



团 体 标 准

T/CES XXX-XXXX

35kV~750kV 变电站设计方案安全能效 经济综合评价导则

Guidelines for comprehensive evaluation of the security, energy efficiency, and
cost of 35-750kV substation design scheme

（征求意见稿）

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	2
5 变电站安全评价指标	2
5.1 一般规定	2
5.2 变电站环境保护能力	2
5.3 变电站设备和人员保护能力	2
5.4 变电站设备事故严重程度	2
5.5 变电站电网安全与设备故障切断能力	3
6 变电站能效评价指标	3
6.1 一般规定	3
6.2 变电站运行可靠性	3
6.3 变电站运维难易度	4
6.4 变电站等效利用率	4
6.5 变电站停电损失评价	4
7 变电站经济评价指标	4
7.1 一般规定	4
7.2 变电站全寿命周期成本	5
7.3 变电站资金占用率	5
7.4 变电站效益成本率	5
7.5 变电站投资回收期	5
7.6 环境-碳经济	6
8 变电站 SEC 综合评价方法	6
8.1 变电站 SEC 的综合评价步骤	6
8.2 变电站 SEC 指标的权重计算方法	6
8.3 变电站 SEC 方案的关联系数计算方法	7
附 录 A（规范性附录）35kV～750kV 变电站设计方案 SEC 定性指标的量化	8

附录 B（资料性附录）35kV～750kV 变电站设计方案 SEC 指标的组合权重计算、关联度计算及综合评价方法	14
附录 C（规范性附录）定量评价指标补充计算模型	17

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会电力能效技术工作组归口。

本文件起草单位：国网河南省电力公司经济技术研究院、国网河南省电力公司、三峡大学、北方工业大学、国网河北省电力公司经济技术研究院、山东大学、华北电力大学、西安交通大学、国网河南省电力公司南阳供电公司、湖北正源电力集团有限公司设计分公司。

本文件主要起草人：薛文杰、陈晨、王松、郭飞、张亮、盛腾飞、翟育新、董平先、樊庆玲、唐波、朱振东、刘祥晖、范骐骥、李建林、李雨佳、邢林、殷毅、周正、齐桓若、宋晓帆、宋文卓、汪赞、张金凤、郭夫然、郭放、姚晗、白萍萍、翟孟琪、王卿、韩慧娜、闫向阳、宋景博、赵冲、郭伟、魏荣生、牛凯、王顺然、刁旭、徐尉豪、张威振、黄茹、李铮、周建军、王雨晴、陆昊、田利、靳庆通、涂璐。

本文件为首次发布。

35kV~750kV 变电站设计方案安全能效经济综合评价导则

1 范围

本文件规定了 35kV~750kV 变电站设计方案安全能效经济（SEC）综合评价的总体要求，并给出了变电站设计方案 SEC 评价指标、指标计算方法和综合评价方法。

本文件适用于 35kV~750kV 户内、户外交流变电站新建、扩建和改建设计方案的安全、能效和经济综合评价，评价客体为变电站设计方案。评价工作适用于可行性研究阶段设计方案综合比选，辅助项目立项决策。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 3096—2008 声环境质量标准
GB 8702—2014 电磁环境控制限值
GB 12348—2008 工业企业厂界环境噪声排放标准
GB 26860—2011 电力安全工作规程 发电厂和变电站电气部分
GB 50187—2012 工业企业总平面设计规范
GB 50229—2019 火力发电厂和变电站防火设计规范
GB/T 311.1—2012 绝缘配合 第1部分：定义、原则和规则
GB/T 2900.71—2008 电工术语 电气装置
GB/T 14285—2023 继电保护和安全自动装置技术规程
GB/T 30155—2013 智能变电站技术导则
GB/T 47463—2026 电力资产全生命周期评价导则
GB/T 50293—2014 城市电力规划规范
DL/T 837—2020 输变电设施可靠性评价规程
DL/T 969—2005 变电站运行导则
DL/T 985—2022 配电变压器能效技术经济评价导则
DL/T 5056—2024 变电工程总布置设计规程
DL/T 5438—2019 输变电工程经济评价导则
DL/T 5729—2023 配电网规划设计技术导则
HJ 2.4—2021 环境影响评价技术导则 声环境
HJ 681—2013 交流输变电工程电磁环境监测方法
HJ 1113—2020 输变电建设项目环境保护技术要求

3 术语和定义

GB/T 2900.71—2008 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

安全能效经济（SEC）指标 indicators for security, energy efficiency, and cost (SEC)
综合考虑变电站安全性、能效性和经济性要求的变电站设计方案评价指标，简称 SEC 指标。

3.2

安全评价指标 indicators for security evaluation

变电站设计方案比选时，以保障电网、变电站、人身和设备安全为目标设置的评价指标。

3.3

能效评价指标 indicators for energy efficiency evaluation

变电站设计方案比选时，用于反映变电站及站内设备能源利用效率的评价指标。

3.4

经济评价指标 indicators for cost evaluation

在变电站设计方案比选时，用于反映变电站设计方案全寿命周期经济性的评价指标。

4 基本规定

4.1 变电站综合评价中，应严格遵循电压等级划分变电站属类的规定。

4.2 变电站 SEC 综合评价通常包括安全评价指标、经济评价指标、能效评价指标。

4.3 变电站综合评价中，评价工作需在遵从国家相关文件的基础之上开展。

4.4 各个评价指标及其子指标的权重由判断矩阵得到，且该矩阵由多位行业领域专家判别后进行确定。

4.5 变电站设备事故风险、变电站运行可靠性，及变电站等效利用率评价指标，宜根据变电站电压等级和在电网中的功能定位进行差异化修正。

4.6 全寿命周期评价宜按照 GB/T 47463—2026 和 DL/T 5438—2019 统一评价期、基准年、价格口径、折现率、残值和风险边界，并保证各备选方案采用一致假设。

4.7 本文件为推荐性导则，给出变电站设计方案安全、能效和经济综合评价的原则、流程与指标框架。使用者可根据项目特点和数据条件选用本文件给出的方法或其他经验证的评价方法。

5 变电站安全评价指标

5.1 一般规定

变电站安全评价宜包括环境保护能力、设备和人员保护能力、设备事故严重程度以及电网安全与设备故障切断能力。评价宜以设计阶段可获取的预防性指标为主，包括接入系统适应性、主接线与主变配置、设备绝缘与防护能力、防火能力、继电保护配置及故障切除能力等；历史事故数据宜作为同类设计方案的辅助校核信息。

5.2 变电站环境保护能力

变电站环境保护能力用于评价不同设计方案在电磁环境、噪声控制和生态环境保护方面对安全、运行适应性及环境约束条件的满足程度。变电站环境保护能力宜按照 GB 8702—2014、GB 12348—2008、HJ 1113—2020 和 HJ 2.4—2021 的技术要求，评价内容应包括电磁辐射控制、噪音排放、生态保护等方面。各个评价指标可以使用层次分析法得到占比权重，从而突显其重要性差异。具体的细则和实施方案，见附录 A.2，其中详细列出了各项标准的具体技术要求。

5.3 变电站设备和人员保护能力

变电站设计方案设备和人员保护能力评价应遵循 GB/T 311.1—2012、GB 50229—2019 和 GB 26860—2011 的技术要求。具体细则和评估方法，见附录 A.3，其中对每项指标的具体标准、评估步骤及实施细则进行了详细说明。

5.4 变电站设备事故严重程度

变电站设计方案运行过程中设备事故风险仅统计变电站变压器、配电装置的事故情况。

设备事故风险指标按照下式计算：

$$f_s = f_{s1} \times f_{s2} \times f_{s3} \quad (5.4-1)$$

式中：

f_{s1} ——特大事故因子；

f_{S2} ——重大事故因子；

f_{S3} ——一般事故因子。

事故因子参数及电压等级、功能定位修正方法见附录 C.1。

5.5 变电站电网安全与设备故障切断能力

电网安全评价宜结合系统专业研究结论，重点评价接入方案、主接线和主变配置的 $N-1$ 适应性，短路电流水平，电压与无功支持能力，安全稳定控制配置，以及继电保护与系统故障切除要求的协调性。缺少独立系统计算条件时，可采用经审查的接入系统报告或同等效力的系统专业结论。

设备故障切断能力可采用定性与定量相结合的方式评价，两类结果可各按 50% 计入，也可由使用者说明依据后另行确定比例。定性评价宜参照 GB/T 14285—2023，具体细则见附录 A.4；定量评价可采用综合切断能力得分，正文保留其主公式，响应时间、灵敏度及权重的细化计算见附录 C.2。

$$C_{\text{cutoff}} = w_1 \cdot \text{Normalized}_T + w_2 \cdot \text{Normalized}_S \tag{5.5-1}$$

式中：

Normalized_T ——响应时间得分

Normalized_S ——灵敏度得分

6 变电站能效评价指标

6.1 一般规定

变电站能效评价通常包含变电站运行可靠性、变电站运维难易度、变电站等效利用率和变电站停电损失评价等指标。

6.2 变电站运行可靠性

变电站运行可靠性指标按照下式进行计算：

设计阶段的可靠性参数宜采用接入系统研究成果、设备可靠性统计和同类变电站数据进行估算，并说明数据年度、样本范围及修正依据。

$$f_E = f_{E1} \times f_{E2} \times f_{E3} \tag{6.2-1}$$

式中：

f_{E1} ——供电可靠性因子；

f_{E2} ——电压合格率因子；

f_{E3} ——频率合格率因子。

供电可靠性、电压合格率和频率合格率因子的细化计算见附录 C.3。

变电站运行可靠性指标利用指数函数对三类可靠因素进行调整，当指标完成值低于考核值时， f_E 值将大于 1，说明运行可靠性不满足总体要求；当指标完成值高于考核值时， f_E 值将小于 1，说明运行可靠性满足总体要求。

三类合格率考核值（ E_{1S} 、 E_{2S} 、 E_{3S} ）根据各供电变电站要求及电压等级按年制定，根据国家能源局电力可靠性管理中心历年发布的《全国电力可靠性年度报告》及 DL/T 837—2020《输变电设施可靠性评价规程》规定，可得各电压等级供电可靠性考核值 E_{1S} 见表 1。

表 1 各电压等级供电可靠性考核基准值

电压等级	变电站类型	E1S 合格线	E1S 优秀线	年允许停运时间(h)	FOR 限值(次/百台年)
35kV	终端	99.50%	99.80%	43.8	0.80
110kV	终端	99.60%	99.85%	35.0	0.60
220kV	枢纽	99.80%	99.95%	17.5	0.40
330kV	枢纽	99.85%	99.96%	13.1	0.30
500kV	枢纽	99.90%	99.97%	8.76	0.20
750kV	枢纽	99.92%	99.98%	7.0	0.10

电压合格率考核值 E_{2S} 和频率合格率考核值 E_{3S} 同样按电压等级差异化设定，35kV 至 110kV 终端站 E_{2S} 取 99.0%，220kV 及以上枢纽站 E_{2S} 取 99.5%； E_{3S} 各电压等级统一取 99.95%。

K_{E1} 、 K_{E2} 、 K_{E3} 宜结合历史同类站数据进行修正；附录 C.3 列出了供电可靠性、电压合格率和频率合格率因子的相关计算。

6.3 变电站运维难易度

变电站设计方案的运维检修可参照 GB/T 30155—2013、GB 50187—2012、DL/T 5056—2024、GB 26860—2011 和 DL/T 969—2005 的技术要求，具体评价细则见附录 A.5。

6.4 变电站等效利用率

年度变电站等效利用率按照下式进行计算：

$$E_4 = \frac{Q_{max} \times T_{max}}{S_N \times 8760} \tag{6.4-1}$$

式中：

Q_{max} ——变电站最大负荷（MVA）；

T_{max} ——变电站年用电最大负荷利用小时（h）；

S_N ——变电站主变压器设备额定容量（MVA）；

8760——年小时数（h）。

根据 GB/T 50293—2014《城市电力规划规范》、DL/T 5729—2023《配电网规划设计技术导则》及国家能源局《全国电力可靠性年度报告》的相关规定，可得到不同电压等级的负载率基准区间与容载比范围见表 2。

表 2 各电压等级合理负载率基准区间与容载比

电压等级	变电站类型	β_{min} (下限)	β_{max} (上限)	容载比范围
35kV	终端	70%	85%	1.8~2.2
110kV	终端	65%	80%	1.7~2.0
220kV	枢纽	60%	75%	1.6~1.9
330kV	枢纽	55%	70%	1.6~1.9
500kV	枢纽	55%	70%	1.5~1.8
750kV	枢纽	50%	65%	1.8~2.2

其中，750kV 特高压变电站单台主变容量极大， $N-1$ 后剩余主变负载率跳升幅度远大于中低压变电站，因此最小利用率下限降至 50%，容载比范围提高至 1.8~2.2。

年度等效利用率用于反映变电站主变容量的实际利用水平，可作为识别设备容量冗余、低利用率及投资闲置程度的辅助指标。

6.5 变电站停电损失评价

变电站停电损失评价按照下式进行计算：

$$IEAR = \frac{Q_a \times c(r_s)}{r_s} \tag{6.5-1}$$

式中：

r_s ——变电站的平均故障持续时间（h）；

Q_a ——变电站年平均负荷（kWh）；

$c(r_s)$ ——变电站在故障持续时间下的单位停电损失（元/kWh）。

7 变电站经济评价指标

7.1 一般规定

7.1.1 变电站经济评价宜包括全寿命周期成本、资金占用率、效益成本率和投资回收期；具备碳排放核算条件时，宜将碳成本纳入全寿命周期成本。

7.1.2 全寿命周期成本的计算过程中忽略定性指标的影响，如设备的型号、所出厂的厂家、运行维护策略和操作的强度等因素。

7.1.3 变电站主设备经济成本宜按 DL/T 985—2022 计算；工程经济评价宜符合 DL/T 5438—2019 的有关规定。

7.1.4 电力资产全寿命周期评价宜按 GB/T 47463—2026 确定评价边界，并避免故障损失和碳成本在不同指标中重复计取。

7.2 变电站全寿命周期成本

变电站全寿命周期成本包括变电站初始投资成本、运行检修故障成本和退役成本。

7.2.1 变电站设计方案初始投资成本主要通过成本数据收集得来，指变电站投入运行前全部过程中可能产生的成本，包括工程前期、工程设计、设备采购、土建和电气安装施工等过程中产生的全部费用总和，包括设备购置费、建筑工程费、安装工程费和其他费用。按照下式计算：

$$IC = IC_1 + IC_2 + \dots + IC_n + \dots \quad (7.2-1)$$

式中：

IC ——初始投资估算值；

IC_n ——表示该变电站第 n 次进行的基建、增容性改造或设备升级改造等产生的资本性投资，包括前期设计费、设备购置费、安装调试费和其他费用。

计入时间价值，将变电站主备购置费数学模型归纳如下：

$$IC_n = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^Z \frac{IC_{ij}}{(1+r)^{T_1-T_2}} \quad (7.2-2)$$

式中：

IC_{ij} ——单台设备一次投入成本，包括购买、安装、调试等费用；

r ——通货膨胀率；

T_1 ——设备的购置费用发生年份；

T_2 ——变电站设计方案指标评价年份；

Z ——为该设备设计寿命周期内的更换次数；

N ——为单位间隔所包含的设备数。

7.2.2 变电站设计方案的运行检修故障成本包括运行成本、检修成本和故障损失费。运行成本可包括设备能耗费、巡视费、维修保养费和环境保护费用；检修成本可包括材料费、服务费和人工费；故障损失费宜按非计划停电造成的供电损失估算。

7.2.3 变电站设计方案退役成本可在缺少详细资料时按初始投资成本的 5% 估算；具备拆除、处置、残值和环境治理数据时，宜采用实际估算值。

7.3 变电站资金占用率

资金占用率按照下式进行计算：

$$\rho = \frac{P_{\text{per}}}{P_m} \times 100\% \quad (7.3-1)$$

式中：

P_m ——变电站按照年度计划下达的资金，需要变电站财务部门提供（万元）；

P_{per} ——变电站设计方案每千伏安投资（万元）。

7.4 变电站效益成本率

效益成本率按照下式进行计算：

$$P_{ri} = \frac{R_t}{LCC_t} \quad (7.4-1)$$

式中：

R_t ——第 t 年的收益现值总额（万元）；

LCC_t ——第 t 年的全寿命周期成本现值总额（万元）。

7.5 变电站投资回收期

投资回收期按照下式进行计算：

$$P_0 = \sum_{t=1}^{T_0} \frac{R_t}{(1+R)^t} \quad (7.5-1)$$

式中：

T_0 ——变电站投资回收期；
 P_0 ——项目的初始投资（万元）；
 R_t ——每年的净收益，计算时需要根据变电站财务部门提供的数据进行估算（万元）；
 R ——社会折现率；
 t ——变电站投运年限。

7.6 环境-碳经济

环境-碳经济按照如下的公式进行计算：

$$E_{LC} = E_A + E_T + E_C + \sum_{t=1}^T [E_{O,elect,t} + E_{O,SF6,t}] + E_M + E_D \quad (7.6-1)$$

式中：

E_{LC} ——全寿命周期总碳排放量；
 E_A ——设备制造阶段排放；
 E_T ——设备与材料运输阶段排放；
 E_C ——施工安装阶段排放；
 T ——项目寿命年限（年）；
 $E_{O,elect,t}$ ——第 t 年用电相关排放；
 $E_{O,SF6,t}$ ——第 t 年 SF6 气体的等介质的排放折算；
 E_M ——维护与部件更换阶段排放；
 E_D ——退役/回收阶段净排放。

$$PV(C_{carbon}) = \sum_{t=0}^T \frac{P_c(t)E_t}{(1+i)^t} \quad (7.6-2)$$

式中：

$PV(C_{carbon})$ ——碳成本的现值（元）；
 $P_c(t)$ ——第 t 年适用的碳价或边际减排成本；
 E_t ——第 t 年计入货币化的排放量（kgCO₂e）；通常取运行期排放，若制造等前置排放计入基期，则并入 E_0 ；
 i ——贴现率。

$$LCC = LCC + PV(C_{carbon}) \quad (7.6-3)$$

式中：

LCC ——原有全寿命周期成本（不含碳项）（元）；
 LCC' ——含碳成本后的全寿命周期成本（元）。

8 变电站 SEC 综合评价方法

8.1 变电站 SEC 的综合评价步骤

本文件给出一种基于层次分析法、熵权法和灰色关联法的可选综合评价流程。采用该流程时，宜按以下步骤进行：

- 明确 SEC 综合评价的适用范围、比较边界及全寿命周期的基准计算年限；
- 全面收集各备选方案的原始数据，包括土建构架配置、设备能效参数、造价清单及运维预估台账；
- 计算 SEC 评价指标，将其划分为定性、定量指标，并分别进行指标权重计算（权重计算步骤见 8.2）；
- 采用灰色关联法，计算各设计方案下 SEC 指标的关联系数矩阵（计算步骤见 8.3）；
- 根据定性定量指标的原始排列顺序，将划分后计算得到的指标权重依次排序重组，整合成维度与指标数一致的权重矩阵，并将其与关联系数矩阵相乘，得到各设计方案的综合评分，从而依据综合评分结果推荐最优方案（综合评分的计算公式参见附录 B.4）。

8.2 变电站 SEC 指标的权重计算方法

变电站的 SEC 指标覆盖广泛,既涉及可以直接定量量化计算的指标,也涉及难以直接定量量化的指标。这两类指标的数据特征存在差异,权重计算方法也存在差异,因此需要将指标分为定性指标与定量指标分别计算。

8.2.1 定性指标

本文件定性评价指标主要包括环境保护能力、设备和人员保护能力、设备故障切断能力中的主观评价部分以及变电站运维难易度。各类定性指标的具体评价内容和等级判据见附录 A。对于本文件中难以直接量化的安全与能效定性指标,直接采用层次分析法对其进行标准化量化处理。其处理过程如下:

- (1) 评审专家应严格对照评分标准,对各定性指标进行评价打分,对应的评价等级分别为“优、良、中、及格、差”,并赋予标准化分值集 $\{0.9, 0.7, 0.5, 0.3, 0.1\}$ 。(定性指标的评分标准见附录 A)
- (2) 统计各项指标打分结果,组成判断矩阵 A ,并利用判断矩阵进行打分结果的一致性检验;
- (3) 计算判断矩阵的特征根及特征向量,并利用特征向量计算得到定性指标的权重向量。

8.2.2 定量指标

本文件定量评价指标主要包括设备事故严重程度、设备故障切断能力中的客观评价部分、变电站运行可靠性、变电站等效利用率、变电站停电损失评价、全寿命周期成本、资金占用率、效益成本率和投资回收期等。各定量指标应按照本文件相应条款规定的计算方法获得。对于本文件中可以直接量化的定量指标,考虑充分挖掘定量数据本身的客观特征,采用主客观组合赋权法实现变电站 SEC 指标的权重分配,以确保评价结果的科学性与客观性。其具体计算步骤如下:

- a) 主观权重计算:采用层次分析法构建 SEC 指标目标层、准则层和方案层判断矩阵。由专家组进行标度打分,计算各层级指标的主观权重向量,结果应通过一致性检验。主观权重向量可表示为:

$$W_a = (W_{a1}, W_{a2}, \dots, W_{aN}) \quad (8.2-1)$$

式中:

W_a ——主观权重向量;

$W_{a1}, W_{a2}, \dots, W_{aN}$ ——第 1 个至第 N 个指标的专家主观赋权结果,所有权重之和为 1。

- b) 客观权重计算:收集各备选变电站设计方案的基础运行与设计数据,形成原始数据矩阵。然后对原始数据进行无量纲化处理后,采用熵权法计算各评价指标的信息熵,进而求得客观权重向量。

$$W_e = (W_{e1}, W_{e2}, \dots, W_{eN}) \quad (8.2-2)$$

式中:

W_e ——客观权重向量;

$W_{e1}, W_{e2}, \dots, W_{eN}$ ——各指标的信息熵权,权值越高表明该指标数据差异越大、提供的信息越多。

- c) 组合权重确定:应基于最小鉴别信息原理,将主观权重与客观权重进行非线性组合,确立最终的综合权重向量:

$$W = [W_1, W_2, \dots, W_N] \quad (8.2-3)$$

式中:

W ——经过组合计算后,最终用于评价的综合权重向量;

W_N ——第 N 个评价指标的最终权重。

定性、定量指标权重的数学模型和推导参见附录 B.1、B.2;灰色关联系数及综合评价计算参见附录 B.3、B.4。正文仅保留方法选择和关键计算关系。

8.3 变电站 SEC 方案的关联系数计算方法

在完成定量指标规范化和定性指标量化后,采用灰色关联分析法对各变电站设计方案进行指标分析与评价排序。其基本原理是通过衡量各方案与最优方案在指标上的接近程度来评判优劣。具体步骤如下:

- a) 在所有备选方案的评价数列中,提取各指标的最优数值,构建最优参考数列。
- b) 分别计算各备选方案比较数列与最优参考数列在对应指标上的灰色关联系数(关联系数计算参见附录 B.3)。

附录 A
(规范性)
35kV~750kV 变电站设计方案 SEC 定性指标的量化

A.1 定性指标评价方法

采用模糊数学中隶属度的表示方法进行专家打分，按照定性指标打分内容的重要程度对应 0.9、0.7、0.5、0.3、0.1。对每位专家的打分结果采取几何平均值的方法进行分值变换，所用几何平均法按以下公式计算：

$$A = \sqrt[n]{a_1 a_2 a_3 \cdots a_n}$$
 (A.1)

式中：
 a_n 为不同专家赋予定性指标的分值。

A.2 环境保护能力

环境保护能力打分细则见表 A.1。

表 A.1 环境保护打分细则

打分内容	重要程度	分值	参考依据
电磁场(EMF)管理	工频电场、工频磁场设计预测结果均满足 GB 8702 规定的控制要求；全面识别评价范围内的电磁环境敏感目标，变电工程布置及进出线设计充分考虑对周围电磁环境的影响；针对工频电场、工频磁场影响采取的控制和防护措施完整。	0.9	GB 8702—2014 《电磁环境控制限值》 HJ 1113 《输变电建设项目环境保护技术要求》 HJ 681 《交流输变电工程电磁环境监测方法》
	工频电场、工频磁场设计预测结果均满足 GB 8702 规定的控制要求；识别主要电磁环境敏感目标，变电工程布置及进出线设计考虑对周围电磁环境的影响；针对工频电场、工频磁场影响采取的控制和防护措施较为完整。	0.7	
	工频电场、工频磁场设计预测结果均满足 GB 8702 规定的控制要求；基本识别电磁环境敏感目标，变电工程布置及进出线设计基本考虑对周围电磁环境的影响；针对工频电场、工频磁场影响采取了基本的控制和防护措施，但控制和防护措施需要完善。	0.5	
	工频电场、工频磁场在现有设计条件下尚不能全部满足 GB 8702 规定的控制要求，经补充控制或防护措施后预计能够满足相关要求；对电磁环境敏感目标的识别不充分，变电工程布置及进出线设计对周围电磁环境影响的考虑不充分；针对工频电场、工频磁场影响采取的控制和防护措施不完善。	0.3	
	工频电场或工频磁场设计预测结果不能满足 GB 8702 规定的控制要求；未有效识别电磁环境敏感目标，变电工程布置及进出线设计未充分考虑对周围电磁环境的影响；未针对工频电场、工频磁场影响采取控制和防护措施。	0.1	
声环境保护	厂界环境噪声设计预测结果满足 GB 12348 规定的相应限值，周围声环境保护目标噪声设计预测结果满足 GB 3096 规定的相应限值；全面识别周围声环境保护目标，变电工程总体布置及主要声源设备布置充分考虑对周围声环境的影响；低噪声设备选型及隔声、吸声、消声、防振、减振等噪声控制措施完整。	0.9	GB 12348—2008 《工业企业厂界环境噪声排放标准》 GB 3096—2008 《声环境质量标准》 HJ 2.4—2021 《环境影响评价技术导则 声环境》
	厂界环境噪声设计预测结果满足 GB 12348 规定的相应限值，周围声环境保护目标噪声设计预测结果满足 GB 3096 规定的相应限值；识别主要声环境保护目标，变电工程总体布置及主要声源设备布置考虑对周围声环境的影响；低噪声设备选型及相应噪声控制措施较为完整。	0.7	
	厂界环境噪声设计预测结果满足 GB 12348 规定的相应限值，周围声环境保护目标噪声设计预测结果满足 GB 3096 规定的相应限值；基本识别声环境保护目标，变电工程总体布置及主要声源设备布置基本考虑对周围声环境的影响；采取了基本的噪声控制措施，但噪声控制措施需要完善。	0.5	
	厂界环境噪声或周围声环境保护目标噪声设计预测结果在现有设计条件下尚不能全部满足 GB 12348 或 GB 3096 规定的相应限值，经补充降噪措施或调整设备布置后预计能够满足要求；对声环境保护目标的识别及布置考虑不充分；现有噪声控制措施不完整。	0.3	

	厂界环境噪声或周围声环境保护目标噪声设计预测结果不能满足 GB 12348 或 GB 3096 规定的相应限值；未有效识别声环境保护目标，变电工程总体布置及主要声源设备布置未充分考虑对周围声环境的影响；未提出有效的噪声控制措施。	0.1	
生态环境保护	变电工程站址选择充分考虑生态保护红线、自然保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区，并采取有效避让措施；设计方案充分考虑减少土地占用、植被砍伐及土石方开挖；按照避让、减缓、恢复的顺序提出完整的生态影响防护与恢复措施。	0.9	HJ 1113—2020 《输变电建设项目环境保护技术要求》
	变电工程站址选择考虑主要环境敏感区，并采取相应避让措施；设计方案考虑减少土地占用、植被砍伐及土石方开挖；按照避让、减缓、恢复的顺序提出较为完整的生态影响防护与恢复措施。	0.7	
	变电工程站址选择基本考虑环境敏感区，并采取基本的避让措施；设计方案基本考虑减少土地占用、植被砍伐及土石方开挖；提出基本的生态影响防护与恢复措施，但生态影响防护与恢复措施需要完善。	0.5	
	变电工程站址选择对环境敏感区的考虑及避让不充分；设计方案对减少土地占用、植被砍伐及土石方开挖的考虑不充分；现有生态影响防护与恢复措施不完整。	0.3	
	变电工程站址选择未充分考虑环境敏感区，且未采取有效避让措施；设计方案未充分考虑减少土地占用、植被砍伐及土石方开挖；未提出有效的生态影响防护与恢复措施。	0.1	

A.3 设备和人员保护能力

设备和人员保护能力打分细则见表 A.2。

表 A.2 设备和人员保护能力打分细则

打分内容	重要程度	分值	参考依据
设备的绝缘能力	设备最高电压、额定雷电冲击耐受电压与额定短时工频耐受电压水平远高于 GB/T 311.1—2012 要求值；在各种运行条件下（如极端天气、过电压事件等），设备都能提供高度可靠的绝缘保护。	0.9	GB/T 311.1—2012 《绝缘配合 第1部分：定义、原则和规则》
	设备最高电压、额定雷电冲击耐受电压与额定短时工频耐受电压水平高于文件要求值；在大多数运行条件下，设备能够提供可靠的绝缘保护，但安全裕度低于优异水平。	0.7	
	设备最高电压、额定雷电冲击耐受电压与额定短时工频耐受电压符合相关的最低标准；在正常运行条件下，设备能提供基本的绝缘保护，但在极端情况下的可靠性可能有限。	0.5	
	设备最高电压、额定雷电冲击耐受电压与额定短时工频耐受电压略低于相关的标准；在某些运行条件下，设备可能无法提供充分的绝缘保护，存在一定故障风险。	0.3	
	设备最高电压、额定雷电冲击耐受电压与额定短时工频耐受电压明显低于相关的标准，存在较高的绝缘失效风险，可能在正常运行中即发生故障。	0.1	
变电站的防火措施	变电站的火灾保护措施全面且先进，超出文件要求，确保在任何情况下都能有效防控火灾。建筑物火灾危险性分类、耐火等级、防火间距及消防道路完全符合 GB 50229—2019 的最高要求；安全疏散通道数量充足；宽度符合最高标准；疏散指示	0.9	GB 50229—2019 《火力发电厂和变电站防火设计规范》

	标志清晰；应急照明覆盖所有通道。		
	火灾保护措施全面且有效，基本满足 GB 50229—2019 的要求，但某些方面可能存在轻微不足。建筑物火灾危险性分类正确，耐火等级符合要求，但可能存在轻微偏差；防火间距基本符合规范；消防道路布局合理，但部分道路宽度略小于标准或有轻微障碍；安全疏散通道数量和宽度基本符合规范，但部分疏散指示标志可能不清晰。	0.7	
	火灾保护措施基本到位，满足 GB 50229—2019 的要求，但存在明显不足，某些场景下可能无法有效防控火灾。建筑物火灾危险性分类基本正确，但耐火等级存在明显不足；防火间距部分不符合规范；消防道路存在局部阻塞或宽度不足；安全疏散通道数量不足，宽度或指示标志存在缺陷；建筑构造部分未符合防火要求，部分设备有防火措施，但缺乏自动灭火系统，仅有手动灭火设备。	0.5	
	火灾保护措施不全面，存在较多不足，无法有效应对所有火灾场景。建筑物火灾危险性分类错误或未分类；耐火等级低于 GB 50229—2019 要求；防火间距严重不足；消防道路未规划或部分道路无法通行；安全疏散通道严重不足；指示标志缺失或不清晰；建筑构造未考虑防火要求，设备无防火隔离，仅有基本的手动灭火设备。	0.3	
	几乎无火灾保护措施，严重威胁变电站安全。建筑物完全未进行火灾危险性分类；耐火等级极低，无防火间距规划；消防道路完全缺失或无法使用；无安全疏散通道设计，建筑构造完全不符合防火要求；设备完全未采取任何防火措施，无灭火系统或防油池。	0.1	
人员保护措施	带电设备及作业区域的安全距离、隔离和防护措施设置完善；安全标志、防护设施以及防误入、防坠落等人员安全设施配置完整；设备巡视、操作和检修空间布置合理，安全通道及应急疏散条件完善。	0.9	GB 26860—2011 《电力安全工作规程》
	带电设备及作业区域的安全距离、隔离和防护措施满足安全要求；安全标志及人员安全防护设施配置较为完整；设备巡视、操作和检修空间以及安全通道、应急疏散条件较为完善。	0.7	
	带电设备及作业区域的安全距离、隔离和防护措施满足基本安全要求；配置必要的安全标志及人员安全防护设施；设备巡视、操作和检修空间以及安全通道、应急疏散条件满足基本要求，但部分内容仍可进一步优化。	0.5	
	人员安全防护设计基本具备，但部分安全距离、防护设施或安全标志尚需进一步校核；设备巡视、操作和检修空间以及安全通道或应急疏散条件存在需要完善的内容。	0.3	

	带电设备及作业区域存在安全距离、隔离或防护设置不满足安全要求的情况；缺少必要的安全标志或人员安全防护设施；巡视、操作、检修空间或安全通道存在明显安全隐患。	0.1	
--	---	-----	--

A.4 设备故障切断能力

设备故障切断能力打分细则见表 A.3。

表 A.3 设备故障切断能力打分细则

打分内容	重要程度	分值	参考依据
变压器保护能力	变压器按照电压等级要求配置主保护、后备保护、异常运行保护、辅助保护；配置可作用于信号或动作于跳闸的非电量保护；装设双重保护。	0.9	GB/T 14285—2023 《继电保护和安全自动装置技术规程》
	变压器按照电压等级要求配置主保护、后备保护、异常运行保护、辅助保护；配置可作用于信号或动作于跳闸的非电量保护。	0.7	
	变压器按照电压等级要求配置主保护、后备保护、异常运行保护、辅助保护；未配置可作用于信号或动作于跳闸的非电量保护。	0.5	
	变压器未按照电压等级要求配置主保护、后备保护、异常运行保护、辅助保护；未配置可作用于信号或动作于跳闸的非电量保护。	0.3	
	变压器未配置主保护、后备保护、异常运行保护、辅助保护；未配置可用于信号或动作于跳闸的非电量保护。	0.1	
母线保护能力	母线保护能力完全符合 GB/T 14285—2023 的要求。按电压等级配置合适的母线差动保护；在所有故障条件下正确动作，不误动、不拒动；能够适应母线的各种运行方式，处理复杂故障场景。	0.9	
	母线保护大部分符合 GB/T 14285—2023 的要求，保护能力较强，但存在轻微不足。配置了母线差动保护，但可能在某些电压等级下未达到双重化要求；在大多数故障条件下正确动作，偶尔可能有误动或拒动；能够适应大部分运行方式，但对复杂场景可能有局限。	0.7	
	母线保护基本符合 GB/T 14285—2023 的要求，但存在明显不足。未配置母线差动保护，或仅在部分区域配置；在常见故障条件下能正确动作，但对复杂故障可能拒动或者误动；适应性有限，仅能处理标准运行方式。	0.5	

	母线保护显著偏离 GB/T 14285—2023 的要求，保护能力有限。未配置母线差动保护，仅依赖过流保护等一般保护方式；在故障条件下经常拒动或误动，保护效果差；无法适应母线的不同运行方式，适应性差。	0.3	
	母线保护几乎不存在或完全不符合 GB/T 14285—2023 的要求。未安装任何专用的母线保护系统；在故障条件下完全失效，无法保护母线；无法适应任何运行方式，功能缺失。	0.1	
线路保护能力	保护装置在可靠性、选择性、灵敏性、速动性和主保护与后备保护配合等关键指标上均达到最高标准，保护装置性能卓越，能够高效、可靠地应对各种故障场景。	0.9	
	保护装置在可靠性、选择性、灵敏性、速动性和主保护与后备保护配合等关键指标中，大部分指标表现优秀，故障处理能力较强，但某些方面略有不足。	0.7	
	保护装置在可靠性、选择性、灵敏性、速动性等基本指标上表现良好，具备一定的故障处理能力，但存在明显不足。	0.5	
	保护装置仅在最低限度上满足要求，故障处理能力有限，存在较多不足。	0.3	
	保护装置性能严重不足，系统安全性低，需更换或大幅改进。	0.1	

A.5 变电站运维难易度

变电站运维难易度打分细则见表 A.4。

表 A.4 变电站运维难易度打分细则

打分内容	重要程度	分值	参考依据
设备智能化程度	设备完全符合智能变电站的最高标准，具备先进的自动化、信息化和智能化特性，能够实现高度的自主运行和智能决策。	0.9	GB/T 30155—2013 《智能变电站技术导则》
	设备在自动化、信息化和智能化方面表现优秀，但可能在某些高级功能上略有不足。	0.7	
	设备具备基本的自动化和信息化功能，能够满足智能变电站的基本要求，但智能化水平有限。	0.5	
	设备仅具备最低限度的自动化功能，信息化和智能化水平较低。	0.3	
	设备不符合智能变电站的基本要求，智能化程度极低或无。	0.1	
变电站站址	变电站布置兼顾规划、建设、运行、施工等方面的要求，与城乡或工矿变电站规划相协调，便于架空与电缆线路引入引出，考虑防洪、防震、防有害气体。	0.9	GB 50187—2012 《工业企业总平面设计规范》 DL/T 5056—2024 《变电工程总布置设
	变电站布置较好满足规划、建设、运行和施	0.7	

	工要求，与相关规划基本协调，线路引入引出较为便利，防洪、防震等措施较完善。		计规程》
	变电站布置基本满足规划、建设、运行和施工要求，线路引入引出条件基本具备，防洪、防震等措施基本满足要求。	0.5	
	变电站布置兼顾规划、建设、运行、施工等部分方面的要求，与城乡或工矿变电站规划不冲突，便于架空与电缆线路引入引出，考虑防洪、防震、防有害气体。	0.3	
	变电站布置未考虑规划、建设、运行、施工等方面的要求，未与城乡或工矿变电站规划相协调，不便于架空与电缆线路引入引出，未考虑防洪、防震、防有害气体。	0.1	
运维管理制度、应急响应能力	变电站在运维管理制度、应急响应能力上完全符合 GB 26860—2011 和 DL/T 969—2005 的要求。安全规程严格执行；维护计划全面且按时完成；所有人员均经过充分培训；文档记录完整无缺；过去一年内无任何安全事故发生。	0.9	GB 26860—2011 《电力安全工作规程 发电厂和变电站电气 部分》 DL/T 969—2005 《变电站运行导则》
	变电站在运维管理制度、应急响应能力上较符合 GB 26860—2011 和 DL/T 969—2005 的要求。安全规程严格执行；维护计划全面且按时完成；所有人员均经过充分培训；文档记录完整无缺；过去一年内无任何安全事故发生。	0.7	
	变电站在运维管理制度、应急响应能力上基本符合 GB 26860—2011 和 DL/T 969—2005 的要求，存在少量偏差但未影响整体安全。维护计划大部分执行；少数设备存在小故障；大部分人员培训合格，少数需补训；文档记录较为完整，少量缺失；过去一年内发生过少量轻微安全事件，但未造成严重后果。	0.5	
	变电站在运维管理制度、应急响应能力上存在明显偏差。安全规程执行不力；维护计划执行不充分，多个设备存在故障；半数以上人员未接受培训或资质不足；文档记录不完整，缺失严重；过去一年内发生多起安全事件，包括一些较严重的事件。	0.3	
	完全不符合 GB 26860—2011 和 DL/T 969—2005 的要求，安全规程完全未执行，缺乏任何维护计划。设备严重损坏；所有人员均未培训，无任何资质；无任何文档记录；安全事故频发且严重，整体管理处于瘫痪状态。	0.1	

附 录 B
(资料性)

35kV~750kV 变电站设计方案 SEC 指标的组合权重计算、关联度计算及综合评价方法

B.1 定性指标的一致性检验及权重计算

专家打分是定性指标量化的基础。为保证专家打分不存在内部逻辑矛盾，需开展一致性检验。首先需要将各指标的打分结果整合，构建具备层次结构的判断矩阵，用以描述每一层级节点之间的相对重要性或优越性，再采用判断矩阵标度，对节点间的优劣进行量化排序，见表 B.1。

表 B.1 判断矩阵的标度含义

标度	含义
1	两个要素相比，重要性相同
3	两要素相比，前者比后者稍微重要或有优势
5	两要素相比，前者比后者比较重要或有优势
7	两要素相比，前者比后者十分重要或有优势
9	两要素相比，前者比后者绝对重要或有优势
2, 4, 6, 8	为上述标度之间的中间值
倒数	相应两个指标重要性对比交换次序

B.1 中介绍的是赋值给前者的标度定义，若要描述后者与前者比较，则用倒数为标度。构建判断矩阵时规定斜对角线上的标度恒为 1，且矩阵的斜对角线对称元素互为倒数。

根据标度定义构建准则层 B 对于目标层 A 的判断矩阵 A，示例见表 B.2。

表 B.2 判断矩阵构建示例

A	B ₁	B ₂	B ₃
B ₁	1	n ₂₁	n ₃₁
B ₂	1/n ₂₁	1	n ₃₂
B ₃	1/n ₃₁	1/n ₃₂	1

表中 n_{ij} 代表准则层 B 之间的优先级对比度。根据判断矩阵可求出的特征向量 $MW = (W_1, W_2, W_3)^T$ ，W₁、W₂和W₃代表准则层 B 间的权重。再通过查询一致性指标表得到 RI，计算得到随机一致性比率 CR。一般当一致性比率 CR<0.1 时，认为矩阵的不一致程度在容许范围内，有满意的一致性，可以通过一致性检验，求得特征向量满足条件。

定义一致性指标 CI:

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \tag{B.1}$$

式中:

λ——最大特征根;

n——判断矩阵的阶数。

当 CI=0，有完全的一致性；当 CI 接近于 0，有满意的一致性；CI 越大，不一致的情况越严重。为衡量 CI 的大小，引入随机一致性指标 RI，随机一致性指标 RI 结果如表 B.3 所示。

表 B.3 随机一致性指标 RI

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

定义一致性比率：

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (B.2)$$

一般情况下，当一致性比率 $CR < 0.1$ 时，认为判断矩阵的不一致程度在容许范围内，有满意的一致性，可以通过一致性检验。

在此基础上，依据表 B.2 和表 B.3，计算判断矩阵最大特征根与特征向量。

假设第 i 种方案的特征矩阵为 A_i ，可求解其最大特征根为 λ_{max} ，对应的特征向量为 x_i 。对 x_i 归一化，可计算第 i 种方案的定性指标权重为：

$$W_{MW_i} = \frac{x_i}{\sum_{k=1}^K x_{i,k}} \quad (B.3)$$

式中：

K ——第 i 个方案中定性指标的总数量；

可将由此算出的权重，作为定性指标的权重。

B.2 定量指标的权重计算

定量指标的权重计算分为客观权重与主观权重两类。对于客观权重，采用熵权法计算。

设参与评价的变电站设计方案共有 M 个，定量指标共有 N 个，构建原始数据矩阵 $X = (x_{ij})_{M \times N}$ ， x_{ij} 表示第 i 个方案中的第 j 个评价指标。

对原始矩阵进行无量纲标准化处理。对于效益型指标（越大越优），按下式计算：

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i(x_{ij})}{\max_i(x_{ij}) - \min_i(x_{ij})} \quad (B.4)$$

对于成本型指标（越小越优），按下式计算：

$$x'_{ij} = \frac{\max_i(x_{ij}) - x_{ij}}{\max_i(x_{ij}) - \min_i(x_{ij})} \quad (B.5)$$

计算第 j 项指标下第 i 个方案的特征比重 P_{ij} ，按下式计算：

$$P_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^m x'_{ij}} \quad (B.6)$$

计算第 j 项指标的信息熵 e_j ，按下式计算：

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (B.7)$$

若 $P_{ij}=0$ ，则定义 $P_{ij} \ln P_{ij}=0$ 。

计算第 j 项指标的客观熵权 w_{ej} ，按下式计算：

$$w_{ej} = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (B.8)$$

主观权重 w_{ej} 按照 B.1 步骤，先进行专家打分，后结合层次分析法计算得到。

然后基于最小鉴别信息原理，将主观权重 w_{aj} 与客观熵权 w_{ej} 进行组合，得到最终的定量指标权重 W_j 按下式计算：

$$W_j = \frac{\sqrt{w_{aj}w_{ej}}}{\sum_{k=1}^n \sqrt{w_{ak}w_{ek}}} \quad (\text{B. 9})$$

B.3 定性定量指标结果的关联系数计算

明确指标权重后,将定性定量指标结果组合为比较数列,并利用灰色关联法计算其与最优参考数列的关联关系,主要计算流程如下:

a) 确定最优参考数列和比较数列

最优参考数列,又称为母序列,由理想最优方案的各项指标数据构成。由 N 个指标组成的最优参考数列见公式(B. 10):

$$Y = \{y(j) | j = 1, 2, \dots, N + K\} \quad (\text{B. 10})$$

比较数列是影响 SEC 指标综合评价结果的影响因素构成的数列,也称为子序列,由 M 种方案构成的比较数列可以表示为(B. 11):

$$X_i = \{x_i(j) | j = 1, 2, \dots, N + K; i = 1, 2, \dots, M\} \quad (\text{B. 11})$$

b) 原始数据变换

为了保证计算模型的质量与分析的精度,需要对原始数据进行变换处理,消除影响因素的量纲影响,让各个影响因素间具有可比性。采用初值变换公式进行计算,则第 i 种方案的第 j 个指标经变换后,得到的比较数列可以表示为(B. 12):

$$x'_i(j) = \frac{x_i(j)}{y(j)}, \quad y(j) \neq 0, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (\text{B. 12})$$

c) 计算关联系数

在对参考数列和比较数列组成的数列进行数据变换之后,需要计算每个比较数列与最优参考数列的关联系数,第 i 种方案的第 j 个指标关联系数计算方法见公式(B. 13):

$$\xi_i(j) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_i(j) + \rho \Delta_{\max}}, \quad \Delta_i(j) = |y(j) - x_i(j)| \quad (\text{B. 13})$$

式中:

$\Delta_{\min}$ ——比较数列与最优参考数列差值 $\Delta_i(j)$ 的最小值;

$\Delta_{\max}$ ——比较数列与最优参考数列差值 $\Delta_i(j)$ 的最大值;

ρ ——分辨系数, $\rho \in (0, \infty)$, 通常取值区间为 $(0, 1)$ 。 ρ 越小,分辨力越大,具体情况不同,取值不同。当 $\rho \leq 0.5463$ 时,算法分辨力最好,通常取 $\rho = 0.5$ 。

B.4 方案的综合评价结果计算

a) 定性定量指标的权重整合

根据定性定量指标的原始排列顺序,将划分后计算得到的指标权重依次排序重组,整合成维度与指标数一致的权重矩阵 $W_{(K \times 1)}$ 。

b) 评价结果打分

将 M 种不同方案下,所有指标与最优参考数列间的 $(M \times (N + K))$ 维关联系数矩阵表示为 $\zeta_{(M \times (N + K))}$ 。之后可结合整合得到的 SEC 指标权重矩阵 $W_{((N + K) \times 1)}$, 计算得到不同方案下变电站 SEC 的综合评价结果 $R_{(M \times 1)}$:

$$R_{(M \times 1)} = \zeta_{(M \times (N + K))} \cdot W_{((N + K) \times 1)} \quad (\text{B. 14})$$

变电站设计方案 SEC 综合评价结果的数值越大表示越推荐该方案。

附 录 C
(规范性)
定量评价指标补充计算模型

C.1 设备事故因子参数及修正

$$f_{S1} = 1 + \frac{2^a}{K_{S1}} \quad (C.1)$$

式中:

a ——特大事故次数;

K_{S1} ——特大事故因子参数。

$$f_{S2} = 1 + \frac{2^b}{K_{S2}} \quad (C.2)$$

式中:

b ——重大事故次数;

K_{S2} ——重大事故因子参数。

$$f_{S3} = 1 + \frac{2^c}{K_{S3}} \quad (C.3)$$

式中:

c ——一般事故次数;

K_{S3} ——一般事故因子参数。

K_{S1} 、 K_{S2} 和 K_{S3} 主要用于控制特大、重大和一般事故次数对最终事故因子 f_S 的影响,根据目前各电力公司电网安全基本情况,事故因子调整系数初始取值为: $K_{S1}=10$, $K_{S2}=50$, $K_{S3}=100$ 修正。

在此基础上,根据变电站电压等级及变电站重要程度进行系数修正。

$$K_{S1} = K_{S1,0} \times \left(1 + 0.8 \times \log_2 \left(\frac{U_k}{35}\right)\right) \times K_T \quad (C.4)$$

式中:

U_k ——变电站电压等级, kV;

K_T ——变电站重要程度调整系数,枢纽站取值 1.4,终端站取值 1.0;

C.2 设备故障切断能力细化计算

$$Normalized_T = \frac{T_{max} - T_{response}}{T_{max} - T_{min}} \quad (C.5)$$

式中:

T_{max} ——最大响应时间

T_{min} ——最小响应时间

$T_{response}$ ——实际响应时间

$$Normalized_S = \frac{S_{sensitivity} - S_{min}}{S_{max} - S_{min}} \quad (C.6)$$

式中:

S_{min} ——最小灵敏度

S_{max} ——系统设计的最大灵敏度

$S_{sensitivity}$ ——系统实际灵敏度

$$w_1 + w_2 = 1 \quad (C.7)$$

式中:

w_1 ——响应时间得分所占权重

w_2 ——灵敏度得分所占权重

C.3 运行可靠性因子及修正

变电站运行可靠性因子按照下式进行计算：

$$f_{E1} = \frac{K_{E1} - \ln(100 - 100 \times E_{1S})}{K_{E1} - \ln(100 - 100 \times E_1)} \quad (C.8)$$

式中：

E_{1S} ——供电可靠性考核值；

E_1 ——供电可靠性指标；

K_{E1} ——供电可靠因子调整系数。

$$f_{E2} = \frac{K_{E2} - \ln(100 - 100 \times E_{2S})}{K_{E2} - \ln(100 - 100 \times E_2)} \quad (C.9)$$

式中：

E_{2S} ——电压合格性考核值；

E_2 ——电压合格性指标；

K_{E2} ——电压合格因子调整系数。

$$f_{E3} = \frac{K_{E3} - \ln(100 - 100 \times E_{3S})}{K_{E3} - \ln(100 - 100 \times E_3)} \quad (C.10)$$

式中：

E_{3S} ——频率合格性考核值；

E_3 ——频率合格性指标；

K_{E3} ——频率合格因子调整系数。