



中华人民共和国国家标准

GB/T 43651—2024

智慧城市基础设施 火电站基础设施质量 评价方法和运营维护要求

Smartcommunityinfrastructure—Measurementmethodsforthequality of
thermalpowerinfrastructureand requirementsforplantoperationsand
management

(ISO 37160:2020, Smartcommunityinfrastructure—Electricpower
infrastructure—Measurementmethodsforthequality ofthermalpower
infrastructureand requirementsforplantoperationsand management, MOD)

2024-03-15发布

2024-03-15实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言 I

引言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 运营阶段的火电站基础设施质量(QTPI)评价 3

 4.1 火电站基础设施质量(QTPI) 3

 4.2 火电站基础设施质量(QTPI)要素 3

 4.3 评价指标 4

5 火电站基础设施运营维护 9

 5.1 通则 9

 5.2 测量 10

 5.3 数据管控 10

 5.4 分析 10

 5.5 风险应对与预控 11

 5.6 运营控制 11

 5.7 综合管理 11

附录 A (资料性) 火电站基础设施质量评价指标体系 13

附录 B (资料性) 火电站基础设施质量的全生命周期成本计算示例 15

附录 C (资料性) 火电站基础设施运营控制智能模块选项与应用场景 17

附录 D (资料性) 火电站基础设施智能化管理自我提升参考方案 19

附录 E (资料性) 火电站基础设施质量术语和指标中文、英文对照表 20

参考文献 22

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。

本文件修改采用 ISO 37160:2020《智慧城市基础设施 电力基础设施 火电站基础设施质量评价方法和运营维护要求》。

本文件与 ISO 37160:2020相比做了下述结构调整：

—附录 B对应 ISO 37160:2020 中的附录 A。

本文件做了下列编辑性改动：

- a) 为与现有标准协调,将标准名称改为《智慧城市基础设施 火电站基础设施质量评价方法和运营维护要求》；
- b) 删除了引言中的部分内容,以适应我国现行能源政策和可持续低碳发展目标；
- c) 删除了 3.2 的注 2；
- d) 删除了 4.1 的注 1,因为中文表述不涉及该英文缩写；
- e) 删除图 1、图 2 中的英文缩写,因为中文表述不涉及该英文缩写；
- f) 增加了附录 A(资料性)“火电站基础设施质量评价指标体系”,并增加了 4.3 中表 1~表 10 后的注,以说明各项指标详细信息在附录 A 中的对应位置；
- g) 修改了附录 B 中的货币单位,统一修改为人民币“元”表示；
- h) 增加了附录 C(资料性)“火电站基础设施运营控制智能模块选项与应用场景”；
- i) 增加了附录 D(资料性)“火电站基础设施智能化管理自我提升参考方案”；
- j) 增加了附录 E(资料性)“火电站基础设施质量术语和指标中文、英文对照表”。

本文件由全国城市可持续发展标准化技术委员会(SAC/TC567)提出并归口。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件起草单位：国家能源集团新能源技术研究院有限公司、中国标准化研究院、国能浙江北仑第一发电有限公司、中城智慧(北京)城市规划设计研究院有限公司、神华神东电力山西河曲发电有限公司、国能粤电台山发电有限公司、国家能源聊城发电有限公司、国能国华(北京)电力研究院有限公司、南京市国土资源信息中心、中国十五冶金建设集团有限公司、智慧城市(合肥)标准化研究院有限公司、杭州三才工程管理咨询有限公司、中国电力工程顾问集团华东电力设计院有限公司、吉林吉大通信设计院股份有限公司、南方电网电力科技股份有限公司、东方电气集团科学技术研究院有限公司、中煤科工重庆工程技术有限公司、湖北省电力规划设计研究院有限公司、山东电力建设第三工程有限公司、上海发电设备成套设计研究院有限责任公司、中国电建集团山东电力建设第一工程有限公司、北京中铁建电气化设计研究院有限公司、天津蓝巢电力检修有限公司、天津云圣智能科技有限公司、中国能源建设集团江苏省电力建设第一工程有限公司、广州通强电力设备有限公司、中铁六局集团有限公司、中国电建集团重庆工程有限公司、湖北华中电力科技开发有限责任公司、内蒙古大唐国际托克托发电有限责任公司、国能国华(北京)燃气热电有限公司。

本文件主要起草人：褚景春、阎毛毛、何鲲、杨锋、王海、常程、朱伟、石立斌、贾彦伏、虞国明、邢立强、杜青峰、宋景慧、林志峰、许恒、孟衍、袁飞、刘干、卞雨凡、王宏林、查思怡、常猛、王新安、余佳琳、代增丽、刘向民、夏锡刚、陈登升、王晓明、袁晓舒、刘中华、陈方平、夏云、李克玉、范宁、柯胜金、黄文杰、郭洪义、赵楠、李德波、杨新新、范菊艳、徐卓知、张俊、庄伟、黄国胜、刘文平、张喜、廖阳春、刘建波。

引 言

城市基础设施是支撑城市活动的基础。基础设施的数字化和创新化发展,支撑和推动着城市运营管理的精细化和网格化,进一步提升城市的智慧建设和可持续发展。当前在国家大力推进建设“新型基础设施”“新型电力系统”和能源数字化、智能化发展的背景要求下,能源基础设施在“新型基础设施”中至关重要。保持城市经济发展、日常生活需要充足和稳定的电力供应,电力新型基础设施包含了以 5G 工业互联网、大数据、人工智能、云计算等信息基础设施建设为代表的“数字基础设施化”和以传统能源基础设施的数字化改造与升级的“基础设施数字化”。本文件立足安全稳定供电需求,加强能源基础设施建设与智慧城市数字技术应用的统筹衔接,推进传统电力基础设施与数字化智能化技术相融合,强化能源网络与信息安全保障能力,对于促进数字经济和绿色低碳循环经济发展至关重要,也为能源高质量发展提供有效支持。

本文件所描述的方法,用于评价在运营阶段的火电站基础设施质量(the quality of thermal power infrastructure,QTPI),并提出指导运营和管理活动的要求以维护和改善其质量,为使在中长期实现能源保障、环境保护、安全 and 经济效率等方面的目标,来确保火电站在其运营阶段的基础设施质量。在火电站运营管理中充分考虑环境影响的社会成本、采取环境保护措施所需的成本,以及这些措施的有效性,目标致力于减少与火电站基础设施相关排放[例如温室气体(GHG)]的环境影响等全球议题。通过保持和提高火电站等能源基础设施在全生命周期内有效运行,推动数字技术深度应用于设计、采购、建设、运维等全生命周期各环节,提高基础资源综合利用效率,降低其运营成本。

本文件旨在促进联合国可持续发展目标,具体包括目标 7(廉价与清洁能源)、目标 11(可持续城市与社区)、目标 13(气候行动)、目标 14(海洋环境)和目标 15(陆地生态),预期通过采取适当的运营和管理措施以维持和改善火电站基础设施质量(QTPI),使社会更能实现可持续发展。同时有利于数字化智能化新型基础设施建设,释放能源数据要素价值潜力,推动节能提效与智慧城市等建设统筹规划,为构建清洁低碳、安全高效的能源体系提供一定参考,具有指导意义。

智慧城市基础设施 火电站基础设施质量 评价方法和运营维护要求

1 范围

本文件描述了火电站基础设施质量(QTPI)的评价方法,并规定了运营维护的要求。

本文件适用于单机总量在 100 MW 及以上的火力发电站运营者,以及有意保持和改善火电站基础设施质量(QTPI)的利益相关方。其他容量机组的火电站运营者参照使用。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

火电站基础设施 thermalpower infrastructure

利用石油、天然气、煤或生物质能作为燃料发电的机组(3.2)或电站(3.3)。

3.2

机组 unit

一组运转一台发电机所需的设备。

注：这可能包括发电机、(汽)涡轮机、锅炉和平衡装置(辅助设备)等。

3.3

电站 plant

包括机组(3.2)和与机组相关的公共设施、土地及建筑物在内的整个场所。

3.4

毛最大容量 grossmaximum capacity;GMC

单元(一组)发电机组(3.2)在给定时间内可能发出的最大机组总输出功率。

3.5

净最大容量 netmaximum capacity;NMC

由毛最大容量(3.4)减去机组(3.2)辅助系统消耗的功率计算得出的输出功率。

注：根据采用 NMC数据的不同目标,以下两种计算方法均能使用：

- a) 电站 NMC: 电站(3.3)毛最大容量(3.4)减去电站内部总能耗(3.6)而计算出的输出功率；
- b) 机组 NMC: 机组(3.2)毛最大容量(3.4)减去特定机组辅助系统的功耗而计算出的输出功率。

3.6

电站内部总能耗 totalinternalconsumption oftheplant

各辅助系统能耗与电站(3.3)内总能耗的合计。

注：总能耗包括行政办公用电量,如照明、空调等。

3.7

降低出力等效停运小时 equivalent unit derated hours; EUNDH
机组降低出力运行期间少发电量除以毛最大容量(3.4) 的计算值。

3.8

可用小时 available hours; AH
机组(3.2) 处于可用状态的小时数。

3.9

统计期间小时 period hours; PH
机组(3.2) 统计的运行时间。

注：不包括因自然灾害导致的意外停机小时数。

3.10

运行小时 service hours; SH
机组(3.2) 并网运行的供电小时数。

3.11

非季节性降低出力的等效可用系数 equivalent availability factor excluding seasonal deratings;
EAF, XS
在既定运营周期内的部分时间内,发电机组(3.2) 无任何停机的运营时间占比。

3.12

热耗率 heat rate; HR
机组(3.2) 产生单位发电量消耗的热量。

3.13

强迫停运小时 forced outage hours; FOH
机组(3.2) 处于强迫停运状态时间的小时数。

3.14

强迫停运率 forced outage rate; FOR
机组(3.2) 处于强迫停运状态的比率。

3.15

按需调整电力供应的能力 ability to adjust power supply to demand
机组(3.2) 具备根据需求变化而调整输出功率的能力。

3.16

按需调节供电能力的受限时间 restricted time of the ability to adjust power supply to demand
根据需求变化调节供电输出功率的受限时间。

注 1: 总时间包括以下各项:

- a) 由于计划外原因,限制使用自动频率控制(AFC) 或负荷频率控制(LFC) 的时间;
- b) 由于计划外原因,机组(3.2) 输出功率恒定的时间。

注 2: AFC是指使用自动频率控制设备调整输出功率,以使电力系统的频率保持在标准值内。

注 3: LFC是指为检测由负荷变化引起的频率变化和相互关联的功率变化,并控制输出功率,使频率和功率流保持在标准值内正常运行。

3.17

排放率 emission rate
在一定时间内,每台机组(3.2) 单位输出功率所排放的特定污染物。

示例:用年排放量除以年发电量的计算值。

注:(烟囱口的)排放率一般指一台机组排放的硫氧化物(SO_x)、氮氧化物(NO_x)、二氧化碳(CO₂) 和颗粒物(PM)。

3.18 工业安全事故率 industrialsafety accidentrate
每 20万人工时或每 100万人工时中,由事故导致人员不能工作、人员工作受限、人员死亡的人工时数量占比。

4 运营阶段的火电站基础设施质量(QTPI) 评价

4.1 火电站基础设施质量(QTPI)

火电站基础设施质量(QTPI) 是指火电站在以下方面持续达到要求或超出预期的程度：

- 初始运营能力；
- 供电稳定性；
- 可靠性；
- 环境和社会因素；
- 安全性；
- 全生命周期成本(LCC)。

注 1: 火电站基础设施特有的能源保障的三个子要素是：

- 初始运营能力；
- 供电稳定性；
- 可靠性。

注 2: 与环境和社会相关的因素均能用于指示基础设施质量的通用指标。

4.2 火电站基础设施质量(QTPI) 要素

4.2.1 通则

为了在运营阶段保持和持续改进火电站基础设施质量(QTPI), 电站运营者应关注 4.2.2~4.2.7 所列的要素, 如图 1所示。

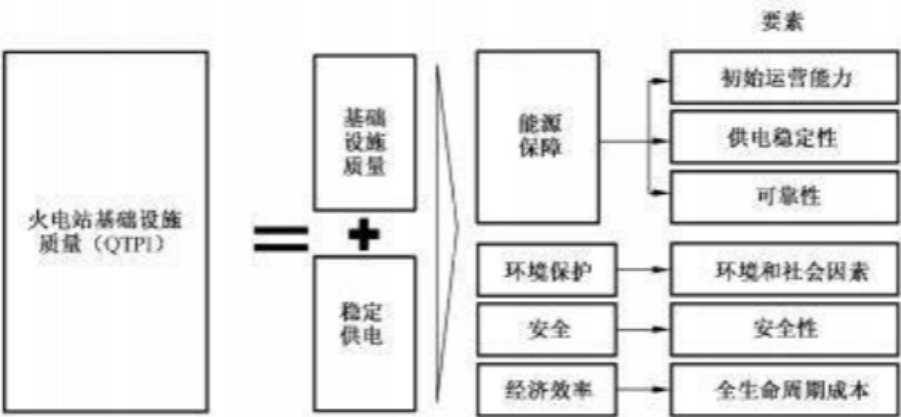


图 1 火电站基础设施质量(QTPI) 要素

4.2.2 初始运营能力

初始运营能力是指火电站基础设施根据机组现状(或特定条件), 并在符合相关规范要求的前提下, 能按照计划和预定的方式启动运营的能力。

4.2.3 供电稳定性

供电稳定性是指火电站基础设施能够按需提供持续电力的能力。

4.2.4 可靠性(可靠运行和快速恢复)

可靠运行是指切实有效地尽可能减少火电站基础设施的内部强迫停运,并在不损坏设备的情况下安全停用基础设施。

快速恢复是指在条件允许的情况下能尽快从强迫停运中恢复运行。

注:内部强迫停运是指在电站控制范围内的停机或输出功率受限,可能是由外部和内部事件引起的,不包括诸如按期维护等情况而引发的停机或限制输出功率。

4.2.5 环境和社会因素

环境和社会因素是指要考虑到预防或控制因火电站基础设施带来的环境影响,以及与当地城市与社区共存的需求。

注 1:从减少对环境负面影响的角度,需要考虑的因素包括但不限于对空气污染物、污水、废液、噪声、其他废弃物和温室气体排放的控制。

注 2:从解决社会问题的角度,需要考虑的因素包括但不限于社区参与、操作透明度和公开披露。有关社会因素的详情,请参阅 GB/T 36000—2015。

4.2.6 安全性

安全性是指具有防止造成人身伤害、设备损坏和环境污染的能力。

4.2.7 全生命周期成本(LCC)

火电站基础设施的全生命周期成本(LCC)是指在满足上述火电站基础设施质量(QTPI)要素所有要求的条件下,在火电站基础设施整个生命周期所发生的成本总和。

全生命周期成本(LCC)通常可分类为工程、采购和建设(EPC)成本,运营和维护成本以及拆除成本,包括处置成本。对火电站基础设施而言,燃料成本通常占运营成本的很大一部分。全生命周期成本(LCC)还包括其他费用,如因强迫停运引起的费用,或因未能满足减排或限污要求而产生的补偿或处罚费用。

4.2.8 火电站基础设施质量(QTPI)的绩效指标和评价

电站运营者收集 4.3所述表 1~表 10 中规定的评估人员开展评价所需的数据。评估人员可包括利益相关方,如保险承保人、政府监管部门、电力供应者、非政府组织和环境组织。评估人员可利用 4.3 中所述的指标,在火电站基础设施运营阶段对火电站基础设施质量(QTPI)进行适当的测量。应酌情审查评价方法和公式,使评价能够适应要求或情况的相应变化。

4.3 评价指标

4.3.1 供电稳定性

4.3.1.1 可用性

表 1列出了按计划定期评价火电站基础设施运营维护能力和机组质量所需的评价方法、公式、评价周期、单位和评价范围。

表 1 供电稳定性评价指标 :可用性

评价方法	计算发电机组非季节性降低出力的等效可用性系数 (EAF, XS)
公式	$F_{EAF, XS} = (t_{AH} - t_{EUNDH}) / t_{PH} \times 100$ <p>式中：</p> <p>$F_{EAF, XS}$— 机组非季节性降低出力的等效可用性系数；</p> <p>t_{AH} — 可用小时；</p> <p>t_{EUNDH} — 降低出力等效停运小时；</p> <p>t_{PH} — 统计期间小时</p>
评价周期	由评估方确定 (例如 ,每 5 年为一个周期)
单位	%
评价范围	机组

注：指标参考阈值等详细信息见附录 A 中表 A.1 的 A.1.2。

4.3.1.2 热耗率(HR) 差值

表 2列出了对发电机组或电站热耗率变化的评价方法、公式、评价周期、单位和评价范围。

表 2 供电稳定性评价指标 :热耗率差值

评价方法	计算热耗率测量值和初始性能测试值之间的差异值。 由于性能测试通常在定期维护期间进行 ,应采用最近性能测试中的测量值
公式	$D_{HR} = H_{R, PEV} - H_{R, IPEV}$ <p>式中：</p> <p>D_{HR} — 热耗率差值；</p> <p>$H_{R, PEV}$ — 在评价期内的性能测试 (性能评估) 期间进行的热耗率评测值；</p> <p>$H_{R, IPEV}$ — 热耗率初始性能测试值</p>
评价周期	由评估方确定
单位	kJ/(kW ·h)
评价范围	机组

注：指标参考阈值等详细信息见附录 A 中表 A.1 的 A.1.3。

4.3.1.3 按需调节供电能力

表 3列出了评价机组根据需求变化而调节输出功率的能力所需的评价方法、公式、评价周期、单位和评价范围。

表 3 供电稳定性评价指标 :按需调节供电能力

评价方法	计算发电机组根据需求调节供电的时间占运行小时 (SH) 的百分比
公式	$R_{DSA} = (1 - t_{DSA,NA} / t_{SH}) \times 100$ <p>式中：</p> <p>R_{DSA} — 电力供需调节比率；</p> <p>$t_{DSA,NA}$ — 电力供需调节能力受限制的时间；</p> <p>t_{SH} — 运行小时</p>
评价周期	由评估方确定(例如 ,每 5 年为一个周期)
单位	%
评价范围	机组

注：指标参考阈值等详细信息见附录 A 中表 A.1 的 A.1.4。

4.3.2 可靠性(可靠运行和快速恢复) :强迫停运率(FOR)

表 4列出了评价电站的可靠性和从任何事件中快速恢复能力的评价方法、公式、评价周期、单位和评价范围。

表 4 可靠运行和快速恢复评价指标 :强迫停运率(FOR)

评价方法	计算发电机组强迫停运期的百分比
公式	$R_{FOR} = t_{FOH} / (t_{SH} + t_{FOH}) \times 100$ <p>式中：</p> <p>R_{FOR} — 强迫停运率；</p> <p>t_{FOH} — 强迫停运小时；</p> <p>t_{SH} — 运行小时</p>
评价周期	由评估方确定(例如 ,每 5 年为一个周期)
单位	%
评价范围	机组

注：指标参考阈值等详细信息见附录 A 中表 A.1 的 A.1.5。

4.3.3 环境和社会因素

4.3.3.1 硫氧化物(SO_x)、氮氧化物(NO_x)和颗粒物(PM)排放率

表 5列出了评价大气污染物排放率所需的评价方法、公式、评价周期、单位和评价范围。

表 5 环境和社会因素评价指标 :硫氧化物、氮氧化物和颗粒物排放率

评价方法	<p>计算发电机组有关烟 囱 口所排放各种大气污染物的排放率。建议以 GMC用于评估目的 ;但如果 GMC不可用 ,NMC也可接受。</p> <p>SO_x 将基于燃料中硫的浓度或由硫化物排放监测来测算。</p> <p>NO_x 将基于常规废气测量的结果来测算。如果一年进行多次测量 ,则使用平均值。</p> <p>PM 将基于常规废气测量的结果来测算。如果一年进行多次测量 ,则使用平均值。负载频率不以最小影响计。</p> <p>注：在对不同设备进行比较时 ,根据辅助功率的不同 ,该比值会有所不同。</p>
------	---

表 5 环境和社会因素评价指标 :硫氧化物、氮氧化物和颗粒物排放率 (续)

公式	$U_{SO_x} = M_{SO_x,AEM} / P_{g,A}$ $U_{NO_x} = M_{NO_x,AEM} / P_{g,A}$ $U_{PM} = M_{PM,AEM} / P_{g,A}$ 式中： $U_{SO_x}, U_{NO_x}, U_{PM}$ — 发电机组硫氧化物、氮氧化物和颗粒物的排放率； $M_{SO_x,AEM}, M_{NO_x,AEM}, M_{PM,AEM}$ — 硫氧化物、氮氧化物和颗粒物的年排放量 (mg)； $P_{g,A}$ — 一年发电量(kW · h)
评价周期	由评估方确定(例如 ,每 5 年为一个周期)
单位	mg/(kW · h)
评价范围	机组

注：指标参考阈值等详细信息见附录 A 中表 A.2 的 A.2.1~A.2.3。

4.3.3.2 二氧化碳(CO₂) 排放率

表 6列出了评价二氧化碳排放率所需的评价方法、公式、评价周期、单位和评价范围。

表 6 环境和社会因素评价指标 :二氧化碳排放率

评价方法	计算机组所产生二氧化碳的排放率。 建议使用 GMC进行评估 ;但如果 GMC不能使用 ,NMC是可以接受的
公式	$U_{CO_2} = M_{CO_2,AEM} / P_{g,A}$ 式中： U_{CO_2} — 发电机组二氧化碳的排放率； $M_{CO_2,AEM}$ — 二氧化碳年排放量(kg)； $P_{g,A}$ — 一年发电量(kW · h)
评价周期	由评估方确定(例如 ,每 5 年为一个周期)
单位	kg/(kW · h)
评价范围	机组

注：指标参考阈值等详细信息见附录 A 中表 A.2 的 A.2.4。

4.3.3.3 水质

表 7列出了评价火电站基础设施对水质产生影响情况的评价方法、数据要求、评价周期、单位和评价范围。

表 7 环境和社会因素评价指标 :水质

评价方法	对电站排水的水质进行多方面的测量 。一年内多次进行水质测量的 ,取其平均值 。
数据要求	例如 ,需要测量的项目包括 pH值、生化需氧量(BOD)、化学需氧量(COD)、正己烷量、总氮量、总磷量、悬浮物量(SS)、大肠杆菌含量及进水和排水温差等 。
评价周期	由评估方确定(例如 ,每 5 年为一个周期)

表 7 环境和社会因素评价指标 :水质 (续)

单位	pH : (-) BOD、COD、正己烷量、总氮量、总磷量、SS : (mg/L) 大肠杆菌含量 : (细胞数/cm ³) 进水与排水温差 : (°C)
评价范围	电站

注：指标参考阈值等详细信息见附录 A 中表 A.2 的 A.2.5~A.2.13。

4.3.3.4 废弃物循环利用率

表 8列出了评价环境质量因素中对废弃物的评价方法、公式、评价周期、单位和评价范围。

表 8 环境和社会因素评价指标 :废弃物循环利用率

评价方法	计算电站运营者负责处理的每台机组所产生的废弃物(如粉煤灰、脱硫石膏、废水污泥)循环利用率。 循环利用包括材料回收、余热回收和回收品销售等方式
公式	$R_r = \sum W_{w,r} / \sum W_w \times 100$ <p>式中：</p> <p>R_r — 废弃物循环利用率；</p> <p>$W_{w,r}$ — 电站产生的废弃物中被循环利用的总量 (kg) ；</p> <p>W_w — 电站产生的废弃物总量 (kg)</p>
评价周期	由评估方确定(例如 ,每 5 年为一个周期)
单位	%
评价范围	电站

注：指标参考阈值等详细信息见附录 A 中表 A.2 的 A.2.14~A.2.16。

4.3.4 安全性 :工业安全事故造成的伤亡数

表 9列出了评估为防止工人工业安全事故而采取措施充分程度的评价方法、公式、评价周期、单位和评价范围 ,事故成因包括自然灾害、设备故障和火电站基础设施操作或维护问题。

表 9 安全评价指标 :工业安全事故率

评价方法	计算因工业安全事故造成的伤亡数 ,通过计算电站所有员工中在工业安全事故发生后无法工作、受到某种工作限制的天数或受到致命伤害的数量
公式	$R_{ISA} = \left[\frac{N_{olt} + N_{ort} + N_{of}}{t_{smhw}} \right] \times t_{omh}$ <p>式中：</p> <p>R_{ISA} — 工业安全事故率；</p> <p>N_{olt} — 因工伤事故造成停工时间在一天的工人数(损失工时)；</p> <p>N_{ort} — 因工伤事故造成工作受限制时间在一天的工人数(限时事故)；</p> <p>N_{of} — 因工伤事故造成的死亡人数(意外死亡事故)；</p> <p>t_{smhw} — 电站内的总工作小时数(工厂工作小时数)；</p> <p>t_{omh} — 对应每 20万人工时或每 100万人工时</p>

表 9 安全评价指标 :工业安全事故率 (续)

评价周期	由评估方确定(例如 ,每 5 年为一个周期)
单位	人(数)
评价范围	电站

注：指标参考阈值等详细信息见附录 A 中表 A.3 的 A.3.1~A.3.3。

4.3.5 全生命周期成本

表 10列出了评价电站运营阶段的总效益(总发电量) 与总成本(发电成本与社会成本的总和) 平衡度的评价方法、公式、评价周期、单位和评价范围。

表 10 全生命周期成本评价指标 :全生命周期成本

评价方法	通过机组或电站(运行) 的总成本和总发电量来评估其成熟度和经济效率
公式	$C_{lcc} = \sum (C_{tpg} + C_s) / \sum (P_{net})$ <p>式中：</p> <p>C_{lcc}— 火电站基础设施的全生命周期成本；</p> <p>C_{tpg}— 发电总成本,EPC总成本、燃料总成本、运营维护总成本、拆除含处置总成本；</p> <p>C_s — 以可定量评价的成本为基础的总社会成本(例如,二氧化碳排放量)；</p> <p>P_{tpg}— 总发电功率。用于过去运行过程中总共产生的净实际功率。</p> <p>如果只评估未来运营阶段,则应除去过去产生的 EPC成本、燃料成本、运营维护成本和社会成本</p>
评价周期	自评估之时起直至彻底拆除
单位	当地货币单位/(kW · h)
评价范围	机组或电站
示例 :全生命周期成本可由经济合作与发展组织(OECD) 采用的服务年内均化发电成本计算。 注：附录 B给出了计算全生命周期成本公式的示例。	

注：指标参考阈值等详细信息见附录 A 中表 A.4 的 A.4.1。

5 火电站基础设施运营维护

5.1 通则

在火电站基础设施运营阶段,电站运营者采用“可持续运营和管理的自我提升机制”是保持和进一步改善火电站基础设施质量(QTPI) 的决定性因素,如图 2所示。

为了兼顾内外部因素以保持和进一步改进火电站基础设施质量(QTPI),电站运营者应建立、实施和维护如 5.2~5.7所示的测量、数据管控、分析、风险应对与预控、运营控制和综合管理的过程。

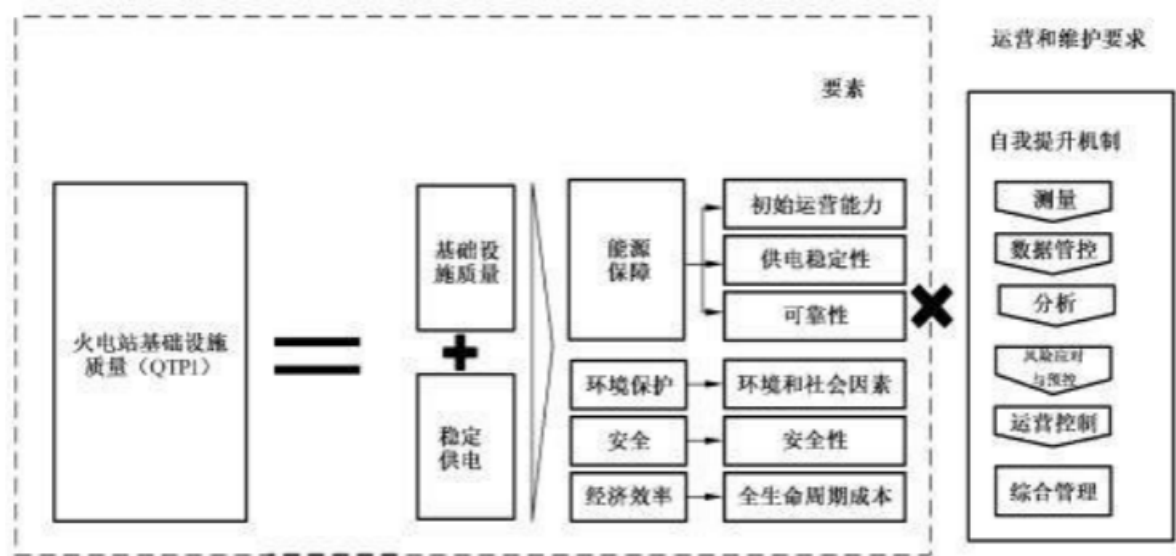


图 2 可持续运营和管理的自我提升机制

5.2 测量

电站运营者应：

- a) 确定需要监视和测量的内容；
- b) 确定适当的测量频率；
- c) 确定监视和测量的方法；
- d) 采用适当的装置或系统进行监视和测量；
- e) 将监视和测量的责任分配给适当的人员。

在确定需要监视和测量的内容时，应考虑操作和维护的要求，以及为利益相关方提供信息的需要。

在确定测量方法时，应考虑对于测量准确性的要求。

用于监视或测量的装置或系统应具有足够的能力。

5.3 数据管控

如适用，电站运营者应：

- a) 按照通用格式实施运营数据的自动记录和积累；

注 1：需要以通用格式自动记录的数据，通常是设备实时监测的过程数据；其他运营和维护数据，通常采用最符合电站运营者运营的数据形式。

- b) 按照适用的数据保留要求和利益相关方的需要以积累和存储数据；
- c) 使所积累数据具有可存取性，以确保及时分析；
- d) 充分保护数据以防丢失、不当访问或不当使用，包括通过运用适当的网络安全控制等措施；
- e) 为利益相关方提供适当的数据(例如，支持供需管理或灾害管理)。

注 2：GB/T 43245—2023规定了数据共享和交换的原则。

5.4 分析

如适用，电站运营者应完成以下工作。

- a) 对 4.2 中评价指标的测量结果进行综合分析，并将结果与其他电站进行基准对比时，应考虑以下内容：
 - 1) 确保数据安全；
 - 2) 保证数据质量；

- 3) 明确数据管理的责任。
- b) 委派具备所需技能的人员进行数据分析,妥善分配工作。
- c) 确定分析数据的适当格式。

5.5 风险应对与预控

为了保持和进一步改善火电站基础设施质量(QTPI),有必要不断识别风险,将不良影响降至最低,解决相应问题,并促进改善火电站基础设施质量(QTPI)的机会。

风险包括内部风险和外部风险。电站运营者应实施、维护和改进流程以降低风险,包括以下方式。

- a) 根据分析结果,及时确定火电站基础设施的内外部风险,为预防事故发生提前制定应对计划,并定期进行操练、模拟或其他演习。
 - 1) 内部风险包括:
 - 设备故障、电气和机械故障(强制停运、输出功率受限);
 - 偏离控制值;
 - 人为失误;
 - 电站发生火灾、爆炸;
 - 造成伤害和疾病的事故。
 - 2) 外部风险包括:
 - 电网故障;
 - 恐怖主义、战争、罢工、骚乱、内乱;
 - 网络攻击,包括对网络的物理攻击和对电站的网络物理攻击;
 - 燃料不可获取和供水不可使用;
 - 自然灾害(例如,地震、台风、海啸、洪水、森林火灾)。
- b) 调查事故原因,依据重要程度采取相应的措施以防止再次发生,并建立一套评价预防措施充分的方案。
- c) 制定具有预防性和预测性的维护计划,以减少强迫停运。
- d) 确定必要的备件,以便在发生强迫停运时能够快速恢复。
- e) 优化系统控制,最大限度地减少排放和改善性能。
- f) 采用最新的技术和方法,以提高操作灵活性。
- g) 优化机组检查的间隔和持续时间,以降低 LCC。

注 1: 有关网络攻击的更多信息,请参阅 IEC 62443(所有部分)。

注 2: 有关自然灾害的更多信息,请参阅 IEC 63152。

注 3: 恐怖主义的风险能通过电站运营者和政府机构共同规划来实现其最小化。

5.6 运营控制

对自我提升机制中认定的测量、数据管控、分析和风险预控的过程,电站运营者为确保可持续的运营和管理,应保证其执行、维持和不断改进管理体系,包括:

- a) 执行并维持有效的运营和维护计划,包括建立知识数据库以改进从测量到风险应对过程的可再现性;
- b) 为电站运营者定期开展并维持有效的培训和发展计划,以确保其获得必要的运营和维护技能,并同期执行对该培训和发展计划的系统评估。

注: 附录 C 给出了火电站基础设施运营控制智能模块选项与应用场景。

5.7 综合管理

电站运营者应建立流程,通过以下方式维护和进一步改善火电站基础设施质量(QTPI)。

- a) 确保管理层对火电站基础设施质量(QTPI)改进的承诺。
- b) 对下列事项进行定期评审并制定改进计划：
 - 1) 以往评审的结果和所采取措施的有效性；
 - 2) 4.3所述评价指标的结果；
 - 3) 运营控制的充分性,以保持有效运营；
 - 4) 与利益相关方的有关沟通状况；
 - 5) 营商环境(例如,燃料采购风险管理的有效性)；
 - 6) 采用最新技术和设备(例如,物联网)；
 - 7) 对社会环境变化的应对能力；
 - 8) 响应利益相关方需求的能力(例如,可再生能源增长导致的供需调整)。
- c) 保持社会责任意识,能考虑到以下因素并制定政策和计划以履行社会责任：
 - 1) 人权保护；
 - 2) 劳动者的权利,包括职业健康和福利；
 - 3) 环境保护(例如,努力保护和改善本土和全球环境)；
 - 4) 防灾计划(例如,采用安全措施以防止火灾和/或工伤)。
- d) 向有关利益相关方(包括当地城市与社区)实时传达关于环境污染的任何信息(例如,向利益相关方提供诸如硫氧化物、氮氧化物和颗粒物排放等环境数据)。
- e) 确保人员可胜任执行运营和维护活动。

图 3说明了火电站基础设施质量(QTPI)的要素、质量改进的运营要求和质量要素评价指标之间的关系。



图 3 火电站基础设施质量(QTPI)要素、质量改进运营要求及质量要素评价指标

注：附录 D给出了火电站基础设施智能化管理自我提升参考方案。
本文件使用的专业术语及其英文对照见附录 E。

附 录 A
(资料性)
火电站基础设施质量评价指标体系

A.1 概述

鉴于我国火电站运营主体的不同特性,或会造成实施本文件时对评价指标的选取和其重要性认知有所差异。本附录给出了从能源保障、环境保护、安全、经济效率四个方面评价火电站基础设施质量(QTPI)的参考指标,以供不同地区、规模、基础设施智慧化水平和运营管理模式的国内火电站选取使用。

A.2 智慧城市基础设施火电站基础设施质量评价指标体系

表 A.1 给出了火电站基础设施质量评价指标体系表的能源保障部分。

表 A.1 火电站基础设施质量评价指标体系表—能源保障

指标类别	指标序号	一级指标	二级指标	三级指标	单位	参考阈值
能源保障	A.1.1	初始运营能力	—	—	%	100
	A.1.2	供电稳定性	可用性	—	%	100
	A.1.3		热耗率(HR) 差值	—	kJ/(kW·h)	1~5
	A.1.4		按需调节供电能力	—	%	30~100
	A.1.5	可靠性	强迫停运率(FOR)	—	%	0~15

表 A.2 给出了火电站基础设施质量评价指标体系表的环境保护部分。

表 A.2 火电站基础设施质量评价指标体系表—环境保护

指标类别	指标序号	一级指标	二级指标	三级指标	单位	参考阈值
环境保护	A.2.1	环境和社会因素	硫氧化物(SO _x) 排放率	—	mg/(kW·h)	≤35 mg
	A.2.2		氮氧化物(NO _x) 排放率	—	mg/(kW·h)	≤50 mg
	A.2.3		颗粒物(PM) 排放率	—	mg/(kW·h)	≤5 mg
	A.2.4		二氧化碳(CO ₂) 排放率	—	kg/(kW·h)	≤0.86
	A.2.5		水质	pH值	—	6~9
	A.2.6			生化需氧量	mg/L	10~20
	A.2.7			化学需氧量	mg/L	50~60
	A.2.8			正己烷量	mg/L	≤10
	A.2.9			总氮量	mg/L	≤15
	A.2.10			总磷量	mg/L	0.5~1
	A.2.11			悬浮物量	mg/L	10~20

表 A.2 火电站基础设施质量评价指标体系表—环境保护（续）

指标类别	指标序号	一级指标	二级指标	三级指标	单位	参考阈值
环境保护	A.2.12	环境和社会因素	水质	大肠杆菌含量	细胞数/cm ³	≤10
	A.2.13			进水与排水温差	℃	≤33
	A.2.14		废弃物循环利用率	粉煤灰	%	≥50
	A.2.15			脱硫石膏	%	≥90
	A.2.16			废水污泥	%	≥50

表 A.3 给出了火电站基础设施质量评价指标体系表的安全部分。

表 A.3 火电站基础设施质量评价指标体系表—安全

指标类别	指标序号	一级指标	二级指标	三级指标	单位	参考阈值
安全	A.3.1	安全性	工业安全事故率	损失工时	件(数)	0
	A.3.2			限时事故	件(数)	0
	A.3.3			意外死亡事故	件(数)	0

表 A.4 给出了火电站基础设施质量评价指标体系表的经济效率部分。

表 A.4 火电站基础设施质量评价指标体系表—经济效率

指标类别	指标序号	一级指标	二级指标	三级指标	单位	参考阈值
经济效率	A.4.1	全生命周期成本	全生命周期成本	—	元/(kW·h)	≤0.2~0.3

附 录 B
(资料性)

火电站基础设施质量的全生命周期成本计算示例

火电站基础设施质量的全生命周期成本可由公式(B. 1) 计算。

$$C_{LCC} = (C_{past} + C_{future}) / (P_{past} + P_{future}) \dots\dots\dots (B. 1)$$

式中：

- C_{LCC} — 火电站基础设施的全生命周期成本；
- C_{past} — 实际已产生的工程采购建造成本、燃料成本、运营维护成本和社会成本的总和；
- C_{future} — 未来将产生的燃料成本、运营维护总成本、社会成本、拆除含处置成本的总和；
- P_{past} — 从投产至今实际已发电量的总和；
- P_{future} — 从现在开始的未来总发电量。

采用 C_{future} 的净现值。
社会成本通过设定适当的单位价格和系数来计算。

注： C_{past} 和 P_{past} 是累计的实际值，不需要调整。
公式(B. 2) 中给出了 C_{future} (从现在到 y 年后的总和转换为净现值) 的计算示例。

$$C_{future} = \sum_{i=1}^y ((C_{f,i} + C_{O\&M,i} + C_{s,i}) \times (1+r)^{-i}) + C_{disp} \times (1+r)^{-y} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

- $C_{f,i}$ — i 年后的燃料成本；
- $C_{O\&M,i}$ — i 年后的运营和维护成本；
- $C_{s,i}$ — i 年后的社会成本；
- C_{disp} — 拆除成本包括处置费用；
- r — 贴现率(根据政府债券利率及其他风险因素而确定，如汇率等)。

公式(B. 3) 中给出了 $C_{f,i}$ 的计算示例。

$$C_{f,i} = F_i \times P_{fuel} \dots\dots\dots (B. 3)$$

式中：

- F_i — i 年后的燃料消耗[kJ/(kW·h)]；
- P_{fuel} — 燃料的单价(元/kJ)。

公式(B. 4) 中给出了 $C_{O\&M,i}$ 的计算示例。

$$C_{O\&M,i} = P_{g,i} \times C_{O\&M/P} \dots\dots\dots (B. 4)$$

式中：

- $P_{g,i}$ — i 年后的发电量(kW·h)；
- $C_{O\&M/P}$ — 单位发电量的运营和维护成本[元/(kW·h)]。

公式(B. 5) 中给出了 $C_{s,i}$ 的计算示例。

$$C_{s,i} = F_i \times C_{CO_2} \dots\dots\dots (B. 5)$$

式中：

- C_{CO_2} — 单位燃料消耗的二氧化碳排放成本(元/kJ)。

公式(B. 6) 中给出了 F_i 的计算示例。

$$F_i = P \times (8\,760 \times A_{av} - t_{aFOH}) \times (R_{HCR} + D_{HCRY} \times i) \dots\dots\dots (B. 6)$$

式中：

- P — 额定输出功率(kW)；

- A_{av} — 实际年平均可用性(%)；
- R_{HCR} — 当前 HR[kJ/(kW · h)]；
- D_{HCRY} — HR 的实际年平均增幅[kJ/(kW · h · a)]；
- t_{aFOH} — 实际每年平均强迫停运时间(h/a)。

附录 C
(资料性)

火电站基础设施运营控制智能模块选项与应用场景

C.1 概述

针对 5.6智慧城市基础设施火电站的运营控制，电站运营者为确保可持续运营和管理，需要持续改善管理体系，包括自我提升机制中认定的测量、数据管控、分析和风险预控等内容。本附录给出了智慧城市基础设施火电站运营控制智能模块选项与应用场景参考示例，以供有意建设智能电站的运营者，可按照表 C.1 中所述的功能，根据不同的应用场景需求，选取使用全部或者部分智能模块。

C.2 火电站运营控制智能模块选项与应用场景示例

表 C.1 给出了火电站运营控制智能模块选项与应用场景。

表 C.1 火电站运营控制智能模块选项与应用场景表

序号	智能模块名称	主要功能与应用场景
1	智能控制系统	在分散控制系统(DCS)基础上，配置计算服务器、实时数据库服务器、历史数据库服务器、高级值班员站、高级应用服务网等资源，融合先进检测与控制、人工智能、机器学习、寻优指导、大数据等技术，实现电站智能检测、状态监测及故障诊断预警、智能控制与优化运行
2	智能视频监控与视频联动	基于计算机视觉与人工智能技术，建立图像与事件描述之间的映射关系，分辨、识别关键目标物体，过滤图像中无用的或干扰信息、自动分析、抽取视频源中的关键有用信息，对电站生产监控区域实现实时智能监控。将先进的视频图像分析技术与智能控制系统(ICS)相结合，实现控制系统与视频系统联动
3	智能检测与参数软测量	智能检测采用现代先进检测技术，如微波、激光、光谱、静电、声波等，配合测控、软件计算和信息融合技术，实现对难以检测的机组和设备运行关键参数的在线准确测量和上传。 参数软测量对生产过程中难以测量或者暂时不能测量的重要变量，选择其他容易测量的辅助变量，通过数学关系进行推断或估计，以软件来代替硬件传感器实现发电生产过程关键参数的在线检测
4	智能监盘	利用数据挖掘、预测分析、深度学习等人工智能技术，结合火电站运行监视需求，对生产工艺参数进行预测、分析、评价，并合理展示结果信息，实现智能化监控
5	智能报警	采用机理建模、数据分析、人工智能等先进技术，优化报警能力，减少无效报警，快速定位报警根源，保证足够响应时间，提供适当鉴别信息并做出指导，提高机组监控品质
6	智能寻优	采用机理建模、数据分析、机器学习等方法，实时处理生产运行中产生的大量数据，计算机组安全、经济、环保等各项指标，在线评价机组运行状态，进行智能寻优，计算参数的最优标杆值，并实时给出当前偏差，指导运行消差或投入自动校正回路，使机组实现自趋优运行

表 C.1 火电站运营控制智能模块选项与应用场景表 (续)

序号	智能模块名称	主要功能与应用场景
7	智能燃料系统	形成燃煤“量、质、价”一体化全流程管控,达到数据自动采集、过程智能分析、异常报警诊断、数据即时共享的目标,实现煤质快速分析、斗轮机/翻车机无人值守、自动盘煤、自动掺烧等功能
8	智能水务	通过网络结构调整、智能化组件部署,形成智能水务应用功能模块,实现全厂水务生产智能化运行监控

附 录 D
(资料性)

火电站基础设施智能化管理自我提升参考方案

D.1 概述

本文件提出的火电站基础设施“可持续运营和管理的自我提升机制”,从测量、数据管控、分析、风险应对与预控、运营控制和综合管理等方面给出了运营和管理过程的改进要求。本附录分别从这六个方面提供了在各环节实现智能化管理自我提升的参考方案,以帮助火电站运营者制定和实施改进措施。

D.2 火电站基础设施智能化管理自我提升参考方案示例

表 D.1 给出了火电站基础设施智能化管理自我提升参考方案示例。

表 D.1 火电站基础设施智能化管理自我提升参考方案示例表

自我提升 管理过程	参考示例		
	可改进内容	供参考的智能化装置和系统	供参考的智慧化技术和方法
测量	包括但不限于对机组燃料、设备、系统、状态、水质、环境等内容的参数监测	智能检测仪器、巡检机器人、智能巡点检仪、烟气排放连续监测系统(CEMS)等	包括视频、图像、音频、红外线、智能设备等
数据管控	包括但不限于对各类型数据的采集、治理、加密、分类、权限管理等工作	按照数据安全要求,采用一体化数据平台,对数据进行加工、分析、使用、共享、交换和备份	加强数据安全管控能力,提高数据质量,加快数据的融合与智能化应用发展
分析	结合评价指标,对设备的健康状态、机组的运行能力、运行效率等进行评价分析	智能分析软件、指标监测分析平台等	设备动态特性建模与分析、大数据分析、状态预测与预警
风险应对与预控	针对内部和外部风险,制定不同应急预案和流程	设备健康状态监测与评估、网络安全预警、市场跟踪与预测	建立安全制度和管理体系,完善网络安全技术保障措施;加强网络人员安全管理;提高员工网络安全意识;建立应急预案和处置机制;加强网络监测和评估
运营控制	包含电站主要设备及主要辅助设备等	电站在分散控制系统(DCS)基础上搭建智能控制系统(ICS),实现运行智能化提升	主控在智能发电平台实现智能检测、智能监盘、智能寻优等功能,提升机组运行水平,在其他系统采用智能化技术提质增效,实现少人值班或无人值守
综合管理	运营管理	5G专网基础设施、5G+智能技术应用,例如智能移动终端、智能工器具柜、智能穿戴设备、智能安防等	构建物联网平台,自动对接外部系统,实现数据自动报送

附 录 E
(资料性)

火电站基础设施质量术语和指标中文、英文对照表

表 E. 1 给出了本文件使用的火电站基础设施质量术语和指标中文、英文对照。

表 E. 1 火电站基础设施质量术语和指标中文、英文对照表

中文名称	英文名称	英文缩写
火电站基础设施质量	the quality ofthermalpowerinfrastructure	QTPI
温室气体	greenhousegas	GHG
火电站基础设施	thermalpowerinfrastructure	TPI
机组	unit	—
电站	plant	—
毛最大容量	gross maximum capacity	GMC
净最大容量	netmaximum capacity	NMC
电站内部总能耗	totalinternalconsumption ofthe plant	—
降低出力等效停运小时	equivalentunitderated hours	EUNDH
可用小时	available hours	AH
统计期间小时	period hours	PH
非季节性降低出力的等效可用系数	equivalentavailability factor excluding seasonalderatings	EAF, XS
热耗率	heatrate	HR
强迫停运小时	forced outage hours	FOH
按需调整电力供应的能力	ability to adjustpower supply to demand	—
按需调节供电能力的受限时间	restricted time ofthe ability to adjustpower supply to demand	—
自动频率控制	automatic-frequency-control	AFC
负荷频率控制	load-frequency control	LFC
排放率	emission rate	ER
工业安全事故率	industrialsafety accidentrate	ISAR
全生命周期成本	lifecycle cost	LCC
工程、采购和建设	engineering,procurementand construction	EPC
硫氧化物	sulfuroxides	SO _x
氮氧化物	nitrogen oxides	NO _x
颗粒物	particulate matter	PM
二氧化碳	carbon dioxide	CO ₂
生化需氧量	biochemicaloxygen demand	BOD
化学需氧量	chemicaloxygen demand	COD
悬浮物	suspended solids	SS

表 E.1 火电站基础设施质量术语和指标中文、英文对照表 (续)

中文名称	英文名称	英文缩写
经济合作与发展组织	the organisation for economic co-operation and development	OECD
分散控制系统	distributed controlsystem	DCS
智能控制系统	intelligentcontrolsysteem	ICS
烟气排放连续监测系统	continuousemissionmonitoring system	CEMS

参 考 文 献

- [1] GB/T 22080—2016 信息技术 安全技术 信息安全管理体系 要求
- [2] GB/T 24353—2022 风险管理 指南
- [3] GB/T 26863—2022 火电站监控系统术语
- [4] GB/T 36000—2015 社会责任指南
- [5] GB/T 43245—2023 智慧城市基础设施 数据交换与共享指南
- [6] GB/T 45001—2020 职业健康安全管理体系 要求及使用指南
- [7] DL/T 701—2022 火力发电厂热工自动化术语
- [8] DL/T 774—2015 火力发电厂热工自动化系统检修运行维护规程
- [9] DL/T 793.1—2017 发电设备可靠性评价规程 第 1 部分 :通则
- [10] DL/T 861—2020 电力可靠性基本名词术语
- [11] T/CET 60—2021 火力发电企业智能化水平评价规范
- [12] T/CEC 164—2018 火力发电厂智能化技术导则
- [13] IEC 62443(所有部分) Security for industrial automation and control systems
- [14] IEC63152 Smartcities—Cityservicecontinuityagainstdisasters— Theroleoftheelectricalsupply
- [15] IEEE Std762™—2006 Use in reporting electric generating unit reliability, availability, and productivity
- [16] EN 45510 Guide for procurement of power station equipment
- [17] APEC Guideline for Quality Electric Power Infrastructure, APEC#216-RE-03.2
