压器容量为 $(24+4) \times 321.1\text{MVA}$ （其中 4 台备用），换流变压器型式为单相双绕组有载调压； $\pm 800\text{kV}$ 直流开关场采用双极接线，并按每 12 脉动阀组装设旁路断路器及隔离开关回路，直流场电气接线具有融冰功能，站内每极安装 1 组直流滤波器；中性母线上安装金属—大地回路转换用断路器。

500kV 交流开关场应用 GIS 设备，采用“3/2 断路器”接线，共 9 个完整串和 1 个不完整串，本期 9 回（远景 10 回）500kV 出线、4 回换流变压器进线、4 大组交流滤波器进线共 18 个元件组成 9 个完整串，1 台站用变压器接入母线。500kV 交流滤波器大组采用单母线接线，容性无功补偿总容量 3080MVA，14 小组交流滤波器及并联电容器组成 4 大组，各滤波器大组作为一个元件分别接入 500kV 交流开关场；第 2 台站用变压器和 1 组 180MVA 可投切高压并联电抗器分别接入其中 2 组 500kV 滤波器母线。

2. 奉贤换流站

奉贤换流站坐落于上海市奉贤区四团镇横桥村,站址的西侧约 280m 为 G1501 上海郊环高速公路,北侧约 600m 为 S2 高速公路(上海至洋山港),北邻浦南运河约 130m。进站道路约 1.6km 与南面的彭平三级公路连通。奉贤换流站换流容量为 6400MW,直流电流为 4000A,每极采用两组 12 脉动换流器串联(400kV+400kV)。换流变压器容量为 $(24+4) \times 297.1\text{MVA}$ (其中 4 台备用);换流变压器型式为单相双绕组有载调压; $\pm 800\text{kV}$ 直流开关场采用双极接线,并按每 12 脉动阀组装设旁路断路器及隔离开关回路,直流场电气接线具有融冰功能;站内每极安装 1 组直流滤波器;中性母线上安装“金属—大地回路转换用”断路器。

500kV 交流开关场为 GIS 设备,采用“3/2 断路器”接线。远景 4 回(本期 3 回)500kV 出线、4 回换流变压器进线、4 回大组交流滤波器进线共 12 个元件组成 6 个完整串,1 台站用变压器接入母线。500kV 交流滤波器无功补偿总容量 3746MVA,分为 4 大组、15 小组,大组采用单母线接线,第 2 台站用变压器接到其中 1 组 500kV 交流滤波器母线上。

3. 复龙换流站接地极及线路

复龙换流站接地极极址位于四川省宜宾市兴文县共乐镇大沙坝村,距复龙换流站直线距离约 72km,距溪洛渡左岸换流站直线距离约 80km。本接地极将作为复龙换流站和溪洛渡左岸换流站共用接地极。复龙换流站极环采用同心双圆环布置:内环半径 $R_1=240\text{m}$ (周长 1507.2m),埋深 3.5m,放置单根 $\phi 50$ 高硅铬铁棒,焦炭填充截面为 $0.6\text{m} \times 0.6\text{m}$;外环半径 $R_2=315\text{m}$ (周长 1978.2m),埋深 4m,放置单根 $\phi 50$ 高硅铬铁棒,焦炭填充截面为 $0.6\text{m} \times 0.6\text{m}$ 。内环、外环分为较均匀的四段,极环穿越大沟渠开断处加上直径为 8m 的小圆环电极。接地极线路起自四川省宜宾市宜宾县复龙镇境内的复龙换流站接地极龙门架,止于兴文县共乐镇极址,途经四川省宜宾市高县、珙县、长宁县、江安县,全长 79.059km,导线采用 $2 \times 2 \times \text{NRLH/G1A-500/45}$ 钢芯耐热铝合金绞线,地线采用 GJ-80 镀锌钢绞线。

4. 奉贤换流站接地极及线路

奉贤换流站接地极极址位于上海金山区廊下镇中华村。本工程为浅埋陆地



型接地极, 接地材料为 1.5m 长直径 50mm 的高硅铬铁棒, 铺设间距为 0.5m。接地形状为同心双圆环形, 内环直径 220m, 外环直径为 300m。馈电棒埋深为 3.5m, 穿越河道、河床底部的埋深为 5.2m。接地极配电装置区有 1 台滤波电抗器、1 台滤波电容器、汇流母线和引流母线。内、外环上分别设 12 个监测渗水井, 用于观测埋于地下的焦炭的温度、湿度等。

接地极线路起自奉贤换流站, 经海湾镇、柘林镇、漕泾镇、庄行镇、松江区、金山区到廊下接地极, 线路全长约 97.108km, 分为同塔段和独立段。同塔段为从奉贤换流站至松江区的南雉鸡村附近长约 81.747km, 与 $\pm 800\text{kV}$ 向上直流线路同塔架设。独立段分为两部分, 第一部分从奉贤换流站的门型构架至 $\pm 800\text{kV}$ 直流线路 5446 号塔, 架线长度 0.192km; 第二部分从 $\pm 800\text{kV}$ 向上直流线路 5208 号塔至廊下接地极 J59 号塔, 架线长度 15.197km。共计杆塔数量 59 基, 基础为钻孔灌注桩, 杆塔采用钢管塔, 导线采用 $2 \times 2 \times \text{NRLH/G1A-500/45}$ 钢芯耐热铝合金绞线, 地线采用 $1 \times 7-11.4-1270-B (\text{GJ-80})$ 型稀土铝镀锌钢绞线。

二、线路工程

1. 工程规模

线路全长 1891km, 其中包括 4 处长江大跨越长度 11.684km。航空直线约 1715km, 曲折系数 1.103。共 3939 基铁塔 (另重冰区有 9 基分体耐张塔各按 1 基塔统计)。

(1) 基础: 全线共 3948 基, 基础混凝土量 $467\,092.442\text{m}^3$, 主要采用斜柱主材插入式基础、柔性大板基础、岩石嵌固基础、全掏挖基础、钻孔灌注桩基础、新型的岩石锚杆基础。

(2) 杆塔: 共 3939 基, 其中一般线路 3923 基; 4 处长江大跨越 16 基。一般线路共有铁塔 98 种, 其中直线塔 59 种, 直线转角塔 9 种, 耐张 30 种, 主要采用角钢自立塔, 35m/s 风速区采用钢管塔。大跨越采用钢管塔。

(3) 导地线: 轻冰区、中冰区和 20mm 重冰区导线采用 $6 \times \text{ACSR-720/50}$ 钢芯铝绞线, 30mm 重冰区导线采用 $6 \times \text{AACSR-720/50}$ 钢芯铝合金绞线, 每极六分裂, 分裂间距为 450mm; 轻、中冰区和 20mm 重冰区地线采用

LBGJ-180-20AC 铝包钢绞线, OPGW 采用 OPGW-180; 30mm 重冰区地线采用 LBGJ-240-20AC 铝包钢绞线, OPGW 采用 OPGW-250。大跨越导线采用 AACSR/EST $4 \times 640/290$ 特强钢芯高强铝合金线; 地线为 LBGJ-340-14AC。

(4) 大跨越工程: 输电线路工程共有四次大跨越, 由西向东分别为杨家厂、胡家滩、扎营港、新吉阳大跨越, 各跨越均采用“耐一直一直一耐”的跨越方式。

杨家厂长江跨越。线路在湖北省公安县杨家厂镇下游约 5km 处跨越长江, 大堤内长江被水面立塔, 跨江档距 1580m。耐张段长度 2580m, 跨距分布 500m—1580m—500m, 两岸跨越塔呼高均为 185m。

胡家滩长江跨越。线路在湖北省赤壁市赤壁镇上游约 1.5km 处跨越长江, 滩地上(迎水面)立塔, 跨江档距 1705m。耐张段长度 3401m, 跨距分布 840m—1705m—856m, 两岸跨越塔呼高均为 187m。

扎营港长江跨越。线路在湖北省阳新县下保村跨越长江, 右岸位于阳新县下保村, 左岸在蕲春县境内的扎营港村, 大堤内长江被水面立塔, 跨江档距 1639m。耐张段长度为 2770m, 跨距分布 496m—1639m—635m, 两岸跨越塔呼高均为 188m。

新吉阳长江跨越。线路在安徽省安庆市望江县莲洲乡沟口村跨越长江, 左岸位于安庆市望江县莲洲乡沟口村, 右岸位于池州市东至县胜利镇吉阳村, 大堤内长江被水面立塔, 跨江档距为 2052m。耐张段长度为 2985m, 跨距分布 518m—2052m—415m, 两岸跨越塔呼高分别为 242、230m。

(5) 绝缘配合: 全线划分为轻污区、中污区和重污区, 盐密分别为 0.05、0.08mg/cm² 和 0.15mg/cm², 长度分别为 282.924、591.711km 和 1016.365km。

轻冰区、中冰区悬垂串采用合成绝缘子, 耐张串采用 420kN 钟罩型盘式绝缘子; 重冰区悬垂串采用钟罩型或三伞型盘式绝缘子, 耐张串均采用钟罩型盘式绝缘子。

本线路工程操作过电压间隙在海拔为 500、1000m 和 2000m 时, 分别取 5.5、6.3m 和 6.9m; 工作电压间隙在海拔为 500、1000m 和 2000m 时分别取 2.1、2.3m 和 2.5m。

(6) 绝缘子串: 轻冰区、中冰区悬垂串采用 240、300、420、550kN 单、



双联 V 型合成绝缘子串；耐张串采用三联 420kN 盘式绝缘子，水平布置；跳线串采用 V 型合成绝缘子串。

重冰区悬垂串采用 210、300、420、550kN 单、双联 V 型盘式绝缘子串。耐张串：20mm 重冰区采用三联 420kN 盘式绝缘子、30mm 重冰区采用三联 550kN 盘式绝缘子，水平布置；跳线串采用 V 型盘式绝缘子串，轻、中冰区跳线采用铝管刚性硬跳线，重冰区跳线采用鼠笼式硬跳线。

(7) 线路工程拆迁量：一般线路段拆迁房屋 2 194 551.43m²，大跨越段拆迁房屋 21 926.1m²。

2. 自然条件

直流线路沿线所经过地区，地形复杂，有高山大岭、一般山地、丘陵、平原和河网，其中山丘段线路主要分布在四川、重庆、湖南、湖北西部和东部以及安徽省境内，平原和河网段线路主要分布在湖北中部以及江浙沪地区。

四川段：线路在四川境内沿线所经地貌以丘陵、低山地貌，海拔高度一般在 300~700m，局部地段为山间盆地。

重庆段：线路在重庆市境内主要为丘陵和山地地貌，沿线江津、綦江及万盛等地区主要为丘陵、一般山地地貌，海拔高度一般为 300~700m，局部地段为山间盆地、河谷阶地地貌；中部的南川区主要为一般山地地貌，该段地貌表现为由低向高过渡的特征；东部的武隆、彭水及黔江等地区主要为高山大岭和山峡谷地貌，海拔高度为 700~1800m，大多山势陡峻、河谷深切。

湖南段：线路在湖南省境内沿线所经地貌以山地为主，其中西部的龙山县、桑植县、慈利县的北部、石门县北部均为山地，部分区段为高山大岭和深沟峡谷，相对高差超过 400m。北部的石门县、临澧县以丘陵地貌为主。中部的慈利县的东部、临县、澧县等则是以丘陵、低山地形为主。

湖北段：线路在湖北境内沿线所经地貌，西部来凤县咸丰县均为山地，部分区段为高山大岭和深沟峡谷；中部的荆州市、松滋市、荆州区和公安县以平原、河网地形为主，东部的赤壁至黄梅县主要为丘陵。

安徽段：线路在安徽省境内沿线主要有山地、丘陵、剥蚀残丘和山前平原及沿江台地平原，其中以前三者为绝大多数，少数平原地貌。

浙江段：线路在浙江省境内主要为长江三角洲平原南缘和太湖湖积平原