

# 基于大数据的输变电系统能耗分析与节能改造路径

王庆阳

西藏自治区水利电力规划勘测设计研究院 西藏 拉萨 850000

**【摘要】**：针对西藏高海拔、低温多风的特殊环境，其输变电系统易因环境适配性不足出现能耗偏高问题。本文以大数据技术为核心工具，采集西藏地区输变电设备运行参数、环境温度、线路负载等实际数据，通过数据整理与分析，精准定位系统中线路传输损耗大、设备低温运行能耗异常等关键能耗点。在此基础上，结合西藏地域特点提出适配的节能改造路径，包括优化高海拔专用设备选型、调整设备运行策略以适配昼夜温差等。实施后可有效降低输变电系统能耗，提升设备运行稳定性，为西藏地区电力系统节能降耗与可持续发展提供实践参考。

**【关键词】**：大数据；输变电系统；能耗分析；节能改造；西藏

DOI:10.12417/2811-0536.26.05.094

## 引言

西藏地区高海拔、低温多风的环境，给输变电系统运行带来了特殊挑战，系统常因环境适配问题出现能耗偏高、稳定性不足的情况。这不仅增加了电力输送成本，还在一定程度上制约了当地生产生活用电的高效保障。当前，随着西藏电力需求持续增长，降低输变电系统能耗、提升运行效率成为亟待解决的问题。大数据技术能精准采集和分析设备运行、环境变化等多维度数据，为找到能耗关键问题提供了有效手段。本文正是基于这一背景，依托大数据开展输变电系统能耗分析，进而提出贴合西藏地域特点的节能改造路径，为当地电力系统优化提供实践支撑。

## 1 西藏输变电系统运行背景与能耗现状

西藏输变电系统运行依托当地特殊的自然地理环境，区域内平均海拔多在3000米以上，高海拔不仅影响设备散热，还会导致气压偏低，使输变电设备的密封性能受影响——设备外壳密封件易因气压差出现老化开裂，进而渗入灰尘或湿气，增加设备内部元件的运转阻力，间接提升电能消耗。冬季低温环境除了影响绝缘材料性能，还会让设备内部的润滑油黏度升高，导致变压器、电抗器等转动部件运转不畅，为维持正常运行，设备需消耗更多电能克服阻力；而阵风天气除了造成线路舞动，还可能携带沙粒撞击线路绝缘子，降低绝缘子的绝缘性能，迫使系统增加额外电能损耗以保障绝缘效果。

随着西藏地区发展，输变电系统负荷需求的增长体现在更多具体场景中。农牧区除了灌溉、养殖设备，新型电动农机具如电动收割机、打草机的普及，让基层变电站在农忙季节的负荷大幅攀升；旅游业带动了民宿、景区配套设施的用电需求，部分景区地处偏远，

需通过延长输变电线路满足供电，而线路延长会直接增加传输过程中的能耗。同时，西藏本地光伏、风电等新能源项目的增多，这些不稳定的新能源接入输变电系统后，系统需频繁调整负荷分配以平衡供电，这一过程也会导致能耗进一步增加。

当前能耗现状还存在一些易被忽视的细节。设备层面，早期投用的部分设备不仅未适配高海拔低温环境，还存在型号偏小的情况——比如部分乡镇变电站的变压器容量，难以完全匹配近年增长的用电需求，导致变压器长期处于超负荷运转状态，能耗比正常负荷时明显升高。线路层面，部分经过草原的线路，因冬季积雪覆盖地面，反射的阳光会加速线路导线绝缘层老化，降低导线导电效率，增加传输损耗；且部分线路周边的树木、杂草清理不及时，可能与线路形成安全距离不足的情况，系统需降低线路输送功率以规避风险，间接导致单位电能传输的能耗上升。

## 2 基于大数据的西藏输变电系统能耗问题分析

依托大数据技术开展能耗分析时，首先会全面采集西藏输变电系统的多维度运行数据，覆盖设备、环境、负荷三类核心信息。设备数据方面，重点收集变压器的油温、绕组温度、运转噪音，以及线路的电流、电压、导线温度等实时参数，同时记录设备投用年限、型号规格等基础信息；环境数据则包括各区域的海拔高度、昼夜温度变化、风速风向、积雪厚度等，尤其关注高海拔牧区、景区等特殊区域的环境波动数据；负荷数据会细化到农牧区农忙时段、景区旅游旺季的用电高峰变化，以及新能源场站的光伏出力、风电出力波动情况。这些数据通过系统平台整合后，能避免单一数据的局限性，为精准定位能耗问题提供完整的数据支撑。

在设备能耗问题分析上，大数据会通过多组数据对比找出异常关联。比如将不同海拔区域同型号变压器的运行数据放在一起分析，会发现未适配高海拔环境的变压器，其油温在相同负荷下比适配设备高出不少，且为维持正常温度，冷却系统的运转时间更长，对应能耗明显偏高；再比如追踪乡镇变电站老旧变压器的负荷数据，能看到这些设备在农忙季节的负荷峰值持续超过额定容量，且伴随电流波动幅度大的情况，结合设备能耗曲线可判断，这种超负荷运转会让单位时间的电能损耗比正常状态下增加不少，而这类问题单靠人工巡检很难及时发现。

针对线路与负荷调整带来的能耗问题，大数据会通过趋势分析和关联分析找到关键诱因。分析草原区域线路的传输数据时，结合冬季积雪数据会发现，积雪覆盖地面的时段里，线路的导电效率会随积雪天数增加而逐渐下降，进一步对比导线绝缘层的老化数据，能确定积雪反射阳光加速绝缘层老化，是导致传输损耗上升的主要原因；在分析新能源接入后的系统数据时，会看到光伏出力随光照变化波动时，系统为平衡供电会频繁调整线路负荷分配，而每次调整过程中，线路的无功损耗会短暂升高，长期累积下来也会形成不小的能耗增量，这些细节通过传统的定期检测很难准确捕捉。

### 3 适配西藏地域的输变电系统节能改造具体路径

针对西藏高海拔低温环境下设备适配性不足的问题，节能改造从设备选型和现有设备优化两方面入手。新建或替换变电站设备时，优先选高海拔专用的变压器和电抗器，这类设备会针对当地低气压环境做特殊设计——比如在变压器油箱外侧把散热翅片的间距缩小、数量加多，能更快把设备运转产生的热量散出去；外壳还会用耐低温的密封胶做双层密封，灰尘和湿气很难渗进去，设备内部的线圈、轴承这些部件不用费劲“顶着阻力转”，自然能少耗电。对于已经投用的非适配设备，重点加装低温适配的润滑油。这种润滑油就算到了零下20摄氏度，也不会变得又稠又黏，过去冬天设备启动时总“卡顿”，得多耗电才能转起来，现在加了这种油，启动顺畅不说，运转时的电能消耗也降了下来。农牧区变电站常遇到的变压器超负荷问题，解决办法是把容量偏小的老旧变压器换成更大的型号。比如过去用的500千伏安变压器，农忙时灌溉水泵、电动收割机一起开就扛不住，总发热跳闸，现在换成800千伏安的，就算这些设备同时运转，变压器也能稳定工作，不用再因为超负荷额外消耗电能，从根上减少了浪费。

围绕线路传输损耗问题，改造主要抓材料升级和周边环境治理两方面。草原区域的线路常受积雪影响，原来的导线绝缘层经不住积雪反射的强光，用不了多久就容易老化，现在换成抗紫外线的特种绝缘层，强光晒着也不容易坏，还在导线外面涂了防覆冰涂层，冬天积雪不容易粘在上面，不用频繁清理积雪，也减少了积雪拉扯导线带来的额外损耗。线路旁边的杂草树木也得定期收拾，每次都组织人把杆塔周边5米内的杂树砍一砍、野草除一除，避免树枝长得太近碰到线路。要是不清理，为了安全只能降低线路传输功率，反而会多耗电能，清理后线路就能正常满功率跑，减少了这种浪费。藏北草原那些风大的路段，架空线路容易被吹得来回晃，现在给杆塔底部加了混凝土配重块，让杆塔更稳，还在线路间隔棒上装了缓冲垫，能缓冲风的力道，线路不怎么舞动了，也就不会因为导线晃动摩擦、接头松动产生额外损耗。见图1所示：



图1 西藏草原区域输变电线路综合改造实景图

为应对新能源出力波动带来的负荷调整能耗，改造主要从系统调度和储能配套两方面发力。靠大数据平台建了个新能源出力预测模块，会翻过去的光照、风速记录来分析，能提前12小时算出光伏电站、风电场能发多少电。算完后再结合农牧区农忙时的用电高峰、景区旅游旺季的用电规律，灵活调整线路的负荷分配——比如白天光伏发电多的时候，就先把电送到用电需求大的城镇，不用频繁调整线路负荷，这样能减少多余的电能损耗。在新能源场站旁边还建了小型储能站，要是光伏、风电发的电用不完，就先存到储能站里；等发电少、不够用的时候，再把存的电放出来，让系统供电更稳。同时变电站里加了动态无功补偿装置，这个装置能跟着线路负荷变化自动调节，避免因负荷忽高忽低产生额外能耗，很适配西藏现在新能源发电越来越多的情况。

### 4 西藏输变电系统节能改造路径的实施成效

设备选型与优化改造落地后，西藏高海拔低温区域的输变电设备运行状态明显改善。高海拔专用变压器投用后，其优化后的散热翅片能更高效地散出热量，

在藏南海拔 4000 米左右的变电站中,相同负荷下变压器油温比改造前降低了 5-8 摄氏度,冷却系统的运转时间每天减少 3-4 小时,直接减少了因冷却消耗的电能;密封性能更好的设备外壳,让灰尘湿气渗入量大幅减少,设备内部元件的运转阻力下降,过去每季度需清理一次的内部积尘,现在半年清理一次即可,元件故障发生率降低,避免了因故障维修导致的临时高能耗运转。加装低温适配润滑油的电抗器,在藏北冬季零下 25 摄氏度的环境中,仍能保持顺畅运转,不再出现因润滑油黏度高导致的卡顿现象,设备启动时的电能消耗比改造前减少不少;农牧区替换的大容量变压器,能轻松应对农忙季节的用电高峰,过去农忙时频繁出现的变压器过热、跳闸情况基本消失,不仅保障了灌溉、农机具的正常用电,还避免了因设备超负荷产生的额外能耗浪费。

线路改造后,传输损耗减少的效果在不同区域均有体现。草原区域更换的抗紫外线绝缘层导线,经过两个冬季的使用,绝缘层老化程度明显低于改造前的普通导线,导线导电效率维持在较好水平,冬季积雪覆盖时段的线路传输损耗比改造前降低,过去因绝缘层老化导致的线路漏电问题每月减少 1-2 次;导线外层的防覆冰涂层让积雪附着量减少,大雪过后线路清理时间缩短,减少了因线路覆冰导致的停运损耗。线路沿线植被定期清理工作开展后,杆塔周边 5 米范围内的树木杂草不再影响线路安全距离,藏东林区路段过去每月会出现 2-3 次的因植被靠近导致的降功率运行,改造后此类情况基本杜绝,线路能持续以额定功率稳定传输,避免了因降功率产生的单位电能传输能耗上升。藏北草原风速较大路段的杆塔,加装防风加固装置后稳固性显著提升,阵风天气下线路舞动幅度减小,过去因线路舞动导致的导线磨损、接头松动问题减少,线路故障维修次数下降,间接减少了故障修复期间的临时供电能耗。

新能源调度与储能配套改造,让系统应对波动的

能力增强,能耗浪费进一步减少。依托大数据的新能源出力预测模块,能提前精准预判光伏、风电的出力变化,结合用电规律调整负荷分配后,藏西光伏产业园区周边线路的负荷调整次数每天减少 4-5 次,每次调整伴随的无功损耗随之降低;在光伏出力高峰时段,优先向城镇区域输送电能,让城镇变电站的供电压力减轻,不再需要通过额外调配其他区域电能来补足缺口,减少了跨区域输电的损耗。新能源场站周边的小型储能站发挥了重要作用,光伏电站出力过剩时的弃电现象减少,多余电能通过储能站储存后,能满足周边 3 个村落的夜间用电需求,避免了电能浪费;变电站加装的动态无功补偿装置,能实时根据线路负荷变化调节无功功率,在新能源出力波动时,线路电压保持稳定,过去因电压不稳导致的用电设备低效运转情况减少,比如景区的空调、水泵等设备,现在能以稳定功率运行,避免了因电压波动产生的额外能耗,同时也保障了游客和居民的用电体验。

## 5 结语

本文针对西藏高海拔、低温多风的特殊环境,先梳理了输变电系统因设备适配不足、线路受环境影响大、新能源波动等导致的能耗现状,再依托大数据技术精准定位了设备超负荷、线路绝缘老化、负荷调整频繁等具体能耗问题,随后提出了适配当地的节能改造路径——包括选用高海拔专用设备、升级线路材料、配套新能源储能与调度机制。这些改造落地后,设备运行稳定性显著提升,冷却系统耗电减少、线路漏电故障变少,新能源弃电现象也得到缓解,既降低了输变电系统的能耗,又保障了农牧区农忙、景区旅游的正常用电。接下来可将这些成熟的改造经验推广到西藏更多偏远县域,结合不同区域的海拔、气候差异微调方案,比如在藏北风速更大的地方加强杆塔防风设计,在藏南多雨区域优化设备防水性能,进一步帮当地电力系统降本增效,更好地匹配区域发展对稳定供电的需求。

## 参考文献:

- [1] 李庆峰.高海拔下特高压交流同塔双回输电线路导线电晕损失研究[J].电瓷避雷器,2025,45(6):112-118.
- [2] 王磊.基于 sPARK 框架的电力大数据服务技术[J].信息技术,2024,45(5):102-108.
- [3] 扎西平措.西藏高海拔地区输变电设备节能改造技术研究[J].西藏科技,2023,34(8):56-62.
- [4] 李明,张晓东.兼顾保供与消纳的高比例清洁能源系统储能优化配置运行策略[J].储能科学与技术,2025,14(5):2043-2056.
- [5] 陈明亮.高海拔地区输电线路防覆冰与防风加固技术应用[J].电力建设,2022,43(3):78-85.