

计及可靠性评估的中压配电网规划方案比选

杨文丽

(重庆理工大学电气与电子工程学院,重庆 400050)

摘要:从可靠性参数搜集及计算方法和备选规划方案比选两方面切入,进一步丰富 DL/T 1503—2016 中压配电网可靠性评估导则在规划中的应用,提出了基于可靠性评估的中压配电网的方案形成与比选方法,内容包括相关参数的搜集、可靠性计算方法和方案比选。综合考虑可靠性与经济性,基于“有无对比法”给出配电网投资的增量净效益计算模型,并分析不同网架供电能力与负荷需求关系下净效益简化模型与全寿命周期成本最小化比选方案的异同。基于全寿命周期净现值、净现值率等动态指标进行投资成本效益分析,可用于多个方案的比选。案例表明,本文方法有效。

关键词:中压配电网;可靠性评估;有无对比法;全寿命周期;方案比选

中图分类号:TM715

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2018)02-0013-07

0 引言

DL/T 1503—2016 中压配电网可靠性评估导则^[1]是电力行业首部可靠性评估导则,实现由“事后评价”到“事前事中预测评估”的转变。已有文献结合最新导则对其在中压配电网规划、改造、运行环节的应用进行了研究^[2-8]。

当前对于投资方案评估或比选方法,主要是全寿命周期成本^[9-14]和成本效益^[15-16]模型。在不考虑电价浮动的场景下,全寿命周期成本最小化即为效益最大化,此模型在单项或小规模工程项目、输电网项目比选时有较强的实用性。而在新电改背景下,政府将按照“准许成本+合理收益”模式核定电网企业或增量配电网的 220 kV 及以下的输配电价,且具备条件时实行与供电可靠率、线损率等关键指标挂钩的浮动调价机制^[17]。如此,最靠近用户且往往有着较大建设与改造规模的中压配电网,其投资决策者将更加注重成本效益原则,在政府管制框架内通过适度投资,提升供电质量,以尽可能地获取更多的合理利润。

现有计及可靠性评估的成本效益方法研究中,采用“前后对比法”计算可靠性提升效益与改造投资的差值或比值^[3]或通过前后供电量之差作为增供电量^[18]计算方案成本效益,多适用于电量趋稳、网架成熟的中压配电网或纯增量配电网。而对于部分新建与现存存在关联影响的中压配电网规划而言,因其投资同时用于满足负荷增长、提升供电

可靠性和降低网络损耗,采用上述方法计算投资成本效益时涵盖了存量电网容量裕度的贡献纳,无形中扩大了该项投资的效益。而“有无对比法”将“有项目”成本效益逐年与“无项目”作动态比较,求得两者增量成本效益,可衡量投资项目的真实影响、效益和作用^[19]。

结合相关理论与工程实践,本文从可靠性参数搜集及计算方法和备选规划方案比选两方面切入,提出了计及可靠性的规划方案形成与比选方法。其中,基于“有无对比法”给出投资项目的增量净效益模型,并分析不同网架供电能力与负荷需求关系下净效益简化模型与常规全寿命周期费用(life cycle cost, LCC)最小化比选方案的异同。基于全寿命周期动态经济指标评估多个投资方案,为决策者提供参考。

1 计及可靠性评估的中压配电网规划方案的形成与比选方法

1.1 基本思路

计及可靠性的中压配电网规划方案的形成与比选方法主要包括现状电网供电可靠性计算、规划方案拟定与可靠性指标计算和基于成本效益模型的方案比选。方案形成与比选的基本思路见图 1。

1.2 现状电网供电可靠性计算

1.2.1 计算参数搜集与校验

搜集及处理基础资料。从相关系统获取供电可靠性计算所需基础资料(如图 2 所示),并进行整理、校验处理。

1.2.2 可靠性指标计算与分析

基于故障模式后果分析法(failure mode and

收稿日期:2017-11-04;修回日期:2017-12-12

基金项目:陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2016JM5072)

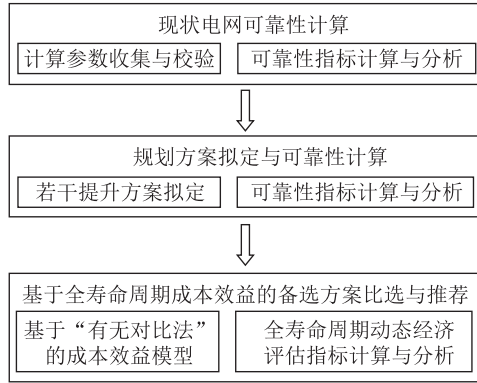


图1 计及可靠性的规划方案形成与比选思路

Fig.1 General idea of the formation and selection method of planning schemes considering reliability

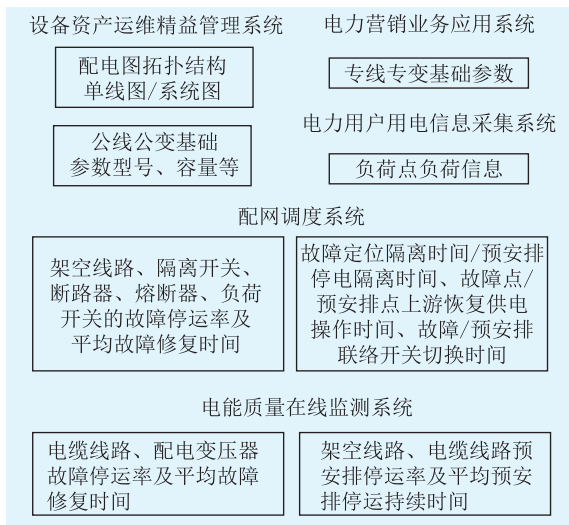


图2 供电可靠性计算所涉参数

Fig.2 Power supply reliability calculation parameters effect analysis, FMEA)^[2], 计算故障停电可靠性指标(预安排类似,略去)。

(1) 枚举单个设备故障,梳理设备故障后开关跳闸、故障隔离、非故障区恢复供电过程,确定该故障对各负荷点的停电影响,进而计算各负荷点的年故障停电次数和年停电持续时间。

① 负荷点年故障停电次数计算公式:

$$\lambda_L = \sum_{S \in N} \delta_S \quad (1)$$

式中: λ_L 为负荷点 L 年故障停电次数; δ_S 为设施故障停运率; N 为故障后会造成该负荷点停电的设施的集合。

② 负荷点年故障停电小时数计算公式:

$$t_L = \sum_{S \in N} \delta_S t_{sh} \quad (2)$$

式中: t_L 为负荷点 L 年故障停电小时数; t_{sh} 设施故障后该负荷点恢复供电时间。

(2) 重复第一步,记录所有设备单独故障后各

负荷点的故障停运率和故障停电持续时间,形成故障模式后果分析表。

(3) 计算该负荷点的供电可靠率、缺供电量等可靠性指标。

① 负荷点供电可靠率计算公式:

$$K_L = \left(1 - \frac{t_L}{8760}\right) \times 100\% \quad (3)$$

式中: K_L 为负荷点 L 供电可靠率。

② 负荷点 L 年缺供电量计算公式:

$$Q_{ENSL} = t_L P_L \quad (4)$$

式中: Q_{ENSL} 为负荷点 L 年缺供电量; P_L 为负荷点 L 的负荷。

(4) 依次计算每个负荷点的可靠性指标,并在此基础上计算系统可靠性指标。

① 系统平均停电频率,记作 F_{SAIFI} ,其计算公式为:

$$F_{SAIFI} = \frac{\sum_{L=1}^M (\lambda_L k_L)}{N} \quad (5)$$

式中: k_L 为 L 负荷点下用户数; M, N 分别为系统总负荷点、总用户数。

② 系统平均停电时间,记作 t_{SAIDI} ,其计算公式为:

$$t_{SAIDI} = \frac{\sum_{L=1}^M (u_L k_L)}{N} \quad (6)$$

式中: u_L 为负荷点年停电时间。

③ 系统平均供电可靠率,记作 K_{ASAI} (%),其计算公式为:

$$K_{ASAI} = \left(1 - \frac{F_{SAIDI}}{8760}\right) \times 100\% \quad (7)$$

④ 系统缺供电量,记作 Q_{ENS} ,其计算公式为:

$$Q_{ENS} = \sum_{L=1}^M Q_{ENSL} \quad (8)$$

基于供电可靠性指标,可以辨识薄弱环节,找出对某一可靠性指标影响较大的设备或可靠性参数,便于制定规划方案。

1.3 规划方案拟定与可靠性计算

1.3.1 方案拟定

结合区域电量增长需求、可靠性薄弱环节分析和规划预期目标,统筹解决配网结构优化与存量问题,提出满足未来负荷需求、提升供电可靠性的若干规划方案。提升供电可靠性的技术与管理措施如图3所示。

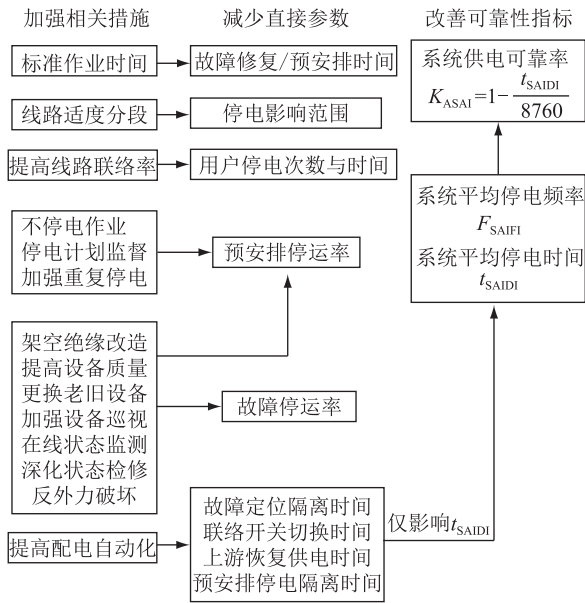


图3 供电可靠性提升措施分析

Fig.3 Power supply reliability improvement measures

1.3.2 可靠性计算

计算并分析各备选方案的可靠性指标,如平均停电频率、平均停电时间、供电可靠率和期望缺供电量等可靠性指标。

1.4 基于全寿命周期成本效益评估模型方案的方案比选

1.4.1 基于“有无对比法”的成本效益模型

本文设定有/无项目均以“有项目”设备全寿命周期为一个完整的计算期,且不考虑“无项目”的追加投资。第 t 年中压配电网增量净效益 ΔB_t 计算公式如下:

$$\Delta B_t = \Delta R_t - (T_t' + \Delta C_{yt} + \Delta C_{lt} + \Delta C_{et}) \quad (9)$$

式中: ΔR_t , T_t' , ΔC_{yt} , ΔC_{lt} 和 ΔC_{et} 分别为第 t 年中压配电网的增量电量收入、初始投资、增量运维成本、增量网损成本和增量停电损失。

(1) 增量运维成本。运维成本含材料费、修理费和薪酬等,第 t 年中压配电网增量运维成本 ΔC_{yt} 为:

$$\Delta C_{yt} = \delta_{yt} T_{zt}' \quad (10)$$

式中: δ_{yt} 为第 t 年运维成本率; T_{zt}' 分别为第 t 年“有项目”中压配电网累计初始投资。其中,“有项目” T_{zt}' 计算公式:

$$T_{zt}' = \begin{cases} T_1' + \dots + T_t' & 1 \leq t \leq a \\ \sum_{i=1}^a T_i' & a \leq t \leq n \end{cases} \quad (11)$$

式中: T_t' 为第 t 年“有项目”逐年初始投资; n 为计算期, a 为建设期。

本文假定运维成本率在计算初期、中期和末期

近似呈浴盆状变化。运维成本率 δ_{yt} 近似计算公式:

$$\delta_{yt} = \begin{cases} \delta_{y_{\max}} - \frac{\delta_{y_{\max}} - \delta_{y_{\min}}}{t_1 - 1} (t - 1) & 1 \leq t < t_1 \\ \delta_{y_{\min}} & t_1 \leq t \leq t_2 \\ \frac{\delta_{y_{\max}} - \delta_{y_{\min}}}{n - t_2} (t - t_2) + \delta_{y_{\min}} & t_2 < t \leq n \end{cases} \quad (12)$$

式中: $\delta_{y_{\max}}$ 为计算初、末期运维成本率; $\delta_{y_{\min}}$ 为计算中期运维成本率; t_1 , t_2 为浴盆曲线平稳期两时间节点。

(2) 增量网损成本。第 t 年中压配电网增量网损成本 ΔC_{lt} 为:

$$\Delta C_{lt} = \tau_{\max} (P_{lt}' J' - P_{lt} J) \quad (13)$$

式中: P_{lt}' , P_{lt} 为第 t 年有、无项目时中压配电网最大负荷水平下的网络损耗; τ_{\max} 为最大负荷年损耗小时数; J' , J 为有、无项目上下级平均配电价差额^[15]。

(3) 增量停电损失。第 t 年中压配电网增量停电损失 ΔC_{et} 为:

$$\Delta C_{et} = \eta (Q_{ENS_t}' - Q_{ENS_t}) J_{et} \quad (14)$$

式中: η 为年负荷率, $\eta = T_{\max} / 8760$; Q_{ENS_t}' , Q_{ENS_t} 分别为第 t 年有、无项目时中压配电网最大负荷水平下的缺供电量,由本文前述可靠性评估算法求得; J_{et} 每年单位停电损失。

(4) 增量净效益。为评估某一期规划在整个计算期的收益,采用下式计算各年增量电量收入 ΔR_t 为:

$$\Delta R_t = T_{\max} (P_t' J' - P_t J) \quad (15)$$

其中:

$$P_t' = \begin{cases} P_{\max} & P_{\max} \leq C_A \\ C_A & P_{\max} > C_A \end{cases} \quad (16)$$

$$P_t = \begin{cases} P_{\max} & P_{\max} \leq C_{A0} \\ C_{A0} & P_{\max} > C_{A0} \end{cases} \quad (17)$$

式中: P_t' , P_t 分别为计算期内各年有、无项目中压配电网计算负荷,与各自满足 $N-1$ 条件下的供电能力 C_A , C_{A0} 相匹配; P_{\max} 为规划区域实际负荷需求。

结合式(9—17),得到基于“有无对比法”的增量净效益 ΔB_t 为:

$$\Delta B_t = \Delta R_t - (T_t' + \Delta C_{yt} + \Delta C_{lt} + \Delta C_{et}) = T_{\max} (P_t' J' - P_t J) - [T_t' + \delta_{yt} T_{zt}' + \tau_{\max} \times (P_{lt}' J' - P_{lt} J) + \eta (Q_{ENS_t}' - Q_{ENS_t}) J_{et}] \quad (18)$$

(5) “有项目”增量净效益模型分析。结合网架供电能力和区域负荷需求关系(见图4,抽象对比),在式(18)基础上分析不同场景下“有项目”的

增量净效益计算模型。

曲线 C_{A0} 为保持现状的“无项目”供电能力曲线; $C_A - 1$ 、 $C_A - 2$ 和 $C_A - 3$ 为不同场景下“有项目”供电能力曲线; $P' - 1$ 、 $P' - 2$ 和 $P' - 3$ 分别为相应场景下“有项目”区域负荷需求曲线(与网架供电能力相匹配)。 a 为建设期结束节点; n 为计算期结束节点。

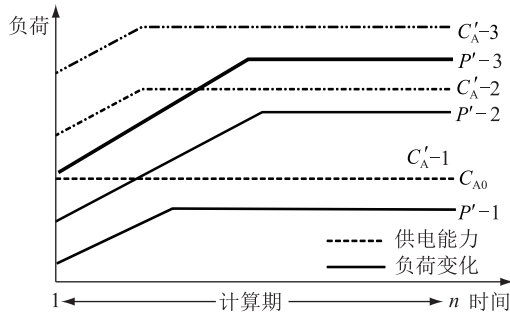


图4 不同场景下的负荷需求与供电能力

Fig.4 The load demand and power supply capability in different scenarios

① 场景一: C_{A0} 、 $C_A - 1$ 和 $P' - 1$ 构成“现状网架较为成熟、供电能力满足未来负荷需求”的场景。

(a) 若投资前后电价 $J' = J$, 则该项投资的增量净效益 ΔB_t 计算公式可简化为:

$$\Delta B_t = \tau_{\max}(P_{lt} - P_{lt}')J + \eta(Q_{ENSr}' - Q_{ENSr})J_{et} - T_t' - \delta_y T_{zt}' \quad (19)$$

式中:右边第一、二项目即为降损效益、可靠性提升效益,第三、四项目即为投资运维成本。

因此,对于现状网架较为成熟、供电能力能满足未来负荷需求且着重提升供电可靠性、降低线损率的配电网规划项目,采用式(19)简化模型计算单个方案的增量净效益和净现值等指标,可真实反映项目的投资收益,进而从成本效益角度决策是否执行该项目。

对于均可执行的各备选方案, ΔB_t 所得净现值最大者为最优方案,这等同于不采用“有无对比法”直接比较各备选项目的成本,其最小的方案即为最优方案,与常规 LCC 模型比选结果一致。

(b) 若投资后电价增值(供电质量绩效),则该项投资的增量净效益 ΔB_t :

$$\Delta B_t = T_{\max} P_{\max} (J' - J) - [T_t' + \delta_y T_{zt}' + \tau_{\max} \times (P_{lt}' J' - P_{lt} J) + \eta(Q_{ENSr}' - Q_{ENSr}) J_{et}] \quad (20)$$

对于可执行的多个备选方案,若考虑供电质量绩效电价增值因素,则以式(20)计算所得净现值最大者应为推荐方案,这可能与 LCC 最小化比选结果不一致。

② 场景二: C_{A0} 、 $C_A - 2$ 和 $P' - 2$ 构成“现状网

架供电能力尚能满足一定阶段的负荷需求但局部尚需新建改造”的场景。

常规成本效益计算中的增供电量收入主要是采用“前后对比法”,这涵盖了存量资产的贡献,无形扩大了一项投资的效益。文献[15]给出了一种基于增供电量收入分摊的思路,但其中增量电量效益、降损效益用“前后对比法”而可靠性提升效益用“有无对比法”互相交叉,尚有不妥之处。

③ 场景三: C_{A0} 、 $C_A - 3$ 和 $P' - 3$ 构成“当前负荷水平已接近或超过现状网架供电能力、配电网需不断新建和完善”或“新建区域纯增量配电网”的场景。

(a) 对于“当前负荷水平已接近或超过现状网架供电能力”的情况,“无项目”负荷、线损和缺供电量按恒值处理。若投资前后电价 $J' = J$, 则该项投资的增量净效益 ΔB_t :

$$\Delta B_t = \Delta R_t - (T_t' + \Delta C_{yt} + \Delta C_{lt} + \Delta C_{et}) = T_{\max}(P_t' - P)J - [T_t' + \delta_y T_{zt}' + \tau_{\max} \times (P_{lt}' J' - P_{lt} J) + \eta(Q_{ENSr}' - Q_{ENSr}) J_{et}] \quad (21)$$

基于“有无对比法”的分析结果与“前后对比法”一致。

(b) 对于“新建区域为纯增量配电网”的情况,“无项目”所有因素均为 0, 则一项投资的增量净效益 ΔB_t 计算公式可简化为:

$$\Delta B_t = T_{\max} P_t' J' - T_t' - \delta_y T_{zt}' - \tau_{\max} P_{lt}' J' - \eta Q_{ENSr}' J_{et} \quad (22)$$

对于均可执行的多个备选方案,若忽略供电质量绩效电价增值影响,各方案电量收入均相同,那么效益最大的方案其成本最小,与常规 LCC 模型比选结果一致;当考虑电价影响时,净效益最大者为最优方案,可能与常规 LCC 模型比选结果不一致。

1.4.2 动态经济评估指标

动态经济指标主要包括净现值、净现值率、内部收益率和动态投资回收期。

(1) 增量净现值。考虑有、无项目计算期末设备残值,则增量净现值 ΔV_{NPV} :

$$\Delta V_{NPV} = \sum_{t=1}^n \Delta B_t (1+i)^{-t} + (S' - S) (1+i)^{-n} \quad (23)$$

式中: i 为基准折现率; S' 、 S 分别为第 t 年有、无项目时中压配电网计算期末的残值。

净现值大于 0, 方案财务上可行。

(2) 增量净现值率。增量净现值率 Δr_{NPVR} 公式如下:

$$\Delta r_{NPVR} = \frac{\Delta V_{NPV}}{\sum_{t=1}^n (T'_t + \Delta C_{yt}) (1+i)^{-t}} \quad (24)$$

(3) 增量内部收益率。增量内部收益率 Δr_{IRR} 公式如下:

$$\sum_{t=1}^n \Delta B_t (1 + \Delta r_{IRR})^{-t} = 0 \quad (25)$$

内部收益率大于基准收益率,方案可行。

(4) 动态投资回收期。动态投资回收期 t_{dpp} 公式如下:

$$\sum_{t=1}^{t_0} \Delta B_t (1+i)^{-t} > 0 \quad (26)$$

$$t_{dpp} = [t_0 - 1] + \left| \frac{\sum_{t=0}^{t_0-1} \Delta B_t (1+i)^{-t}}{\Delta B_{t_0} (1+i)^{-t_0}} \right| \quad (27)$$

式中: t_0 为累计净现值开始大于 0 对应的年份。

(5) 方案推荐。在多个财务上可行的方案中,可根据决策者偏好选取净现值或净现值率最大的方案为推荐方案。

2 案例分析

2.1 基本参数

某规划区域现状年 10 kV 网供负荷 80 MW, 10 kV 线路 30 条, 平均负载率约 33%, 满足 $N-1$ 供电能力约 120 MW。未来各年 10 kV 网供负荷预测值见表 1。

表 1 规划区域 10 kV 网供负荷
Tab.1 Load prediction of 10 kV network

年度/a	负荷/MW	年度/a	负荷/MW
1	87.4	5	124.3
2	95.4	6	135.8
3	104.2	7	148.3
4	113.8	8~18	162

最大负荷利用小时数 T_{max} 年均 4000 h, 最大损耗小时数 τ_{max} 为 3000 h, 年负荷率 η 为 46%; 运维成本率 δ_y 为 4%~7%, 浴盆曲线时间节点为第 6 年和第 14 年; 单位停电损失成本 J_{er} 为 10 元/(kW·h); 折现率 i 为 8%。

2.2 供电可靠性指标计算分析

2.2.1 现状电网可靠性诊断

搜集、整理所在区域基础参数与可靠性参数, 采用故障模式后果分析法计算现状中压配电网供电可靠性指标, 见表 2。

该中压配电网老旧、高损及存在安全隐患设备比例约 30%, 主干线路分段偏少, 单辐射线路比例

表 2 现状年供电可靠性指标

Tab.2 Power supply reliability in the basic year

可靠性指标	现状
平均停电频率/[次·(户·a) ⁻¹]	3.495
平均停电时间/[h·(户·a) ⁻¹]	35.04
供电可靠率/%	99.6
缺供电量/[(MW·h)·a ⁻¹]	371.8

35%, 不满足 $N-1$ 校验线路比例约 45%, 无配电自动化。

2.2.2 方案拟定与可靠性计算

结合区域负荷增长需求、可靠性薄弱环节分析和规划预期目标, 统筹解决配网结构优化与存量问题, 拟定三种新建改造方案。

(1) 备选方案分年度投资。各备选方案分年度初始投资见表 3。方案一、方案二和方案三总建设投资分别为 1.151 2 亿元、1.496 5 亿元和 1.726 7 亿元。

表 3 分年度初始投资
Tab.3 Annual initial investment

年度/a	方案一/亿元	方案二/亿元	方案三/亿元
1	0.287 8	0.374 1	0.431 7
2	0.402 9	0.523 8	0.604 4
3	0.460 5	0.598 6	0.690 7
总初始投资	1.151 5	1.496 5	1.726 7

(2) 备选方案分年度供电可靠率。基于故障模式后果分析法计算各备选方案年度供电可靠率, 结果见表 4。规划水平年(第 4 年)方案一、方案二和方案三供电可靠率分别为 99.91%、99.93% 和 99.95%。

表 4 各方案分年度供电可靠率
Tab.4 Annual power supply reliability

年度/a	方案一/%	方案二/%	方案三/%	无项目/%
1	99.651 1	99.672 1	99.694 2	99.6
2	99.767 3	99.803 3	99.835 2	99.6
3	99.843 2	99.871 9	99.923 2	99.6
4~18	99.91	99.93	99.95	99.6

注: 第 3 年年末完成建设。

(3) 规划水平年可靠性指标。规划水平年各备选方案供电可靠性指标见表 5。其中, 方案一、方案二和方案三的平均停电时间分别比现状年减少 27.2 h/(户·a)、28.9 h/(户·a) 和 30.7 h/(户·a)。

(4) 线损率。经潮流计算, 现状、方案一、方案二和方案三 10 kV 配电网线损率约 8%、7%、6.3% 和 5.6%。

2.3 备选方案成本效益分析

2.3.1 基于 LCC 模型的方案总成本现值

表5 规划水平年供电可靠性

Tab.5 Power supply reliability in planning level year

可靠性指标	方案一	方案二	方案三
平均停电频率/ [次·(户·a) ⁻¹]	1.908	1.279	0.721
平均停电时间/ [h·(户·a) ⁻¹]	7.884	6.132	4.38
供电可靠率/%	99.91	99.93	99.95
缺供电量/ [(MW·h)·a ⁻¹]	409.8	318.8	227.7

基于 LCC 思路,采用式(28)计算各备选方案的总成本现值,见表 6 和图 5。

$$C_t' = T_t' + C_{yt}' + C_{lr}' + C_{et}' = T_t' + \delta_y T_{zt}' + \tau_{\max} P_{lr}' J' + \eta Q_{ENS_t}' J_{et}' \quad (28)$$

结合表 6 和图 5,在相同电价和差别电价两种情况下,方案一总综合成本现值最小,为 3.303 7 亿元,其次是方案二、方案三。由于所有方案中初始投资和运维成本之和占总成本的 70%~80%,导致两项费用偏小的方案一综合成本最小。

表 6 基于 LCC 模型的各备选方案总综合成本现值

Tab.6 Present value of composite cost for different schemes

类别	电价相同			差别电价		
	方案一	方案二	方案三	方案一	方案二	方案三
总初始投资/亿元	0.977 4	1.270 6	1.466 1	0.977 4	1.270 6	1.466 1
总运维成本/亿元	1.402 2	1.540 4	1.632 5	1.402 2	1.540 4	1.632 5
总网损成本/亿元	0.317 7	0.285 9	0.254 2	0.317 7	0.309 8	0.296 5
总停电损失/亿元	0.606 4	0.497 2	0.381 4	0.606 4	0.497 2	0.381 4
总综合成本/亿元	3.303 7	3.594 1	3.734 2	3.303 7	3.618 0	3.776 5

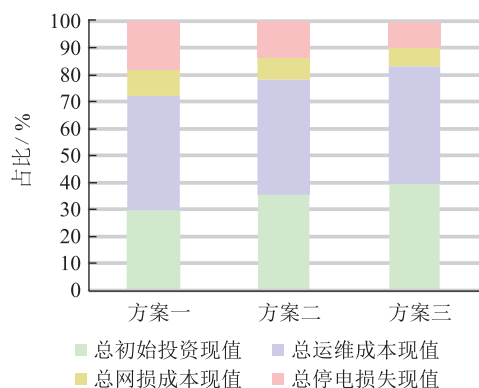


图 5 分项成本占比

Fig.5 Proportion of subentry cost

2.3.2 基于“有无对比法”的方案效益分析

基于“有无对比法”的备选方案经济性评估结果见表 7。相同电价时,电价为 0.12 元/(kW·h) 方案一成本优势凸显,其增量净现值最大,为 0.6132 亿元,其次是方案二和方案三。若考虑供电质量绩效,实施差别电价时,电价分别为 0.12、0.13、0.14 元/(kW·h),方案三各项指标最优,其增量净现值最大,为 1.148 9 亿元,其次为方案一和方案二。

表 7 备选方案经济评估指标

Tab.7 Economic evaluation indicators of different schemes

类别	电价相同			差别电价		
	方案一	方案二	方案三	方案一	方案二	方案三
增量净现值/亿元	0.613 2	0.322 8	0.182 7	0.613 2	0.803 2	1.148 9
增量净现值率/%	42.6	17.3	8.5	42.6	43.0	53.3
增量内部收益率/%	15.0	11.1	9.6	15.0	15.6	17.9
动态投资回收期/a	11.0	13.7	15.3	11.0	10.6	9.6
推荐方案	方案一			方案三		

3 结语

本文提出了计及可靠性评估的中压配电网规划方案的形成与比选方法。综合考虑可靠性与经济性,建立基于“有无对比法”给出投资项目的增量净效益,并结合现状网架供电能力与负荷增长需求的不同关系,详细分析多个场景下的净效益简化模型与常规 LCC 最小化比选方案的异同。根据动态经济指标比选备选方案。案例表明,本文方法有效,对配电网投资决策工作有一定参考意义。

参考文献:

- [1] DL/T 1563—2016 中压配电网可靠性评估导则[S]. DL/T 1563—2016 Reliability evaluation guidelines for distribution system of medium voltage[S].
- [2] 万凌云,王主丁,伏进.中压配电网可靠性评估技术规范研究[J].电网技术,2015,39(4):1096-1100. WAN Lingyun, WANG Zhuding, FU Jin. Research on technical standard for reliability assessment of medium voltage distribution networks[J]. Power System Technology, 2015, 39(4): 1096-1100.
- [3] 宋伟,万凌云,张明君.供电可靠性提升优化策略[J].重庆电力高等专科学校学报,2016,21(2):16-19. SONG Wei, WAN Lingyun, ZHANG Mingjun. Optimization strategy of power supply reliability improvement[J]. Journal of Chongqing Electric Power College, 2016, 21(2): 16-19.
- [4] 万凌云,张盈,刘真.配电网供电可靠性薄弱环节分析

- 与改进[J]. 山东电力技术, 2016, 43(6):39-42.
- WAN Lingyun, ZHANG Ying, LIU Zhen. Analysis and modification of the weak link of power supply reliability in distribution network[J]. Shandong Electric Power, 2016, 43(6):39-42.
- [5] 栗秋华, 刘晋军, 万凌云. 配电网供电可靠性薄弱环节分析[J]. 云南电力技术, 2016, 44(2):21-22.
- LI Qiuhua, LIU Jinjun, WAN Lingyun. Analysis of the weak link of power supply reliability in distribution network [J]. Yunnan Electric Power, 2016, 44(2):21-22.
- [6] 栗秋华, 万凌云, 徐江涛. 重庆北部新区配电网供电可靠性薄弱环节分析[J]. 四川电力技术, 2016, 39(3):35-38.
- LI Qiuhua, WAN Lingyun, XU Jiangtao. Analysis on the weak link of power supply reliability in the distribution network of the northern Chongqing New Area [J]. Sichuan Electric Power Technology, 2016, 39(3):35-38.
- [7] 余文辉, 王凯琳, 高松川. 供电可靠性关键指标分析方法及应用[J]. 广东电力, 2017, 30(7):121-125.
- YU Wenhui, WANG Kailin, WANG Songchuan. Analysis method for critical indicators of power supply reliability and its application[J]. Guangdong Electric Power, 2017, 30(7):121-125.
- [8] 万凌云, 王主丁, 庞祥瑞. 中压配电网可靠性评估参数收集及其规划应用[J]. 供用电, 2017, 34(6):38-43.
- WAN Lingyun, WANG Zhuding, PANG Xianglu. Parameter collection and planning application of medium voltage distribution system reliability assessment [J]. Distribution & Utilization, 2017, 34(6):38-43.
- [9] 王凯军, 孙飞飞, 兰 洲, 等. 全寿命周期成本管理在实际电力网络规划中的应用[J]. 电力建设, 2016, 37(4):43-49.
- WANG Kaijun, SUN Feifei, LAN Zhou, et al. Application of life cycle cost management in network planning of actual power system[J]. Electric Power Construction, 2016, 37(4):43-49.
- [10] NILSSON J, BERTLING L. Maintenance management of wind power systems using condition monitoring systems-life cycle cost analysis for two case studies[J]. Energy Conversion IEEE Transactions on, 2007, 22(1):223-229.
- [11] 杨金涛, 乐 健, 刘开培, 等. 基于LCC的配电网供电电压质量改善措施的优化[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(8):59-64.
- YANG Jintao, LE Jian, LIU Kaipei, et al. Improvement measure optimization based on LCC for voltage quality of distribution network [J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(8):59-64.
- [12] 王卫平. 基于全寿命周期成本-效益模型的增量配电网投资风险评估[J]. 广东电力, 2017, 30(9):45-51.
- WANG Weiping. Evaluation on investment risk of incremental power distribution network based on full life cycle cost and benefit model[J]. Guangdong Electric Power, 2017, 30(9):45-51.
- [13] 周伟民, 李 成, 丁 慧. 基于全寿命周期的35 kV电网规划方案SEC比选方法[J]. 电子技术与软件工程, 2017(2):243-244.
- ZHOU Weimin, LI Cheng, DING Hui. The 35 kV network planning scheme SEC comparison method based on LCC[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2017(2):243-244.
- [14] 刘晓燕. 基于全寿命周期管理的电力设备状态检修成本研究[J]. 电力工程技术, 2016, 35(5):74-76.
- LIU Xiaoyan. Research on state maintenance cost of power equipment based on life cycle management [J]. Electric Power Engineering Technology, 2016, 35(5):74-76.
- [15] 闫 敏, 李红霞, 张 媛. 基于全寿命周期的投资效益评估方法[J]. 电网技术, 2014, 38(s1):48-52.
- YAN Min, LI Hongxia, ZHUANG Yuan. Research of investment post-evaluation methods based on life cycle[J]. Power System Technology, 2014, 38(s1):48-52.
- [16] 杨 江, 宣伟锡, 姜 念. 基于全寿命周期的城市电力管沟规划建设模式研究[J]. 电力工程技术, 2016, 35(3):34-38.
- YANG Jiang, XUAN Weixi, JIANG Nian. Research on urban power pipe ditch planning and construction based on LCC [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(3):34-38.
- [17] 国家发改委. 省级电网输配电价定价办法发改价格([2016] 2711号)2016.
- National Development and Reform Commission. Pricing method of transmission and distribution for provincial power grid ([2016] 2711) 2016.
- [18] 王绵斌, 谭忠富, 张 蓉. 基于“增量法”下的电网投资风险评估模型[J]. 电工技术学报, 2006, 21(9):18-24.
- WANG Mianbin, TAN Zhongfu, ZHANG Rong, et al. Risk evaluation model of the power grid investment based on increment principle [J]. Transactions of China Electro Technical Society, 2006, 21(9):18-24.
- [19] 关 沛, 李智勇. 基于“有无对比法”的城市电网规划项目的经济性分析[J]. 陕西电力, 2009, 37(10):92-96.
- GUAN Pei, LI Zhiyong. Economic analysis of urban power network planning projects based on with & without comparison evaluation method[J]. Shaanxi Electric Power, 2009.

作者简介:



杨文丽

杨文丽(1990—),女,硕士研究生,从事配电网规划与投资评估决策研究工作(E-mail:wang6527@163.com)。

(下转第43页)

Reliability Research and Design Optimization of Modular Multilevel Converter

DUAN Jun , XIE Yeyuan , JIANG Tiangui , ZHU Minglian , OUYANG Youpeng
(NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: As the key equipment of UPFC, the reliability of the modular multilevel voltage sourced converter operation directly affects the safe and stable operation of the whole AC system. An k -out-of- n ; G system model of Sunan 500 kV UPFC-MMC and the basic analysis method for it are proposed in this paper. The relation between the reliability of valve and different redundancies is clearly described. The reliability value and MTTF of Sunan 500 kV UPFC-MMC are evaluated. And the optimal amount of redundant sub-module is analyzed basing on the indices obtained in forenamed study. The reliability design optimization of MMC valve could meet the engineering requirements Sunan 500 kV UPFC and would provide a reference for follow-up project.

Key words: UPFC; modular multilevel converter; reliability; reliability design optimization; k -out-of- n ; G system

(编辑 方 晶)

(上接第 19 页)

Comparison and Selection of MV Distribution Network Planning Schemes Considering Reliability Assessment

YANG Wenli

(School of Electrical and Electronic Engineering, Chongqing University of Technology, Chongqing 400050, China)

Abstract: From two aspects of the collection and calculation methods of reliability parameters and the selection of planning schemes, a formation and selection method of MV distribution network planning schemes considering reliability assessment is proposed in this paper, and the application of the guidance on the reliability evaluation of MV distribution network is furtherly enriched. This method includes parameter collection, reliability evaluation algorithm and formulation and comparison of schemes. Cooperating reliability and economy, the incremental net benefit model of investment is proposed based on "with&without comparison evaluation method", and the difference between the simplified model and the scheme comparison method based on life cycle cost minimization is analyzed under different power supply capacity and load demand. The investment cost & benefit is analyzed based on dynamic economic indicators, such as net present value and net present value rate, which can be used for multiple options. The case shows that the proposed method is feasible and effective.

Key words: MV distribution network; reliability assessment; with&without comparison evaluation method; life cycle cost; comparison and selection

(编辑 陈 娜)

(上接第 32 页)

Research on the Effect of 500 kV UPFC in Southern Suzhou on Distance Protection and the Countermeasures

QU Feng¹, DENG Kai¹, ZHANG Yun¹, QIAN Wei¹, ZHOU Qiang¹, KONG Xiangping²

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Maintenance Branch, Nanjing 210002, China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: It is conducive to improve the power supply capacity of power grid in the southern part of Suzhou based on unified power flow Controller (UPFC). However, the integration of UPFC has an impact on the reliability, selectivity and sensitivity of transmission line protection. In this paper, the fault equivalent model of 500 kV UPFC in Southern Suzhou is built combined with the control and protection logic after line fault, then the influence on distance protection action is analyzed, as well as the coping strategies are proposed.

Key words: UPFC in Southern Suzhou; distance protection; fault equivalent model; coping strategies

(编辑 方 晶)