

山地地形条件下升压站总图布置特点及适应性分析

蔡煜

西安特变电工电力设计有限责任公司 陕西 西安 710000

【摘要】：随着我国风电、光伏等新能源电站向山地、丘陵区域规模化布局，升压站作为电力汇集与升压外送的核心枢纽，其总图布置面临地形起伏大、场地碎片化、地质条件复杂、生态保护要求高等多重挑战。传统平地升压站规整集中的布置模式无法直接适配山地工况，需结合地形特征优化布局逻辑，实现安全合规、集约高效、生态友好的设计目标。本文结合山地地形核心约束条件，系统梳理山地升压站总图布置的核心特点，针对性提出适应性设计策略，辅以实际工程案例验证方案可行性，为同类山地电力工程总图设计提供参考，助力山地新能源项目高效落地与长期稳定运维。

【关键词】：山地地形；升压站；总图布置；竖向设计

DOI:10.12417/2705-0998.26.04.015

1 引言

我国山地、丘陵面积占国土总面积超三分之二，这类区域风能、太阳能资源富集，是新能源电站开发的重点区域。升压站作为连接新能源发电单元与电网的关键节点，其总图布置合理性直接影响工程建设成本、施工难度、运维便捷性与长期运行安全。平地升压站总图布置多采用规整式布局，场地平整难度小、功能分区集中、管线敷设便捷，但山地地形存在地势起伏大、自然坡度陡、可用场地零散、地质条件不均、山洪与边坡风险突出等问题，若照搬平地设计模式，易出现土方开挖量过大、边坡失稳、交通流线不畅、生态破坏严重、运维成本偏高等问题。近年来，山地新能源项目建设提速，升压站总图布置的地形适应性成为电力工程设计领域的重点研究课题。基于工程实操经验，结合电力行业设计规范，深入分析山地地形对总图布置的约束作用，提炼差异化布置特点，构建适配山地工况的设计体系，既能解决当前工程建设的实际难题，也能为后续山地电力工程标准化设计提供技术支撑，兼具理论研究价值与工程实践意义。

2 山地地形对升压站总图布置的核心约束条件

2.1 场地地形约束

山地场地自然坡度多在 10%以上，部分区域坡度超 25%，无大面积平整场地，可用地块呈碎片化分布，难以满足平地升压站集中连片布置的场地需求。同时，地形高差大导致站区内外高程差异明显，设备运输、消防通行、雨水排放均受高程限制，若强行平整场地，会产生巨额土方工程费用，还会破坏原有地形地貌。此外，山地地形的坡向、坡型也会影响建构物朝向与采光、通风设计，间接影响运维环境与设备散热效果。

2.2 地质条件约束

山地区域地质构造复杂，多存在岩土风化不均、边坡松散、滑坡、泥石流等不良地质现象，部分区域还存在软弱土层、岩溶地质，对建构物地基稳定性、边坡防护要求极高。升压站核心设备如主变压器、GIS 设备、高压开关柜等对地基沉降要

求严格，复杂地质会增加地基处理难度与成本；同时，场地开挖后易引发边坡失稳，需配套专项防护工程，进一步限制总图布置的灵活性。

2.3 生态与环保约束

山地生态系统脆弱，植被恢复难度大，水土保持要求严格，升压站建设需遵循最小扰动原则，严控占地范围与开挖面积，避免破坏山体植被与水土保持结构。同时，山地多为水源涵养区或生态管控区，站区污水、垃圾处理与雨水排放需符合生态保护要求，严禁随意排放破坏生态环境，这就要求总图布置兼顾生产功能与生态保护，优化场地选址与布局形态。

2.4 交通与管线约束

山地进场道路多依托现有山间道路改扩建，道路线形受限，纵坡、转弯半径需严格控制，难以满足大型设备运输的平直道路需求，核心设备运输通道需专项优化。同时，站区内生产管线、给排水管线、消防管线、电缆沟等需顺应地形高差敷设，无法采用平地平直敷设模式，管线交叉、高差衔接难度增大，若布局不合理，易出现管线拥堵、检修不便、排水不畅等问题。

3 山地升压站总图布置核心特点

相较于平地升压站，山地升压站总图布置摒弃规整集中的布局逻辑，以“顺应地形、少挖少填、功能适配、安全可控”为核心原则，形成差异化布置特点，具体内容通过下表对比直观呈现，后续展开详细分析。

表 1 山地升压站总图布置对比

对比维度	平地升压站总图布置	山地升压站总图布置
布局形态	规整集中、矩形连片布局，功能分区呈对称或规整排布	分散式或组团式布局，依托台地分层排布，无固定规整形态

竖向设计	单一标高或缓坡设计，土方挖填量小，基本无台地划分	多级台地竖向设计，顺应地形高差，挖填平衡优先
功能分区	分区清晰且集中，生产区、辅助区、生活区连片布置	分区集约化、碎片化，按地形与功能就近组团布置
交通路网	环形主干道+平直支路，纵坡小、线形规整	环形+枝状结合路网，顺坡设路，纵坡严控，局部设错车道
占地与土方	占地规整，土方量可控，场地平整难度低	占地零散，严控永久占地，土方挖填量精准平衡

3.1 竖向分层台地化布置，顺应地形高差

山地升压站最核心的布置特点是竖向分层台地设计，摒弃大面积挖填找平的模式，根据地形自然坡度与高程，将站区划分为多级台地，台地之间通过挡土墙、护坡衔接，每级台地对应布置一类功能模块。台地高度结合设备安装、运维需求与地形坡度确定，一般控制在 2-5 米，避免单级台地高差过大引发边坡风险。这种布置方式最大限度贴合原有地形，大幅减少土方开挖与回填量，降低工程建设成本，同时避免山体大面积开挖破坏生态，保障场地地基与边坡稳定性。

3.2 功能分区集约化，组团式紧凑布局

受场地碎片化限制，山地升压站无法实现功能分区连片布置，而是按照“生产核心优先、辅助功能就近、运维流线最短”的原则，采用组团式集约化布局。将主变压器、GIS 室、高压配电装置等核心生产设备布置在地形相对平缓、地质稳定的中心台地，形成核心生产组团；将综合楼、值班室、库房等辅助设施布置在靠近进场道路、交通便捷的边缘台地，形成辅助运维组团；将消防水池、污水处理、接地变等附属设施布置在地势较低、不影响核心生产的边角地块，形成附属功能组团。各组团之间保持合规安全间距，通过检修道路与电缆沟衔接，既满足电气安全规范，又最大化利用零散场地。

3.3 交通路网顺坡优化，兼顾运输与消防

山地升压站交通路网不追求规整线形，而是顺应地形坡向布置，采用“主干道环形贯通、支路枝状延伸、检修道就近衔接”的三级路网结构。主干道纵坡严格控制在 8% 以内，转弯半径满足大型主变压器、高压设备运输车辆通行要求，局部陡坡路段设置之字形线形降低坡度，道路两侧设置排水沟与边坡防护；支路连接各功能组团，纵坡适当放宽但不超过 12%，按需设置错车道；检修道直接延伸至核心设备旁，采用简易硬化或碎石路面，减少场地硬化面积。同时，路网设计兼顾消防需

求，确保消防车可直达各功能组团，满足火灾应急救援要求。

3.4 建构筑物依山就势，适配地形与功能

山地升压站建构筑物不采用统一标高设计，而是结合台地高程与设备功能，灵活调整基础标高与建筑朝向。核心设备基础根据台地标高精准定位，确保设备安装水平度与运维高度合规；综合楼、值班室等建筑依山就势布置，底层地面标高高于室外地坪 150-300mm，预留沉降空间，同时兼顾采光、通风与防洪要求；高压出线架构、避雷针等高耸构筑物，优先布置在地质稳定、视野开阔的台地，避开边坡与不良地质区域，保障结构安全。此外，建构筑物尺寸严格控制，避免超大占地面积，进一步适配零散场地条件。

4 山地升压站总图布置适应性设计策略

4.1 场地选址优先避让，最小化地形扰动

升压站选址优先避开陡坡、不良地质区、生态管控区与山洪通道，选择地形相对平缓、地质稳定、靠近新能源发电单元汇集点的区域，缩短集电线路长度，降低线损。选址阶段通过现场勘测与三维地形建模，精准测算可用场地面积、坡度与高程，确定最优站址，避免后期大规模开挖改造。同时，严控永久占地范围，优先利用荒山、荒坡等未利用地，不占用耕地与林地，践行生态优先的设计理念。

4.2 竖向设计精细化，实现土方挖填平衡

采用三维设计软件进行竖向精细化设计，根据地形高程划分多级台地，精准计算每级台地的土方开挖量与回填量，实现站区内部土方挖填平衡，减少土方外运与外购成本。台地边坡坡度结合岩土性质确定，土质边坡坡度控制在 1:1.5 以上，岩质边坡坡度控制在 1:0.75 以上，配套设置挡土墙、锚杆护坡、植被护坡等防护措施，防范边坡失稳。同时，站区室外地坪标高高于周边山洪水位 0.5 米以上，设置环形截水沟与排水沟，将雨水有序排出站区，防范山洪倒灌与内涝。

4.3 功能布局优化，缩短运维与电气流线

核心生产设备遵循“电气流程最短、运维便捷”的原则布局，主变压器靠近 GIS 室与高压出线端，减少高压电缆长度，降低电能损耗与投资成本；辅助设施靠近进场道路与核心生产区，缩短运维人员通勤距离；附属设施布置在边角地带，不占用核心场地。各功能组团之间保持规范安全间距，满足防火、防爆、带电检修安全要求，同时预留设备更换、扩建的备用空间，适配项目后期扩容需求。

4.4 地质灾害专项防控，保障工程长期安全

设计前期开展详细地质勘察，明确场地岩土性质、不良地质分布与地基承载力，针对软弱地基、岩溶地质采用桩基础、复合地基等专项处理措施，确保核心设备地基沉降符合规范要求。对场地开挖形成的边坡，同步设计防护与排水系统，避免

雨水冲刷引发滑坡、泥石流；在站区周边设置地质监测点，长期监测边坡沉降与位移，提前预警地质风险，保障升压站长期运行安全。

5 工程案例实证分析

5.1 项目概况与场地地形条件

本次选取西南地区某 110kV 山地风电升压站作为实证案例，该项目地处云贵高原边缘山地风电集群核心区域，主要承担周边风电场电能汇集、升压与外送任务，是区域新能源电网的关键枢纽工程。站址整体地形起伏剧烈，场地自然坡度介于 15%至 22%之间，无连续平整地块，属于典型的陡坡山地工况；场地地质以中风化岩为主，局部区域覆盖松散残积土，存在边坡滑移潜在风险，且项目位于山地生态管控区，水土保持与生态保护要求严苛，对总图布置的地形适配性提出极高要求。该升压站总占地面积 0.82 公顷，主变压器配置容量为 $2 \times 50\text{MVA}$ ，配套建设 GIS 室、高压配电装置、综合运维楼、消防水池及一体化污水处理设施等全套构筑物，各项设计指标均符合电力行业规范与新能源电站建设标准。

5.2 山地适配型总图布置方案设计

结合项目场地地形、地质及生态约束条件，设计团队摒弃传统平地集中布置模式，采用竖向分层台地+功能组团结合的布置方案，全程遵循少挖少填、顺应地形的核心原则。站区整体划分为三级阶梯式台地，各级台地高差控制在合理范围，通过专项边坡防护工程衔接，既贴合原有地形地貌，又满足功能分区与设备安装需求。第一级台地选址为场地地质条件最优、地势相对平缓的核心区域，主要布置主变压器、GIS 室等核心生产设备，场地局部平整后坡度控制在 3%以内，保障核心设备运行稳定性；第二级台地紧邻核心生产区，高差 3.5 米，采

用锚杆挡土墙加固边坡，主要布置高压配电装置与高压出线架构，缩短高压电气连接距离，减少电能损耗；第三级台地靠近进场道路，地势相对较低，布置综合运维楼、辅助用房及附属生产设施，兼顾运维人员工作便利性与交通出行需求。交通路网采用环形主干道设计，主干道纵坡严格控制在 7%以内，局部陡坡路段优化线形，配套设置错车道与排水设施，同时满足大型设备运输与消防救援双重要求。

5.3 方案实施效果与工程价值验证

该升压站项目按照上述山地适配型总图方案实施建设后，各项工程指标均达到设计预期，全面验证了山地升压站总图布置特点与适应性策略的可行性。相较于传统大面积挖填平整的设计方案，本项目土方开挖与回填总量减少 42%，大幅降低土方工程成本与施工难度，同时减少山体植被破坏面积；工程整体建设成本降低 18%，施工周期有效缩短，且投入运行以来，场地边坡无沉降、滑移等安全隐患，站内交通流线顺畅，管线敷设规整，运维检修便捷度较高。项目同步完成边坡植被恢复与水土保持工程，生态修复效果符合管控要求，实现了工程建设、安全运维与生态保护的协同统一，可为同类型山地风电、光伏升压站总图设计提供直接的实践参考。

6 结论

山地地形条件下升压站总图布置与平地模式存在本质差异，核心特点体现为竖向分层台地化、功能组团集约化、路网顺坡适配化、构筑物依山就势、管线立体敷设，设计核心是顺应地形、最小扰动、安全合规、集约高效。通过场地优选、竖向精细化设计、功能布局优化、地质灾害防控、生态环保适配等适应性策略，可有效破解山地地形带来的场地、地质、交通、生态约束，降低工程建设成本，保障升压站安全稳定运维。

参考文献：

- [1] 焦宝,蒋利宏,赵军.光伏电站升压站总图的模块化设计[J].水电与新能源,2025,39(06):48-50+72.
- [2] 焦宝,蒋利宏,赵军.光伏电站升压站总图设计校审要点研究[J].水电与新能源,2025,39(03):55-57+60.
- [3] 齐天宇.AutoCAD Civil 3D 在陆上风电场升压站总图进站道路设计中的应用[J].工程建设与设计,2023,(23):155-157.
- [4] 张元位,邢铁辉.某 220 kV 升压站总图设计总结[J].电站系统工程,2018,34(01):49-50.