

Analysis and Research of the Influencing Factors of Substation Equipment Cost

Xiaoyan Li Jincai Ma Yulin Wang Jing Ma

State Grid Qinghai Electric Power Company Information and Communication Company, Xining, Qinghai, 810016, China

Abstract

“Double carbon” target established, the central financial committee planning difference during the first electric power industry “carbon peak”, and put forward the build with new energy as the main body of the new power system, under this background, high grid enterprise supporting investment for a long time, the original value of fixed assets rising year by year, explore the influence of substation equipment cost, the power grid enterprise cost lean management, input decision-making is of great significance. Its Qinghai province electric power company (hereinafter referred to as “Qinghai company”) through different equipment manufacturers, voltage level, equipment type, transformer capacity and operating environment of the influence of substation equipment cost analysis, the unit transformer capacity construction cost is positively correlated with altitude, with the equipment manufacturer quantity and voltage level, operational maintenance cost efficiency is positively correlated with voltage level, with elevation, equipment manufacturer quantity unrelated analysis results, auxiliary substation cost management decision.

Keywords

substation; equipment; construction cost; transportation inspection cost; impact

变电站设备成本的影响因素分析研究

李晓艳 马进财 王钰琳 马静

国网青海省电力公司信息通信公司, 中国·青海 西宁 810016

摘要

“双碳”目标确立以来, 中央财经委谋划十四五期间率先实现电力行业“碳达峰”, 并提出构建以新能源为主体的新型电力系统, 在此背景下, 电网企业配套投资长期处于高位运行, 固定资产原值逐年攀升, 探索变电站设备成本的影响因素, 对电网企业成本精益管理、投入决策具有重要意义。国网青海省电力公司(以下简称“青海公司”)通过不同设备厂商、电压等级、设备类型、变电容量及运行环境等因素对变电站设备成本的影响分析, 得出单位变电容量建造成本与海拔正相关、与设备厂商数量及电压等级负相关, 运维检修成本效率与电压等级正相关、与海拔负相关、与设备厂商数量不相关的分析结果, 辅助变电站成本管理决策。

关键词

变电站; 设备; 建造成本; 运检成本; 影响

1 引言

目前, 青海公司变电站设备运行环境复杂、设备类型繁多、设备厂商差异明显, 与其他单位相比青海公司变电站设备成本影响因素更加丰富, 因此推进青海公司变电站设备成本的影响因素分析具有重要意义。基于 ERP 资产管理模块、资产全生命周期成本(LCC)、设备生成成本精益化管理、资产墙、资产设备树等建设成果, 聚焦投资计划、物资采购、工程建设、生产运检等关键节点, 剖析变电站成本影响因素, 探明差异情况, 以问题点推及管理面, 沉淀价值特点, 强化精准投资和精益化管理, 为变电站提供多属性、多视角的数字化描述, 多维立体呈现变电站价值信息, 深化成本精益管

理, 推进降本增效, 提升资产管理效益, 提高资源配置水平及投资决策水平。

2 研究背景

2021 年, 习近平总书记在青海视察时提出“四地”建设要求, 为青海的发展指明了方向, 其中之一便是打造国家清洁能源产业高地。国网公司响应党中央号召, 颁布了新型电力系统行动方案和“碳达峰、碳中和”行动方案。青海公司作为国网公司新型电力系统示范区之一, 积极推进清洁能源发展, 电网工程投资规模持续处于高位运行, 并有加大趋势。公司资产规模逐年攀升, 资产运营管理效率效益需客观反映, 量化支持投资决策、管理决策。

3 目标思路

研究目标: 一是深入摸清青海公司变电站成本管理状

【作者简介】李晓艳(1998-)女, 中国青海西宁人, 本科, 助理工程师, 从事大数据分析研究。

况,为精益管理、投资决策提供参考。二是深刻剖析影响变电站成本的主要因素、次要因素^[1],定位变电站及单体资产成本差异原因,为设备选型、成本管理提供参考。三是深度挖掘变电站设备成本效率规律,明确成本的正向、负向影响因子,辅助运检计划制定。

研究思路:以成本差异分析为导向,以数据分析为抓手,聚焦变电站设备成本影响因素,突出资产建设期投资、运行期成本投入,围绕单位变电容量建造成本、万元资产运检成本、设备故障率等指标,多维度开展变电站成本影响分析,挖掘成本规律,提高决策能力。

4 研究内容

4.1 数据收集及整理

为保障研究分析的科学合理,选取全部八家供电公司和超高压公司的750kV变电站2座、330kV变电站4座、110kV变电站20座、35kV变电站21座,合计47座变电站,占青海公司全部变电站的10.44%,其中,分期投入且主变为不同厂商的变电站17座,占收集变电站总数的36.17%。通过梳理各变电站资产的资产原值、累计折旧、电压等级、设备厂家等11类数据,2020—2022三年运检成本,形成4016条有效分析数据,资产原值合计约31.72亿元,占青海公司全部变电资产的15.19%。

分析数据覆盖12个资产类型(避雷器、隔离开关、电压互感器、开关柜、电流互感器、断路器、组合电器、充气柜、电抗器、主变压器、电力电容器、站用变),4类电压等级

(750kV、330kV、110kV、35kV),9家资产管理单位(超高压公司、西宁、黄化、海西、海北、海东、果洛、海南、玉树供电公司),以及221家设备厂商。

4.2 变电站成本影响因素分析

为全面深入分析变电站设备成本,挖掘价值规律,从设备厂家、电压等级、设备类型、运行环境四个因素,围绕建设期成本、运检成本、关键指标,开展影响分析。

4.2.1 设备厂商影响分析

梳理各变电站供应设备的厂商数量,从总体、具体电压等级分析厂商数量对变电站成本的影响;以主变压器为核心,分析主变厂商不同与相同的变电站之间,设备成本是否存在差异;剖析设备厂商对变电站成本的影响规律,为变电站设备选型提供参考^[2]。

①变电站设备厂商数量与建造成本对比分析如图1所示。

总体而言,各变电站设备供应厂商数量在3~40个范围内分布,平均单位变电容量建造成本均在14万~195万元范围内分布,总体呈现上升趋势,设备厂商数量越多,单位变电容量建造成本越低的变化趋势。

原因分析:变电站厂商数量多,工程建设阶段同一类型资产采购时,存在充分竞争,相对而言,采购寻源容易获取低购置价值设备。

②变电站设备厂商数量与运检成本对比分析如图2所示。

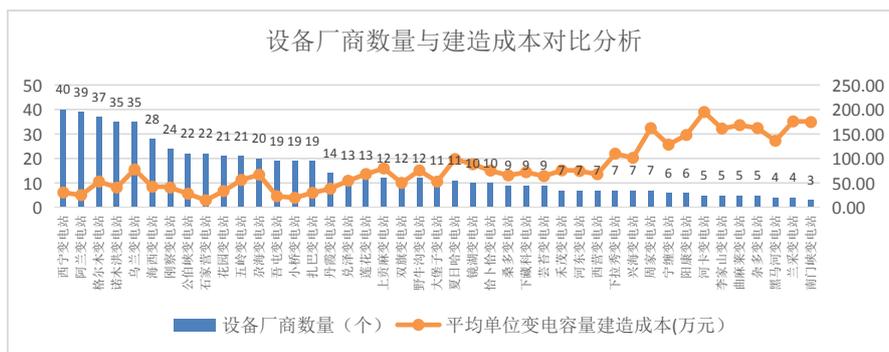


图1 设备厂商数量与建造成本对比分析

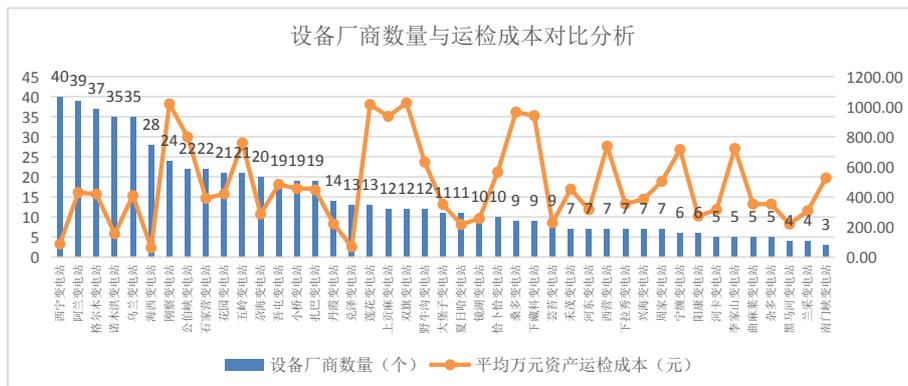


图2 设备厂商数量与运检成本对比分析

总体而言，各变电站设备供应厂商数量在3~40个范围内分布，平均万元资产运检成本（近三年平均，下同）均在62~1025元范围内分布，但并未呈现规律性关联关系，不存在设备厂商数量越多，万元资产运检成本越高的变化趋势。

原因分析：变电站检修成本，主要根据生产部门的日常检修计划和大修项目安排，按照流程执行后归集产生，少数故障成本由抢修归集；变电站运维成本，主要根据生产部门的设备巡视、维护、试验等作业，按照规范的要求，周期性产生，包括人工成本、机械台班费、材料费；运检计划根据具体设备需要和规范制定，并未参照设备供应商制定运检计划。

以设备厂家数量为X轴，万元资产运检成本为Y轴，直观展现设备厂家数量与运检成本关联关系，如图3所示。

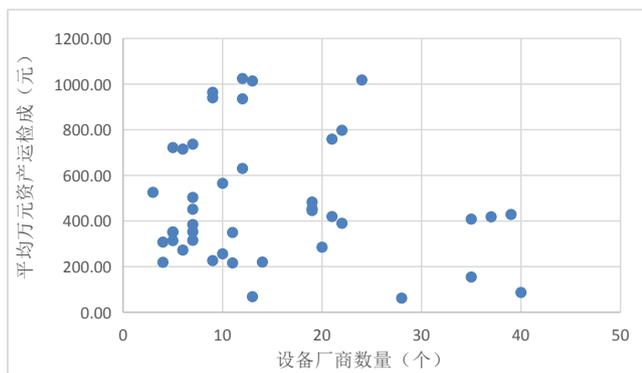


图3 设备厂商数量与万元资产运检成本关联分析

由图3可知，总体上，万元资产运检成本与设备厂商数量呈无规律分布，无明显数学关系，基本不相关。

为进一步剖析关联关系，区分变电站电压等级，深入关联分析。

③主变厂商不同与相同成本对比分析。

聚焦变电站主变压器设备厂商，将变电站区分为主变不同与相同两种类型，剖析两者之间的设备成本是否存在差异，发现成本特点，为设备选型提供参考。

通过数据分类筛选，有17个变电站主变厂商不同，占比约36.17%，如图4所示。

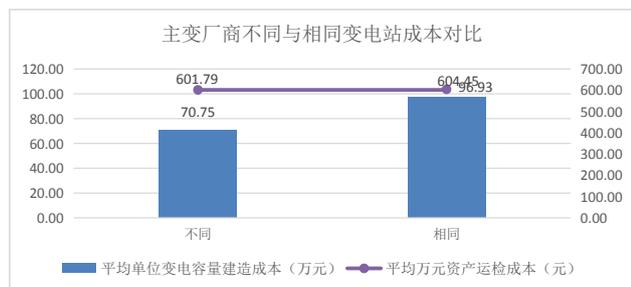


图4 主变厂商不同与相同变电站成本对比分析

变电站设备建造成本方面，主变厂商不同与相同平均单位变电容量建造成本分别达70.75万元、96.93万元，主

变厂商相同的单位变电容量建造成本高出不同37%。运行期运检成本方面，主变厂商不同与相同平均万元资产运检成本分别为601.79元、604.45元，基本无差异。总体上，单位变电容量建造成本主变厂商不同低于厂商相同，运检成本与主变厂商基本不相关。

原因分析：建造成本差异，一是变压器变电容量等技术参数不同，购置价值会有所不同；二是随着技术的革新升级，以及经济的发展变化，变压器制造成本变化，由于时间原因造成购置价值不同；三是变电厂商不同，工程建设阶段同一类型资产采购时，存在充分竞争，相对而言，采购寻源容易获取低购置价值设备。

4.2.2 电压等级影响分析

按照电压等级对比分析设备成本差异，发现价值提升点，选取典型资产类型进行各电压等级设备成本对比，挖掘专项成本特点。

①各电压等级对比分析如图5所示。

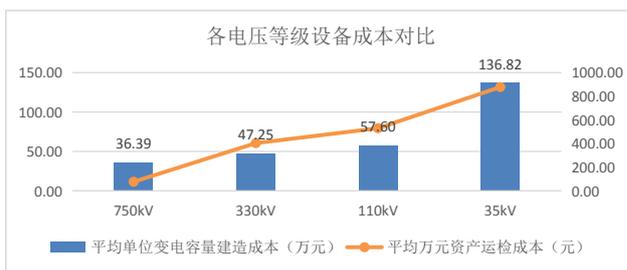


图5 各电压等级设备成本对比情况

基本上单位变电容量建造成本与电压等级负相关、运检成本效率与电压等级正相关。电压等级越高单体资产建造成本越高，平均万元资产运检成本越低，运行期成本效率越高，成本精益管理应重点关注35kV、110kV变电站。

以变电容量视角，分析各电压等级单位变电容量运检成本，进一步剖析电压等级对变电站成本的影响，如图6所示。

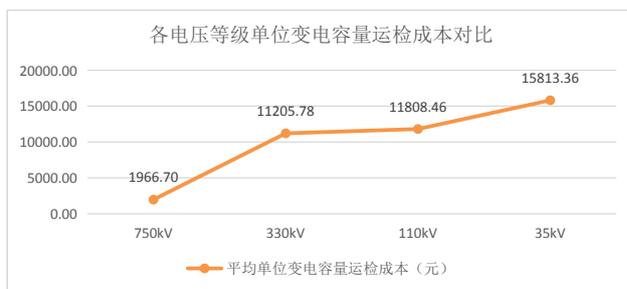


图6 各电压等级单位变电容量运检成本对比情况

单位变电容量运检成本效率与电压等级呈正相关。750kV、330kV、110kV、35kV平均单位变电容量运检成本分别为1966.70元、11205.78元、11808.46元、15813.36元，电压等级越高，平均单位变电容量运检成本越低。同万元资产运检成本与电压等级呈负相关相一致。

原因分析：电压越高，变电容量越大，投资越大，但变电容量增加幅度大于投资，单位变电容量建造成本越低，效率越高。在运行期，电压等级越高，设备越稳定、停电检修越少，运检投入越低，万元资产平均运检成本、平均单位变电容量运检成本越低。

为进一步验证电压等级对建造成本、运检成本的影响，从单体资产视角，以主变压器为例开展对比分析。

②主变压器各电压等级对比分析如图7所示。

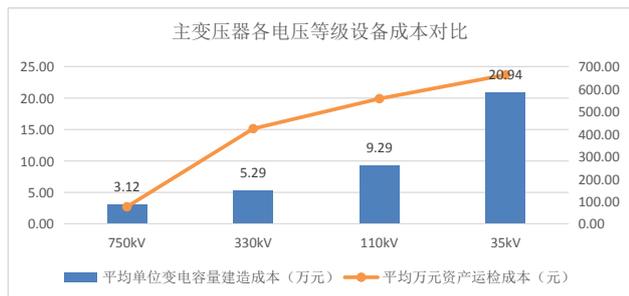


图7 主变压器各电压等级设备成本对比情况

主变压器各电压等级设备成本变化趋势与总体基本一致。

以主变压器变电容量视角，对比分析主变各电压等级单位变电容量运检成本，深入剖析电压等级对单体资产成本的影响，如图8所示。

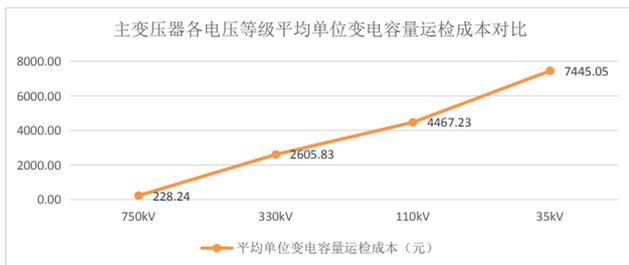


图8 主变压器各电压等级单位变电容量运检成本对比情况

同样地，主变压器各电压等级单位变电容量运检成本变化趋势与总体基本一致。

通过完成电压等级因素对变电站成本的影响分析，发现了单位变电容量建造成本与电压等级负相关，运检成本效率与电压等级正相关的价值特点。

4.2.3 设备类型影响分析

按照设备类型对比分析成本差异，发现成本效率较低的资产类型，追溯低效原因，为成本精益管理提供参考。

①各设备类型对比分析如图9所示。

组合电器、主变压器、电抗器、电力电容器平均资产原值分别为613.16万元、576.58万元、541.93万元、318.36万元，建造成本较高；避雷器、电压互感器、电流互感器平均资产原值分别为10.41万元、11.52万元、12.97万元，建造成本较低。电抗器平均万元资产运检成本均低于172元，运行期成本效率较高；主变压器、站用变、电流互感器、开

关柜平均万元资产运检成本分别达443.55元、524.45元、484.39元、476.13元，运检成本效率较低。

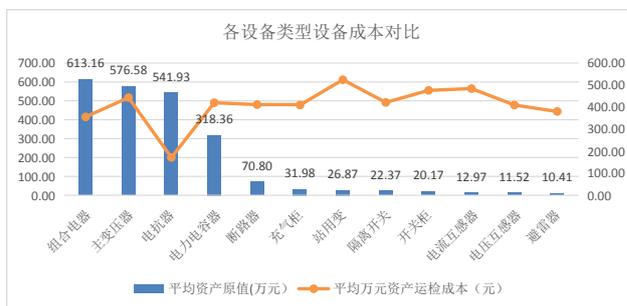


图9 各设备类型设备成本对比情况

原因分析：组合电器、主变压器、电抗器、电力电容器购置价值较大且安装复杂，建造成本大，而避雷器、电压互感器、电流互感器购置价值较小，建造成本小。电抗器属于长期稳定运行设备，不容易发生故障，运检投入少；主变压器、站用变、电流互感器，作为重点监测设备，检修次数较多，运维频繁，运检投入多。

聚焦运行期，以万元资产检修成本为X轴，以万元资产运维成本为Y轴，以各自平均值为原点，构建“低运检”“高检修低运维”“高运维低检修”“高运检”四类评价模型，直观展现各设备类型运检成本效率，为运检策略制定提供参考，优化资源分配，如图10所示。

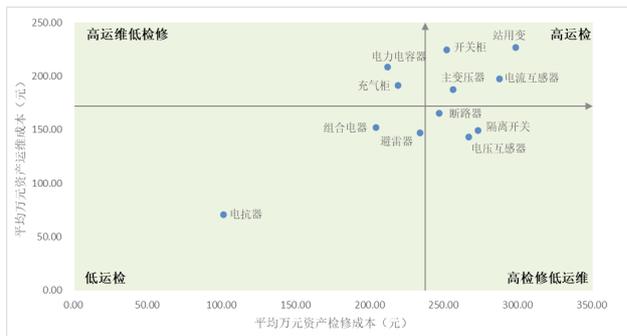


图10 各设备类型运检评价象限

“低运检”：建议保持运检成本管理，持续维持运检水平，保障设备安全稳定运行。

“高检修低运维”：检修投入偏高，建议保障设备安全稳定前提下，适度降低检修水平，保持运维水平。

“高运维低检修”：运维投入偏高，建议保障设备安全稳定前提下，适度降低运维水平，保持检修水平。

“高运检”：运检投入均偏高，建议保障设备安全稳定前提下，同时降低运检水平。

考虑到电压等级对变电站成本的明显影响，为进一步探索各设备类型的成本差异特点，深入分析各电压等级下设备类型的成本价值规律。

②750kV各设备类型对比分析如图11所示。

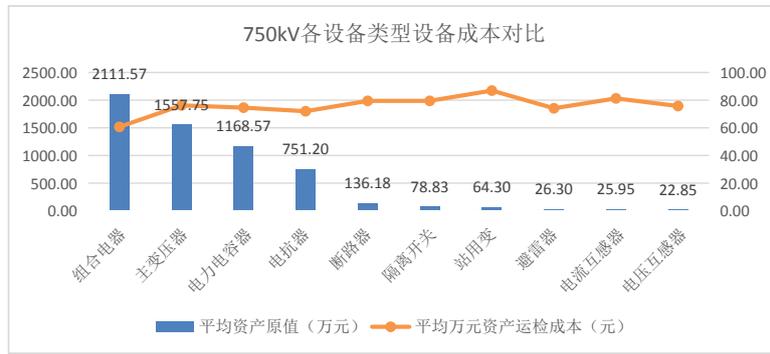


图 11 750kV 各设备类型设备成本对比情况

750kV 各设备类型建造成本与总体趋势基本一致，造价成本普遍高于总体平均水平。各设备类型运行期成本效率变化不大，平均万元资产运检成本低至 76 元左右，低于总体运检平均水平 401 元较多，且两者趋势基本重合。

原因分析：750kV 变电站设备数量多、设备技术要求高、结构复杂，建设规模大且周期长，设备购置价值大，投入的建安费用和其他费用较多，从而建造成本较高。运行期成本方面，750kV 变电站设备稳定、停电少且资产原值基数高，运检投入较少，万元资产运检成本较低。

③ 330kV 各设备类型对比分析如图 12 所示。

330kV 主变压器建造成本高出其他设备类型较多，是其他设备类型的至少 5 倍，最高达 250 多倍，相对于 750kV 变电站，组合电器建造价值低于主变压器，其他设备类型建造成本与总体趋势一致。各设备类型运行期成本效率变化不大，平均万元运检成本低至 413 元左右，低于总体 64 元左右，运检成本效率基本高于总体水平。

原因分析：330kV 组合电器较 750kV 组成设备数量少，购置价值较低，且低于主变压器，主变压器技术要求高，购置价值相对于其他设备类型较高，分摊的建安、其他费用较多，导致建造成本高出其他设备类型较多。330kV 变电站相对而言，设备稳定、停电较少，运检投入一般，资产价值相对较高，而万元资产运检成本低于总体平均水平。

④ 110kV 各设备类型对比分析如图 13 所示。

110kV 主变压器建造成本相对于其他设备类型，情况与 330kV 一致，其他设备类型中组合电器、充气柜、站用变平均资产原值分别为 64.35 万元、36.15 万元、33.59 万元，建造成本较高。110kV 变电站各设备类型，平均万元资产运检成本大部分在 480 元上下浮动，高于总体平均的 477 元，运检成本效率基本低于总体水平；组合电器、开关柜、电力电容器、隔离开关平均万元资产运检成本分别达 807.07 元、590.24 元、594.60 元、546.60 元，运检成本效率较低。

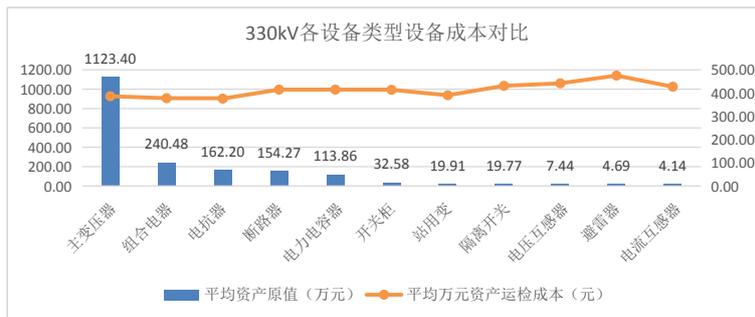


图 12 330kV 各设备类型设备成本对比情况

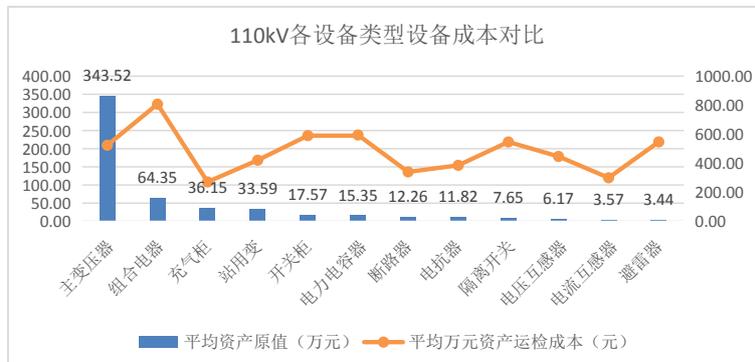


图 13 110kV 各设备类型设备成本对比情况

原因分析：110kV 变电站主变压器相对于其他设备类型购置价值大，高出较多，其次购置价值较大的依次为组合电器、充气柜、站用变，导致建造成本较高。110kV 变电站是青海电网架构的中间节点，中转地位重要，运检投入较多，且各设备类型资产价值相对较低，平均万元资产运检成本较高；组合电器、开关柜、电力电容器、隔离开关属于 110kV 变电站的易损设备，停电检修多，运维频率较高，相对其他设备类型运检投入较多。

由于 110kV 变电站各设备类型波动较大，以模型建立“低运检”“高检修低运维”“高运维低检修”“高运检”

四类评价象限，直观展现 110kV 各设备类型运检效率，为设备类型降本增效提供参考，如图 14 所示。

⑤ 35kV 各设备类型对比分析如图 15 所示。

35kV 主变压器建造成本相对于其他设备类型，趋势与 330kV、110kV 一致，其他设备类型中充气柜、开关柜平均资产原值分别为 28.49 万元、22.15 万元，建造成本较高。平均万元资产运检成本大部分在 600 元上下浮动，与 110kV 相比高出总体水平幅度同样加大，运检成本效率低于总体水平。断路器、电流互感器、避雷器平均万元资产运检成本分别达 951.23 元、704.46 元、687.45 元，成本效率较低。

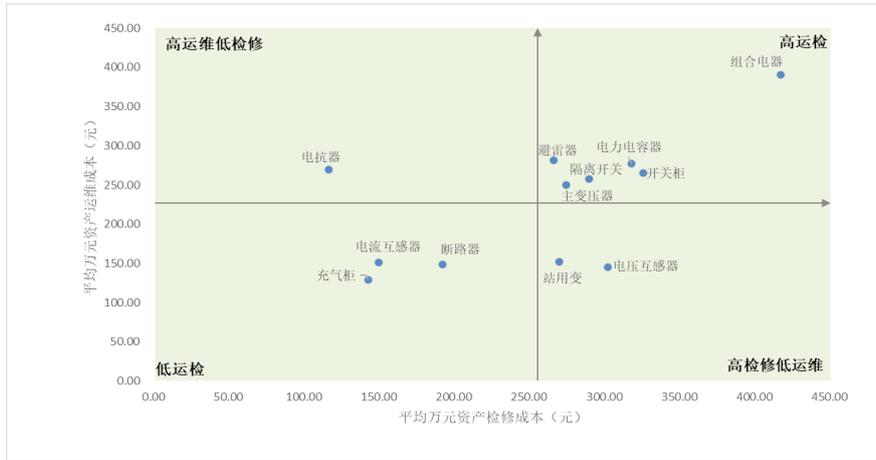


图 14 110kV 各设备类型运检评价象限

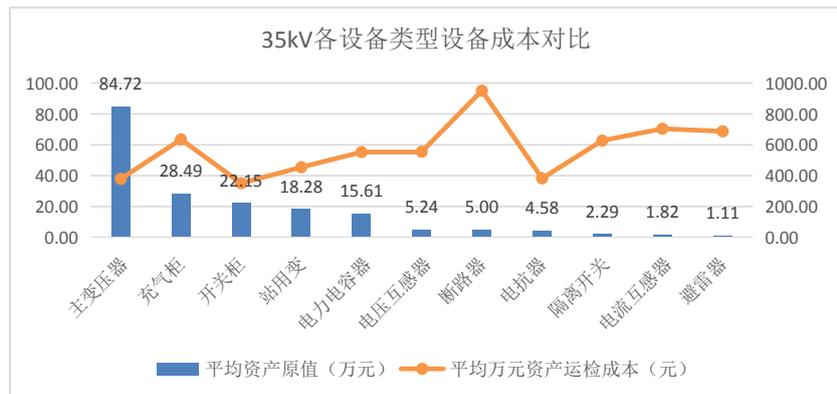


图 15 35kV 各设备类型设备成本对比情况

原因分析：35kV 变电站主变压器相对于其他设备类型一样购置价值大，高出较多，其次充气柜、开关柜购置价值较大，从而建造成本较高。

35kV 变电站是配电网负荷最上游，直接承担配电网负荷，运检投入较多，各设备类型平均资产原值最低，导致平均万元资产运检成本最大；35kV 变电站中断路器、电流互

感器、避雷器属于易损设备，停电检修频率较高，运检投入相对较高。

35kV 变电站各设备类型存在波动情况，进一步以模型建立“低运检”“高检修低运维”“高运维低检修”“高运检”四类评价象限，直观展现 35kV 各设备类型运检效率，辅助运检策略制定，如图 16 所示。

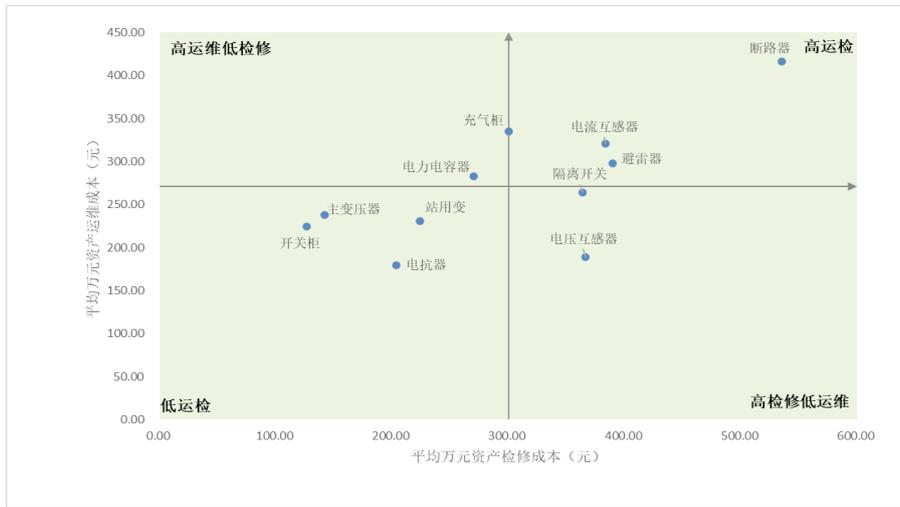


图 16 35kV 各设备类型运检评价象限

通过完成设备类型对变电站成本的影响分析，发现了不同设备类型对变电站建造成本影响程度不同，主变压器、组合电器建造成本占比较高，不同电压等级运检成本效率较高、较低的设备类型各不相同。青海公司地处青藏高原腹地，继续拓展以运行环境为因素的影响分析，发掘以高海拔为特点的青海公司成本规律十分必要。

4.2.4 运行环境影响分析

除超高压公司外，根据各地市供电公司海拔高低，将青海公司各单位划分为高海拔区（平均 2500m）、中高海拔区（平均 3500m）、超高海拔区（平均 4400m），高海拔区包括海东供电公司、西宁供电公司、黄化供电公司，中高海拔区包括海南供电公司、海北供电公司、海西供电公司，超高海拔区包括果洛供电公司、玉树供电公司。对比分析不同地理环境设备成本差异，发现成本规律，辅助投资决策，如图 17 所示。

总体上海拔越高，平均单位变电容量建造成本越高，超高、中高、高海拔区变电站平均单位变电容量建造成本分

别达 106.76 万元、81.24 万元、69.29 万元。一般而言，运维检修成本效率与海拔负相关，海拔越高平均万元资产运检成本越高，成本效率越低。超高、中高、高海拔区变电站主设备平均万元资产运检成本分别为 826.51 元、726.54 元、525.06 元。

原因分析：特殊的高海拔、低气压环境，对电气设备的空气间隙绝缘和沿面绝缘造成很多不利影响。随着海拔的增加，大气压力下降，外绝缘的放电电压也随之下降，昼夜温差变大，热胀冷缩作用下设备容易产生裂纹，紫外线越强，光氧化作用加剧了设备老化，冻土发生越多，主设备地基基础容易产生松动，覆冰雪时间越长，设备跳闸故障增加。因此，海拔越高，一是对设备环境保护要求增高，建设期投入的建安、其他费用较多，导致建造成本越高。二是设备受损风险加大，设备发生故障增加，运检投入随之增加。

完成变电站成本与运行环境的关联分析后，发现了建造成本与海拔正相关，运检成本效率与海拔负相关的价值特点。

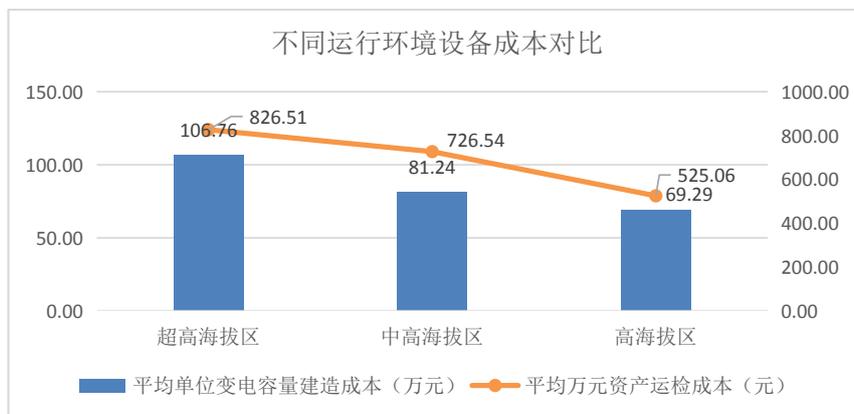


图 17 不同运行环境设备成本对比情况

5 研究结论

通过不同供应商及不同电压等级、不同设备类型、不同运行环境对变电站主设备成本的影响分析,总结如下。

5.1 设备选型应综合考虑变电站全寿命周期成本

从建造成本而言,大体上,单体资产建造成本与设备厂商数量负相关,不呈现强相关。对于110kV、35kV变电站,主变厂商不同单体资产建造成本更低,但运检成本基本无差异。对于单体资产而言,主变厂商不同的单位变电容量建造成本优于主变厂商相同,但运检成本效率基本无差异。因此,资产选型应综合考虑整个变电站的建造成本和运行期成本,良好的设备厂商数量,繁荣的竞争环境,有利于整个变电站成本降低。

5.2 成本管理应重点关注35kV、110kV变电站

单位变电容量建造成本与电压等级负相关。电压越高,变电容量越大,投资越大,但变电容量增加幅度大于投资,单位变电容量建造成本越低,效率越高^[3]。35kV变电站单位变电容量建造成本约为330kV变电站的2.9倍,750kV变电站的3.76倍;110kV变电站主要设备建造成本约为330kV变电站的1.22倍,750kV变电站的1.58倍。运检成本效率与电压等级正相关。在运行期,电压越高,设备越稳定、停电检修越少,运检投入越低,平均万元资产运检成本越低。35kV变电站主要设备万元资产运检成本约为330kV变电站的1.25倍,750kV变电站的2.2倍;110kV变

电站主要设备万元资产运检成本约为330kV变电站的1.1倍,750kV变电站的1.9倍。

5.3 设备类型影响变电站建造成本与运检成本

各设备类型建造成本、运检投入存在差异。不同电压等级,建造成本差异特点不同,750kV变电站组合电器、主变压器建造成本最高,占比约62%,330kV、110kV、35kV变电站中主变压器建造价值占比最大,占比约50%,各电压等级下设备类型影响运检成本。

5.4 单体资产建造成本与海拔正相关,运检成本效率与海拔负相关

海拔越高,单体资产建造成本越高,运检成本越高,成本效率越低。一般海拔每升高100m,平均单位变电容量建造成本增加约1.97万元,平均万元资产运检成本增加约15.86元。

综上所述,变电站设备成本与设备选型、电压等级、海拔等内部、外部因素都有一定的关系,在建造时要充分考虑各个因素带来的影响,经过科学精准的计算,以合理控制变电站建造成本。

参考文献

- [1] 梁金正,梁九龄,熊振冬,等.基于全寿命周期成本的变电站设计方案比选方法研究[J].湖南电力,2023,43(3):115-119.
- [2] 朱克亮,张李明,石雪梅,等.基于“双碳”目标的变电站建设过程中“永临结合”探索与实践[J].电力与能源,2022,43(1):13-17.
- [3] 倪玮.智能化变电站造价控制[J].华东电力,2014,42(3):601-607.