

CET

中国电力技术市场协会标准

CET

交通自洽清洁能源技术效能评级

Method for the effectiveness rating of self-sustained technologies of
clean energy in transportation system

征求意见稿

20xx—xx—xx 发布

20xx—xx—xx 实施

中国电力技术市场协会 发 布

目 次

前 言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 4

4 效能评级流程 6

 4.1 一般规定 6

 4.2 评级流程说明 6

5 评估指标体系 8

 5.1 效率 8

 5.2 经济性 8

 5.3 可靠性 9

 5.4 自洽率 10

 5.5 清洁能源利用率 11

6 多目标导向性效能评价 12

 6.1 权重配置 12

 6.2 效能评价 12

7 效能评级 13

 7.1 效能阈值 13

 7.2 效能评级区间划分 13

 7.3 效能评级原则 13

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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能是涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由中国电力技术市场协会组织提出并归口。

本标准主要起草单位：

主要起草人：

为进一步促进交通和能源的融合发展，推动交通场景路域清洁能源的就地捕获、就地利用，实现交通系统能源结构的绿色清洁转型，为交通能源系统的自洽规划与运行方案提供科学指导，制定本文件。

本文件在执行过程中如有意见和建议，请反馈至中国电力技术市场协会标准化技术委员会秘书处。

（地址：北京市西城区广安门外大街168号朗琴国际大厦A座806，邮编：100055）

交通自洽清洁能源技术效能评级

1 范围

本文件适用于公路、铁路、港口等交通能源系统在规划、运营阶段所提出的自洽技术方案的综合效能评价与等级评定。

在对交通能源系统的综合效能指标进行计算时，除应符合本标准的规定外，尚应符合有关法律法规及国家、行业现行有关标准的规定。

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。

NB/T 10394-2020 光伏发电系统效能规范

JT/T 1199.1-2018 绿色交通设施评估技术要求 第1部分：绿色公路

JT/T 1199.2-2018 绿色交通设施评估技术要求 第2部分：绿色服务区

JT/T 1537.1-2025 近零碳交通设施技术要求 第1部分：货运枢纽(物流园区)

JT/T 1537.2-2025 近零碳交通设施技术要求 第2部分：高速公路服务区

CET

3 术语和定义

3.1

自洽 self-sustained

能源系统内各组成部分通过相互协同、相互作用，在不借助外部能量交换前提下通过自给自足满足系统运行需求的能力。

3.2

交通自洽能源系统 transportation self-sustained energy system

由交通系统（公路、铁路、港口）路域范围内建设的所有光伏系统、风力发电机等清洁能源发电设备与储能装置，能量传输网络，以及所有消耗能量的基础设施构成的自发自用供电能源系统，能够实现交通能源系统内用能负荷的部分满足或全部满足。

3.3

全周期 full-cycle

能量流动的多个环节，包括能量生产、能量传输、能量消耗。

3.4

效能 effectiveness

交通自洽能源系统在效率、经济性、可靠性、自洽率、清洁能源利用率等方面所达到的综合性能和效果。

3.5

利用效率 utilization efficiency

不同能源发电方式的利用小时数与全年小时数的比值，能源利用小时数定义为该能源年发电量与该能源额定容量的比值。

3.6

传输效率 transmission efficiency

一条线路末端节点的流入功率与始端节点的流出功率的比值。

3.7

负荷因数 load factor

统计时段内平均负荷功率与最大负荷功率的比值。反映用能端的负荷波动情况，若负荷因数较低，意味着电力需求波动较大，系统需要为短时间高负荷规划更多的备用容量，导致系统效率降低，同时，低负荷因数则可表明电力系统存在过剩容量，资源利用不够充分。高负荷因数则意味着电力系统在实际运行中接近其规划容量，资源得到了充分利用。

3.8

规划和运行成本 planning and operation costs

投资建设清洁能源发电设备所产生的费用，和为维护与运营发电机组所产生的费用。

3.9

网络损耗成本 network loss costs

从电源发电传输到负荷用电的过程中，电能通过输电线路所产生的损耗和因此而产生的经济损失，这些损耗主要是由于电阻、电感等物理因素导致的电能损失。

3.10

外部电网购电成本 electricity purchase costs from external grid

交通自洽能源系统从外部电网购入电能，以满足系统内部的负荷需求所支付的费用。

3.11

设备系统整体可靠性 reliability of equipment systems

某类设备系统包含的所有机组均正常工作的概率。

3.12

网络可靠性 network reliability

网络可靠性在线路脆弱度的基础上进行定义，表示网络应对线路故障的综合性能。网络中移去某个某条线路，以网络性能因此而下降的程度衡量此线路的脆弱度，所有线路脆弱度的平均值越低，则网络可靠性高，所有线路脆弱度的平均值越高，则网络可靠性低。

3.13

供电可靠性 power supply reliability

在一定时间内，交通自洽能源系完全供应负荷需求的概率。

3.14

自洽率 self-sustained rate

系统通过自给自足满足的用能需求量占自身所有用能需求总量的比值，比值越大表示系统独立满足用能需求能力强，反之意味着系统对外部供能系统依赖性强，完全孤立运行系统自洽率为 100%，完全依赖电网供电的系统自洽率为 0%。

3.15

清洁能源利用率 utilization rate of clean energy

清洁能源在特定时间段内实际产生的能量与其理论最大产能的比值。

4 效能评级流程

4.1 一般规定

4.1.1 交通自洽清洁能源技术效能评级应按照评估指标体系构建、多目标导向性评价、效能评级的流程进行，具体评级流程如图 4-1 所示。首先应构建交通自洽能源系统的评估指标体系，并计算系统各项评估指标的具体数值；然后应综合各项评估指标，对系统的综合效能进行评价；最后应根据系统效能的评价结果，对其进行等级划分。

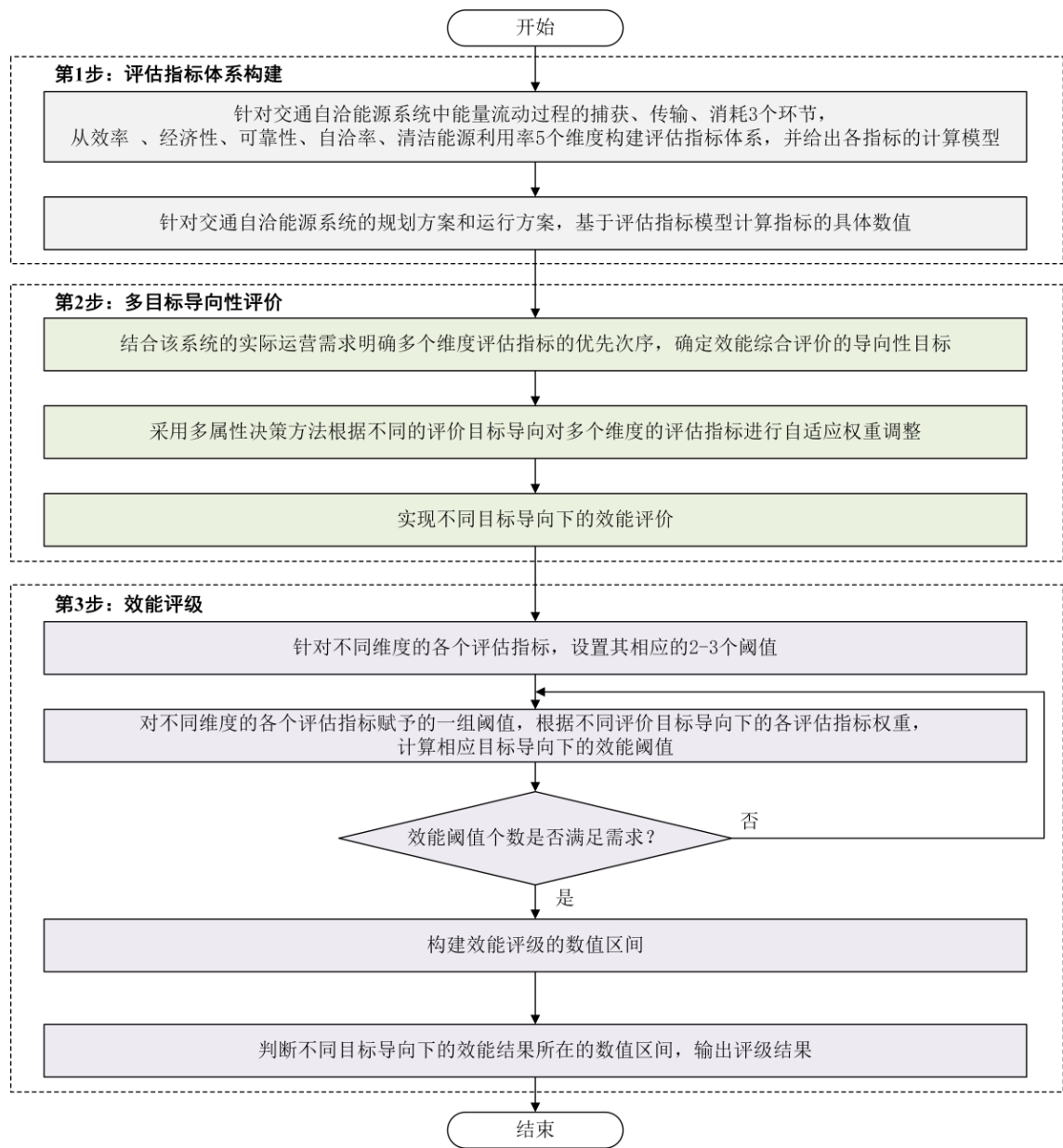


图 4-1 交通自洽清洁能源技术效能评级流程

4.2 评级流程说明

4.2.1 评估指标体系构建：应针对交通自洽能源系统中能量流动的全周期，从效率、经济性、可靠性、自洽率、清洁能源利用率等多个维度，构建评估指标，并给出指标相应的计算模型，然后，针对交通自洽能源系统的规划方案和运行方案，基于评估指标模型计算指标的具体数值。

4.2.2 多目标导向性评价：计算交通自洽能源系统的各项指标的具体数值后，应结合该系统的实际运营需求明确多个维度评估指标的优先次序，确定效能综合评价的导向性目标，从而采用层次分析法、熵权法等多属性决策方法根据不同的评价目标导向对多个维度的评估指标进行自适应权重调整，从而实现效能的导向性评价。

4.2.3 效能评级：应对不同维度的各个评估指标赋予的一组阈值，根据 4.2.2 中不同评价目标导向下的各评估指标权重，计算相应目标导向下的效能阈值，实现多个评估指标阈值与效能阈值的等效转换，基于这种阈值等效转换法，对评估指标赋予多组阈值以生成多个相应的效能阈值，从而构建效能评级的数值区间，最后，基于 4.2.2 的效能评价结果，判断其所在的数值区间，实现效能评级。

5 评估指标体系

在构建交通自洽能源系统的效能评估指标体系时应考虑能量在生产、传输、消耗三个环节之间的转换过程，从效率、经济性、可靠性、自洽率、清洁能源利用率多个维度构建评估指标，评估体系的具体架构如图 5-1 所示。



图 5-1 评估指标体系

5.1 效率

5.1.1 利用效率：在进行交通自洽能源系统中清洁能源电源的利用效率评估时，应按公式(1)计算。

$$\beta_{1,i} = \frac{E_i / S_i}{8760} \quad (1)$$

式中： $\beta_{1,i}$ —— 第 i 种能源的利用效率；
 E_i —— 第 i 种能源的年发电量；
 S_i —— 第 i 种能源的额定容量。

5.1.2 线路传输效率：在进行交通自洽能源系统中线路传输效率评估时，应按公式(2)计算。

$$\beta_{2,ij} = \frac{1}{T} \sum_{d=1}^D p_d \sum_{t=1}^T \frac{P_{ij,d,t} - I_{ij,d,t}^2 R_{ij}}{P_{ij,d,t}} \quad (2)$$

式中： $\beta_{2,ij}$ —— 节点 i 和节点 j 之间的线路传输效率；
 $P_{ij,d,t}$ —— 功率流向为节点 i 至节点 j 的线路在第 d 个典型日的第 t 个时刻的传输功率；
 $I_{ij,d,t}$ —— 节点 i 和节点 j 之间的线路在第 d 个典型日的第 t 个时刻的电流
 R_{ij} —— 节点 i 和节点 j 之间的电阻；
 p_d —— 第 d 个典型日在全年的出现概率；
 D —— 典型日天数；
 T —— 典型日内的时段总数。

5.1.3 负荷因数：在进行交通自洽能源系统中负荷因数评估时，应按公式(3)计算。

$$\beta_3 = \frac{\bar{P}_L}{P_{L\max}} \quad (3)$$

式中： $\beta_{3,i}$ —— 负荷因数；
 $\bar{P}_L$ —— 统计时段内的负荷平均功率；
 $P_{L\max}$ —— 统计时段内的最大负荷功率。

5.2 经济性

交通自洽能源系统的经济性应以相对经济性指标进行量化表征，相对经济性指标定义为：自洽技术方案相对于传统不含清洁能源的系统所提升的经济效益，应按公式(4)计算。自洽技术方案的经济性应以系统的总成本费用进行量化表征包括规划和运行成本、网络损耗成本、外部电网购电成本，总成本应按公式(5)计算。

$$\beta_4 = 1 - \frac{C_{\text{total}}}{C_{\text{tra}}} \quad (4)$$

$$C_{\text{total}} = \sum_{i=1}^{N_s} C_{\text{IO},i} + C_{\text{loss}} + C_{\text{buy}} \quad (5)$$

式中： β_4 —— 相对经济性；
 C_{tra} —— 传统不含清洁能源的交通能源系统的总成本；
 C_{total} —— 自洽技术方案应用后的系统总成本；
 $C_{\text{IO},i}$ —— 第 i 种清洁能源电源的规划和运行成本；
 C_{loss} —— 网络损耗成本；
 C_{buy} —— 外部电网购电成本；
 N_s —— 清洁能源类型总数。

5.2.1 规划和运行成本：交通自洽能源系统中的规划成本应包括各种类型清洁能源以及储能设备的投资建设成本，运行成本应包括机组的发电消耗成本和运维成本，应按公式(6)计算。

$$C_{\text{IO},i} = \sum_{d=1}^D 365 p_d \sum_{t=1}^T c_{\text{ope},i} P_{i,d,t} + (f_i c_{\text{L},i} + c_{\text{m},i}) S_i + (f_i c_{\text{SL},i} + c_{\text{Sm},i}) S_{\text{S},i} \quad (6)$$

式中： $c_{\text{ope},i}$ —— 第 i 种清洁能源电源单位功率的消耗成本；
 $P_{i,d,t}$ —— 第 i 种清洁能源电源在第 d 个典型日的第 t 个时段的输出功率；
 f_i —— 第 i 种清洁能源的折旧系数；
 $c_{\text{L},i}$ —— 第 i 种清洁能源的单位容量投资成本；
 $c_{\text{m},i}$ —— 第 i 种清洁能源的单位容量运维成本；
 S_i —— 第 i 种清洁能源的装机容量。
 $c_{\text{SL},i}$ —— 第 i 种储能设备的单位容量投资成本；
 $c_{\text{Sm},i}$ —— 第 i 种储能设备的单位容量运维成本；
 $S_{\text{S},i}$ —— 第 i 种储能设备的装机容量。

5.2.2 网络损耗成本：交通自洽能源系统中的网络损耗成本应按公式(7)计算。

$$C_{\text{loss}} = \sum_{d=1}^D 365 p_d \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N c_{\text{loss}} I_{n,d,t}^2 R_n \quad (7)$$

式中： c_{loss} —— 单位功率网络损耗成本；
 $I_{n,d,t}$ —— 第 n 条线路在第 d 个典型日的第 t 个时段的电流；
 R_n —— 第 n 条线路的电阻；
 N —— 线路总数。

5.2.3 外部电网购电成本：交通自洽能源系统中的外部电网购电成本应按公式(8)计算。

$$C_{\text{buy}} = \sum_{d=1}^D 365 p_d \sum_{t=1}^T c_{\text{buy}} P_{\text{grid},d,t} \quad (8)$$

式中： c_{buy} —— 单位功率购电成本；
 $P_{\text{grid},d,t}$ —— 第 d 个典型日的第 t 个时段的购电功率。

5.3 可靠性

5.3.1 设备系统整体可靠性：在对交通自洽能源系统中某类设备系统整体可靠性评估时，应按照公式(9)计算。

$$\beta_{\text{S},i} = (1 - \lambda_i)^{N_{\text{U},i}} \quad (9)$$

式中： $\beta_{\text{S},i}$ —— 第 i 种设备系统的可靠性；
 λ_i —— 第 i 种设备系统内的机组故障率；
 $N_{\text{U},i}$ —— 第 i 种设备系统内的机组总数。

5.3.2 网络可靠性：在进行交通自洽能源系统的网络可靠性评估时，应按照公式(10)-(15)计算。

$$\beta_6 = 1 - \frac{1}{N_L} \sum_{i=1}^{N_L} K_i \quad (10)$$

$$K_i = \frac{1}{2} \left(\tilde{L}_{a,i} + \frac{1}{2} (\tilde{D}_{u,i} + \tilde{D}_{q,i}) \right) \quad (11)$$

$$\tilde{X} = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}, X \in \{L_{a,i}, D_{u,i}, D_{q,i}\} \quad (12)$$

$$L_{a,i} = \frac{\sum_l w_l p_l}{\sum_{v \in V} p_v} \quad (13)$$

$$D_{u,i} = \sum_{s \in S(i)} |U_s - U_{s0}| \quad (14)$$

$$D_{q,i} = \sum_{g \in G(i)} \frac{Q_g - Q_{g0}}{Q_{g,\max}} \quad (15)$$

- 式中：
- β_6 —— 网络可靠性；
 - N_L —— 线路总条数；
 - K_i —— 线路 i 的故障率；
 - $\tilde{X}$ —— X 的归一化值；
 - $L_{a,i}$ —— 线路 i 故障后的网络平均传输距离；
 - w_l —— 线路 l 的长度，即线路电抗；
 - p_l —— 线路 l 的权重，即传输的有功功率；
 - V —— 所有节点的集合；
 - $D_{u,i}$ —— 线路 i 故障后的局部电压变化量；
 - U_s —— 故障后的负荷节点 s 的电压(标么值)；
 - U_{s0} —— 故障前的负荷节点 s 的电压(标么值)；
 - $S(i)$ —— 受故障线路 i 影响显著的负荷节点集合；
 - $D_{q,i}$ —— 线路 i 故障后的局部无功变化量；
 - Q_g —— 故障后的发电机 g 的无功出力；
 - Q_{g0} —— 故障前的发电机 g 的无功出力；
 - $Q_{g,\max}$ —— 发电机 g 的无功容量；
 - $G(i)$ —— 受故障线路 i 影响显著的发电机节点集合。

5.3.3 供电可靠性：在进行交通自治能源系统的供电可靠性评估时，应按照公式(16)计算。

$$\beta_7 = 1 - \frac{T_{LF}}{T_T} \quad (16)$$

- 式中：
- β_7 —— 供电可靠性；
 - T_{LF} —— 失负荷小时数；
 - T_T —— 统计周期内小时数。

5.4 自治率

在进行交通自治能源系统的自治率评估时，应按照公式(17)计算。

$$\beta_8 = \frac{\sum_{i=1}^{N_8} \sum_{d=1}^D 365 p_d \sum_{t=1}^T P_{\text{clean},i,d,t}}{\sum_{d=1}^D 365 p_d \sum_{t=1}^T R_{\text{load},d,t}} \quad (17)$$

式中: β_8 —— 自治率;

$P_{\text{clean},i,d,t}$ —— 第 i 种清洁能源在第 d 个典型日的第 t 个时段的清洁能源实际输出功率;

$P_{\text{load},i,d,t}$ —— 第 i 种清洁能源在第 d 个典型日的第 t 个时段的负荷功率。

5.5 清洁能源利用率

在进行交通自洽能源系统的清洁能源利用率评估时, 应按照公式(18)计算。

$$\beta_{9,i} = \frac{\sum_{d=1}^D 365 p_d \sum_{t=1}^T P_{\text{clean},i,d,t}}{\sum_{d=1}^D 365 p_d \sum_{t=1}^T P_{\text{clean},i,d,t}^{\max}} \quad (18)$$

式中: $\beta_{9,i}$ —— 第 i 种清洁能源的利用率;

$P_{\text{clean},i,d,t}^{\max}$ —— 第 i 种清洁能源在第 d 个典型日的第 t 个时段的最大输出功率。

6 多目标导向性效能评价

6.1 权重配置

6.1.1 应根据目标系统的实际运营需求设定相应的导向性目标，采用层次分析法、熵权法等多属性决策方法对各项评估指标相对于系统效能的重要程度进行排序，从而量身制定多个评估指标之间的权重分配方案。

6.2 效能评价

6.2.1 在对交通自洽能源系统的规划方案和运行方案进行导向性效能评价时，应选取多个待评价的系统规划方案，并采用时序运行模拟等系统状态表征方法生成各个规划方案对应的运行方案，从而按公式(1)-(18)计算各个规划和运行方案下的评估指标。

6.2.2 在得到规划和运行方案的评估指标值及其导向性权重后，应按公式(19)计算交通自洽能源系统的综合效能，效能值越大，表示系统的综合性能越好。

$$\begin{cases} \xi = \mathbf{W}_\theta \frac{\mathbf{B} - \mathbf{B}_{\min}}{\mathbf{B}_{\max} - \mathbf{B}_{\min}} \\ \mathbf{W}_\theta = [\omega_1 \quad \omega_2 \quad \cdots \quad \omega_k], \mathbf{B} = [\beta_1 \quad \beta_2 \quad \cdots \quad \beta_k]^T \\ \mathbf{B}_{\min} = [\beta_{1,\min} \quad \beta_{2,\min} \quad \cdots \quad \beta_{k,\min}]^T, \mathbf{B}_{\max} = [\beta_{1,\max} \quad \beta_{2,\max} \quad \cdots \quad \beta_{k,\max}]^T \end{cases} \quad (19)$$

式中： ξ —— 交通自洽能源系统的综合效能；
 $\mathbf{W}_\theta$ —— 导向性目标为 θ 时评估指标的权重向量；
 $\mathbf{B}$ —— 评估指标向量。
 $\mathbf{B}_{\min}$ —— 评估指标最小值向量。
 $\mathbf{B}_{\max}$ —— 评估指标最大值向量。

7 效能评级

7.1 效能阈值

7.1.1 评估指标阈值：结合交通自洽能源系统所在场景及其运营模态，应按公式(20)对各评估指标设置阈值，各评估指标的多组常见阈值见附录 A.1。

$$\mathbf{B}_\tau = [\beta_1^\tau \quad \beta_2^\tau \quad \cdots \quad \beta_k^\tau]^T \quad (20)$$

式中： $\mathbf{B}_\tau$ —— 评估指标的第 τ 组阈值向量；
 β_k^τ —— 第 k 个评估指标的第 τ 个阈值。

7.1.2 阈值等效转换：应根据各评估指标的权重，按公式(21)将多个评估指标的阈值等效转换为效能阈值。

$$\xi_\tau = \mathbf{W}_\theta \frac{\mathbf{B}_\tau - \mathbf{B}_{\min}}{\mathbf{B}_{\max} - \mathbf{B}_{\min}} \quad (21)$$

式中： ξ_τ —— 第 τ 个效能阈值。

7.2 效能评级区间划分

7.2.1 效能级别应根据效能阈值划分出效能评级区间进行评定，本标准根据 $M-1$ 个效能阈值划分为 M 个效能评级区间，如图 7-1 所示，I级效能表示系统综合性能最好， M 级效能表示系统综合性能最差，如图 7-1 所示。

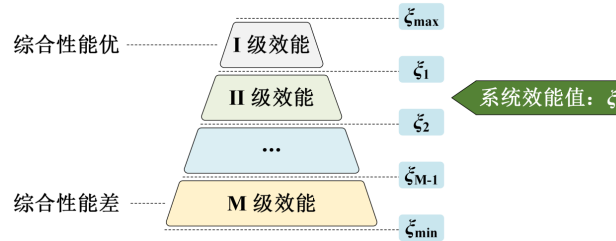


图 7-1 效能评级区间

7.3 效能评级原则

7.3.1 I级效能：当交通自洽能源系统的效能 $\xi \geq \xi_1$ 时，应将该系统评定为具有“I级效能”。

7.3.2 II级效能：当交通自洽能源系统的效能 $\xi_2 < \xi \leq \xi_1$ 时，应将该系统评定为具有“II级效能”。

7.3.3 M级效能：当交通自洽能源系统的效能 $\xi < \xi_{M-1}$ 时，应将该系统评定为具有“M级效能”。

表 A.1 评估指标的多组阈值

评估指标	最大值	第 1 组阈值	第 2 组阈值	第 3 组阈值	最小值
风电利用效率	40%	35%	30%	25%	20%
光伏利用效率	20%	17.5%	15%	12.5%	10%
线路传输效率	100%	99%	98%	97%	96%
负荷因数	100%	90%	85%	80%	70%
相对经济性	20%	15%	10%	5%	0%
风电可靠性	100%	95%	90%	85%	80%
光伏可靠性	100%	95%	90%	85%	80%
网络可靠性	100%	90%	80%	70%	60%
供电可靠性	100%	95%	90%	85%	80%
自洽率	50%	40%	30%	20%	10%
清洁能源利用率	100%	95%	90%	85%	80%