



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX/ISO 27919-2:2021

二氧化碳捕集 第2部分：电厂燃烧后 CO₂ 捕集确保和维持稳定性能的评估程序

Carbon dioxide capture — Part 2: Evaluation procedure to assure and maintain
stable performance of post-combustion CO₂ capture plant integrated with a power
plant

(ISO 27919-2:2021, IDT)

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

 3.1 术语和定义 1

 3.2 缩略语 5

 3.3 符号 6

4 原则 7

 4.1 通则 7

 4.2 可靠性能 7

 4.3 确保并维持可靠性能 7

 4.4 程序概述 8

 4.5 指导原则 9

5 PCC 装置可用性、可靠性和可维修性的基本概念 10

 5.1 通则 10

 5.2 空间和时间的评估范围 10

 5.3 可用性的评估和量化 10

 5.4 可靠性的评估和量化 12

 5.5 可维修性的评估和量化 14

 5.6 可用性、可靠性和可维修性的共同点 14

 5.7 不可用性（有三类） 15

6 界定初步设计阶段内的可靠性、可用性和可维修性 15

 6.1 通则 15

 6.2 PCC 装置说明 15

 6.3 初步设计阶段 16

7 确定运行阶段内的可靠性和可用性 16

 7.1 通则 16

 7.2 运行结果审查 16

 7.3 评估和报告运行的基本负载模式 16

 7.4 正常运行（瞬态和稳定运行） 18

 7.5 开车和停车 18

 7.6 紧急停车 19

 7.7 停车时间 19

 7.8 装置操作员组织和培训 20

8 维修说明 20

8.1 通则 20

8.2 可维修性和停车时间 20

8.3 维修策略 20

9 可用性报告关键性能指标（KPIs） 21

9.1 通则 21

9.2 PCC 装置产能可用度和 CO₂ 产率 22

9.3 计划符合性 23

9.4 时间可用度 24

9.5 运转率 25

附录 A（资料性） 确保并维持电厂内燃烧后 CO₂ 捕集装置性能稳定的详细评估程序..... 26

附录 B（资料性） 参考装置及其部件运行经验..... 32

附录 C（资料性） 技术鉴定..... 36

附录 D（资料性） 第 9 章 PCC 装置产能可用度和 CO₂ 产率（PCPB）影响分类..... 37

附录 E（资料性） PCC 装置可实现性 38

附录 F（资料性） 各关键性能指标（KPI）计算示例..... 39

附录 G（资料性） 与性能要求相关的关键问题和待检查项目..... 45

参考文献 49

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。

本文件等同采用ISO 27919-2:2021《二氧化碳捕集第2部分：电厂燃烧后CO₂捕集确保和维持性能稳定的评估程序》。

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。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

——用小数符号“.”代替“，”；

——要素“术语和定义”中注的更改。

本文件由中国标准化研究院提出并归口。

本文件起草单位：XXX

本文件主要起草人：XXX

引 言

为了实现减缓气候变化的目标，必须减少大气中的CO₂排放量。在当前的减排方法中纳入二氧化碳捕集与封存（CCS），增加了以全球最低成本实现上述目标的可能性。从含碳燃料燃烧产生的气体中捕集CO₂的技术，是唯一能够直接处理电厂及水泥制造和化肥生产等其他工业部门排放的技术。

本文件是关于使用基于化学溶液吸收工艺的燃烧后CO₂捕集（PCC）系列标准中的第2部分。在ISO 27919-1提出的关键性能指标（KPIs）评估的基础上，本文件提供了一种评估程序，以确保并维持与电厂集成的PCC装置的可靠性能。针对其他CO₂捕集技术和方法的新标准或修订标准将在后续制定。

PCC技术适用于所有基于燃烧的火力发电厂。图1显示了PCC工艺的简化框图。

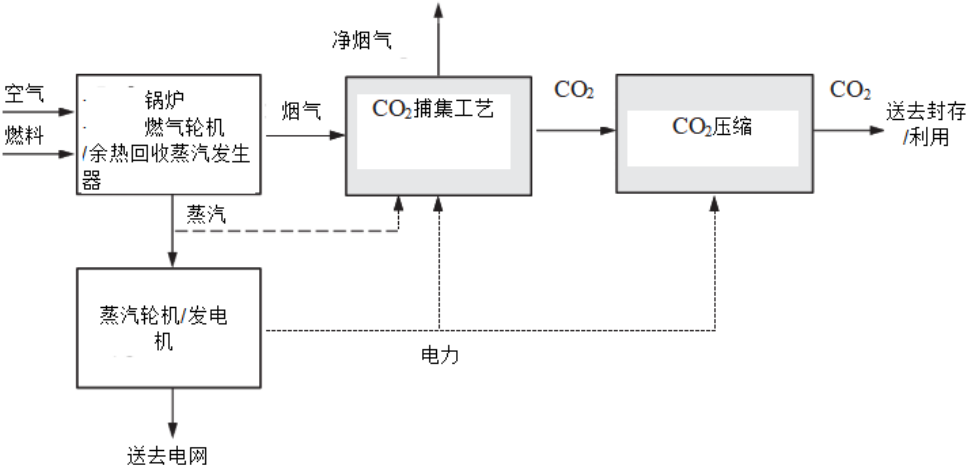


图1 PCC 简化框图

在典型的发电设施中，含碳燃料（如煤、石油、天然气、生物质）在锅炉中与空气燃烧以产生蒸汽。蒸汽驱动汽轮机或发电机产生电力。在燃气轮机联合循环系统中，通过燃气轮机内的燃烧驱动发电，通过余热回收蒸汽发生器产生的额外电力。来自锅炉或燃气轮机的烟气主要由N₂、CO₂、H₂O和O₂组成，根据所使用的燃料，还会含有少量其他化合物。PCC工艺位于常规污染物控制的下游。

基于化学吸收的PCC通常需要从电厂的蒸汽循环中抽取蒸汽，或者使用低品味热源来再生吸收液，具体取决于所用的吸收液和工艺。

PCC 装置的经济价值和环境价值由其技术性能决定，同时还取决于其是否能够按照所有者/利益相关方的要求，实现并维持稳定运行，具体如下：

- 烟气源的所有者关注持续的 CO₂ 减排。
- CO₂ 产品的所有者关注能够在不受外部条件影响的情况下，以所需的速度供应 CO₂。
- CO₂接收方关注其自身业务所需的产品CO₂的可用性。

因此，本文件所述的程序将技术项目评估程序与可靠性、可用性以及在某些情况下的可维修性评估方法相结合。

二氧化碳捕集 第2部分：电厂燃烧后CO₂捕集确保和维持稳定性能的评估程序

1 范围

本文件提供了用于确保电厂燃烧后CO₂捕集（PCC）装置（设计）性能的评估和报告的定义、指南和支持信息，涉及正在进行初步设计的项目，以及作为反馈的参考装置或机组的运行结果。PCC装置将CO₂从发电厂烟气中分离出来，然后进行后续的运输、利用和地质封存。所涉及的物理系统为一个电厂，配有可选的为PCC提供热能的辅助装置，以及GB/T XXXX-1 (ISO 27919-1)所述的PCC装置。

本文件提出的确保和维持可靠性能的公式和方法，描述了在设计和施工阶段解决的问题，以及在日常运行期间记录可靠性和可用性的做法。这些做法也将为正在进行的维修计划提供指导。

本文件不涉及对不同捕集技术（如吸收法）的PCC装置运行提供基准、比较或评估，也不涉及运行条件（如温度等）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。

GB/T XXXX-1 二氧化碳捕集 第1部分：电厂内燃烧后CO₂捕集的性能评估方法 (ISO 27919-1)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 术语和定义

3.1.1

管理延误 administrative delay

因管理原因造成维修延误。

[来源：IEC 60050-192 (192-7-12)，有修改：“维修措施”改为“维修”]

3.1.2

可用性 availability

假设提供了所需外部资源，电厂PCC装置（3.1.20）在规定条件、规定时间点或规定时段内处于所规定性能状态的能力。

3.1.3

修复性维修 corrective maintenance

发现故障后，以恢复为目的进行的维修。

注：项目的修复性维修会破坏装置的可用性。

3.1.4

降额 derated/derating

最大值与可靠值（或类似条件）之差异。

注：降额时间是指降低负载的运行时间。

3.1.5

停车时间 downtime

项目（3.1.9）由于内部故障或预防性维修（3.1.24）而处于无法按要求运行的状态的时段。

注：不可用时间。

3.1.6

紧急停车 emergency operation

为了保护硬件免受损害而突然停车（3.1.36）的操作。

3.1.7

外部影响 external influence

出现在PCC装置（3.1.21）评估范围之外的关键要素。

3.1.8

故障机制 failure mechanism

导致故障的过程。

注：该过程可能是物理过程、化学过程、逻辑过程，或这几种过程的组合。

[来源：IEC 60050-192:2015, 192-03-12]

3.1.9

项目 item

考虑对象。

注1：项目可能是与技术有关的一个单独的零件、组件、设备、功能或工艺单元、设备、子系统或系统。

注2：项目可能由硬件、软件、人员或其任何组合构成。

[来源：来源：IEC 60050-192:2015, 192-01-01修改：注1中“功能单元”改为“功能或工艺单元”，“系统”改为“与技术相关”。删除注3至注5]

3.1.10

后勤延误 logistic delay

因提供维修（3.1.12）措施开展或持续所需的资源而导致的延误，不包括管理延误（3.1.1）。

[来源：ISO 20815:2018, 3.1.24]

3.1.11

可维修性 maintainability

能够维持或恢复到规定条件下所需功能状态的能力。

3.1.12

维修 maintenance

为使某一项目（3.1.9）维持或恢复到所需运行状态而采取的所有技术和管理措施的组合。

注：假设管理包括监督活动。

[来源：IEC 60050-192:2015, 192-06-01]

3.1.13

平均停车时间 mean downtime; MDT

停车时间（3.1.5）的平均值。

[来源：IEC 60050-192:2015, 192-08-10]

3.1.14

平均故障间隔时间 mean time between failures; MTBF

引起事故停车（3.1.20）的故障之间的平均时间，即计划运行时间与事故停车（3.1.20）次数之商。

3.1.15

平均维修间隔时间 meantime between maintenance; MTBM

维修 (3.1.12) 之间的平均时间, 即计划运行时间与维修 (3.1.12) 次数之商。

3.1.16

任务时间 mission time

任务持续时间。

注: 任务是指设备或系统以额定负荷运行的状态。

[来源: ISO 10438-1:2007, 3.1.19]

3.1.17

CO₂额定产能 nominal product CO₂ capacity; NC

在装置运营商定义的标准代表性条件下, 输送已捕集的CO₂的最大连续流量。

3.1.18

正常运行 normal operation

维持以GB/T XXXX-1 (ISO 27919-1) 所规定的性能将产品CO₂输出到运输系统的运行。

3.1.19

运转率 on-stream factor; OSF

所有运转时间的总和与基准期 (3.1.31) 之比, 两者单位均为小时。

3.1.20

停车 outage

项目 (3.1.9) 因任何原因处于不运行状态的时段。

[来源: IEC 60050-192:2015, 192-02-19修改: “不能工作状态”改为“因任何原因处于不能按要求运行的状态”]

3.1.21

PCC装置 PCC plant

从燃烧气体中产出CO₂流的工艺和相关设备。

[来源: GB/T XXXX-1 (ISO 27919-1), 3.1.26]

3.1.22

PCC装置产能可用度 PCC plant capacity availability; PCA

从基准期 (3.1.31) 内的CO₂产量 (3.1.26) 角度衡量的PCC装置 (3.1.21) 可用性 (3.1.2)。

注: 数学定义见公式 (3)。

3.1.23

PCC装置负载 PCC plant load

运行中的CO₂产能 (3.1.27) 与CO₂额定产能 (3.1.17) 之比。

3.1.24

预防性维修 preventive maintenance

按照既定的时间安排和规定的准则进行的维修 (3.1.12)。

注: 另见视情维修 (EC 60050-192:2015, 192-06-07) 和定期维修 (IEC 60050-192:2015, 192-06-12)。

[来源: ISO 23815-1:2007修改: “标准”改为“准则”。删除注释和下面的文字“以降低故障概率或缓解起重机功能退化的问题”]

3.1.25

项目周期 project cycle

项目的一系列阶段, 如初步设计、工程设计、制造、试运行和运行等。

3.1.26

CO₂产量 product CO₂ amount

PCC工艺产生的CO₂的体积、摩尔或质量。

3.1.27

二氧化碳产能 product CO₂ capacity

出口捕集CO₂的总流量。

注：一般表示为每小时的CO₂产量。

3.1.28

二氧化碳产率 product CO₂ producibility; PCPB

基准期 (3.1.31) 内CO₂产量 (3.1.26) 与CO₂额定产能 (3.1.17) 累计量之比。

3.1.29

成熟技术要素 proven technology element

不确定性水平较低或可接受的要素。

3.1.30

冗余 redundancy

满足以下条件的**项目** (3.1.9)：如果**项目** (3.1.9) 失效，那么存在其同等物可在线提供相同功能。

注：冗余与设计策略有关，即提供一个备用系统或部件，这样即使有一个项目出现故障，备用系统或部件将代替此故障项目运行，确保装置的性能不受影响。

3.1.31

基准期 reference period; RP

从初始时间到结束时间之间的时段，在这个时段内，对所有历史或预测的性能指标进行测量或预测

注：基准期相当于统计期小时数。

3.1.32

可靠性 reliability

衡量某一操作的成功可能性，以及电厂**PCC装置** (3.1.20) 的每个**项目** (3.1.9) 在规定条件下及规定时段内，按需要执行其规定功能且保证不发生故障的能力。

3.1.33

可靠性能 reliable performance

PCC装置 (3.1.21) 按要求可靠运行的能力。

3.1.34

计划符合性 schedule compliance; SC

CO₂产量 (3.1.26) 与**PCC装置** (3.1.21) 在规定时段内达到（历史数据）或将要达到（预期数据）CO₂计划产量之比。

3.1.35

运行小时 service hours

待机和**正常运行** (3.1.18) 期间的累计时间，包括期间的**开车** (3.1.39) 和**停车** (3.1.36)。

[来源：ISO 3977-9:1999, 3.98修改：“从主要火焰点燃到火焰熄灭”替换为“在待机和正常运行期间，包括期间的开车和停车”]

3.1.36

停车 shut-down

在程序控制下，**PCC装置** (3.1.21) 及其设备的所有必要功能从运行状态转为停止状态的事件。

3.1.37

待机状态 stand-by state

随时准备启动的非运行状态。

3.1.38

启动可靠度 starting reliability; SR

当PCC装置(3.1.21)在规定时段内开车(3.1.39)成功的概率。

3.1.39

开车 start-up

使PCC装置(3.1.21)及其设备(3.1.9)从停止状态到运行状态的行为。

3.1.40

技术延误 technical delay

采取与维修(3.1.12)措施本身相关的辅助性技术措施所必需的累计时间。

3.1.41

时间可用度 time availability; TA

基准期(3.1.31)与PCC装置(3.1.21)各要素不可用时间总和的差,与基准期(3.1.31)之比。

注:可用时间的计算方法是基准期减去不可用时间。

3.1.42

时间可靠度 time reliability; TR

预防性维修(3.1.12)间隔时间与PCC装置(3.1.21)不可用时间总和的差,与预防性维修(3.1.12)间隔时间之比。

3.1.43

不可用性 unavailability

由于内部故障或预防性维修(3.1.24),PCC装置(3.1.21)处于未按要求运行的状态。

3.1.44

运行时间 uptime

PCC装置(3.1.21)处于能够按要求运行状态的时段。

注:缺乏必要的外部资源可能会妨碍运行,但不影响可用时间。

3.2 缩略语

CCS: 二氧化碳捕集与封存(carbon dioxide capture and storage)

DSS: 日常启停(daily start-up and stop)

EHS: 环境、健康与安全(environment, health and safety)

KPIs: 关键性能指标(key performance indicators)

MAD: 平均管理延误(mean administrative delay)

MDT: 平均停车时间(mean downtime)

MLD: 平均后勤延误(mean logistic delay)

MR: 任务可靠度(mission reliability)

MTBF: 平均故障间隔时间(mean time between failure)

MTPM: 平均预防性维修时间(mean time to preventive maintenance)

MTTR: 平均修复时间(mean time to repair)

NC: CO₂额定产能(nominal product CO₂ capacity)

NPC: CO₂额定产量(nominal product CO₂)

OSF: 运转率(on-stream factor)

OST: 运转时间各要素总和(summation of each element of on-stream time)

PCA: PCC装置产能可用度(PCC plant capacity availability)

PCC: 燃烧后CO₂捕集(post-combustion CO₂ capture)

PCP:	产出的CO ₂ (product CO ₂ produced)
PCPB:	CO ₂ 产率 (product CO ₂ producibility)
PCNP:	未产出的CO ₂ (product CO ₂ not produced)
RAM:	可靠性、可用性和可维修性 (reliability, availability and maintainability)
RP:	基准期 (reference period)
SC:	计划符合性 (schedule compliance)
SPC:	计划CO ₂ 产量 (scheduled product CO ₂)
SR:	启动可靠度 (starting reliability)
TA:	时间可用度 (time availability)
TBPM:	预防性维修间隔时间 (time between preventative maintenance)
TQ:	技术鉴定 (technology qualification)
TR:	时间可靠度 (time reliability)
UT:	不可用时间 (unavailable time)

3.3 符号

n_{FO}	事故停车的次数
n_{FS}	开车失败的次数
n_{SA}	尝试启动的次数
n_{SS}	开车成功的次数
$PC_{nominal}$	CO ₂ 额定产能, 单位为吨每小时 (t/h)
PR_{BSPC}	超过计划产能的额外产量, 以弥补相较于CO ₂ 计划量 (SPC) 的CO ₂ 短缺产量, 单位为吨 (t)
PR_{NPC}	基准期 (RP) 内累计的二氧化碳额定产量 (NPC) 量, 计算方式见 <u>公式 (4)</u> , 单位为吨 (t)
PR_{PCP}	CO ₂ 产量, 单位为吨 (t)
PR_{PCU}	基准期 (RP)]内由于PCC装置产能不可用性 (不包括外部影响) 而累计的CO ₂ 停产量, 计算方式见 <u>公式 (5)</u> , 单位为吨 (t)
PR_{SPC}	CO ₂ 计划产量, 单位为吨 (t)
PR_{SSPC}	基准期 (RP) 内相较于计划量的CO ₂ 短缺量, 单位为吨 (t)
t	任务小时, 单位为小时 (h)
$t_{preventive}$	预防性维修期 (计划内), 单位为小时 (h)
tr_{repair}	维修 (修复性维修) 期 (计划外), 单位为小时 (h)
T_{EPDH}	等效的计划降额小时, 定义为计划降额小时与削减产能的乘积, 除以基准期内累计的CO ₂ 额定产能; 等效的计划降额小时 (EPDH) 的起因可能是计划停车或计划维修造成的产能削减, 单位为小时 (h)
T_{ESEDH}	等效的季节性降额小时, 定义为CO ₂ 额定产能减去净可靠产能[t/h]和可用小时的乘积, 除以基准期内累计的CO ₂ 额定产能; 等效的季节性降额小时 (ESEDH) 的起因可能是季节性天气条件, 单位为小时 (h)
T_{EUDH}	等效的计划外降额小时, 定义为计划外削减产能小时与削减产能的乘积, 除以基准期 (h) 内累计的CO ₂ 额定产能; 等效的计划外降额小时 (EUDH) 的起因可能是事故停车或计划外维修造成的产能削减, 单位为小时 (h)
T_{FOH}	事故停车小时, 单位为小时 (h)

T_{MDT}	在长期运行[h]的情况下，平均停车时间（MDT）包括 T_{MTTR} 、 T_{MTPM} 、 T_{MAD} 和 T_{MLD} ，单位为小时（h）
T_{MTM}	平均维修间隔时间，单位为小时（h）
T_{OST}	运转时间各要素总和，单位为小时（h）
T_{PH}	统计期小时，单位为小时（h）
T_{POH}	计划停车小时，单位为小时（h）
T_{RP}	基准期，单位为小时（h）
T_{RSH}	备用小时，单位为小时（h）
T_{SH}	运行小时，单位为小时（h）
T_{TBPM}	预防性维修间隔时间（TBPM），特别是在停车大修和下一次维修之间的连续运行时间，单位为小时（h）
T_{UTRP}	基准期内累计的PCC装置不可用时间（UT）（即停车时间），单位为小时（h）计算方式见公式（2）
T_{UTTBPM}	在预防性维修间隔时间（TBPM）内累计的PCC装置不可用时间（UT）（不包括预防性维修期），单位为小时（h）
e	自然对数的基数
λ	每小时事件的故障率

4 原则

4.1 通则

本文件介绍了可靠性和可用性的技术项目评估程序，以及某些情况下可维修性的评估方法。
本文件中的评估程序假设如下：

- a) 在整个项目周期中，PCC 装置的设计、制造和施工应符合成熟的和已确立的工程惯例。
- b) PCC 装置的设计可以是成熟技术项目与一些创新项目的结合，其中创新项目有助于提高建设或运营性能和/或经济性。创新水平与所用技术项目的技术准备度有关。
- c) PCC 装置停车不会导致上游电厂立即停机。
- d) PCC 装置是一个可维修的系统，且若通过运行结果等信息反馈来提高每个技术项目的可维修性和可靠性，从而可能改善系统的可用性。

本文件仅聚焦影响可靠性/可用性/可维修性方面的关键项目和参数，未涵盖非关键性项目和非关键性参数。

4.2 可靠性能

可靠性能取决于PCC装置是否按要求运行。可靠性能包括下列两个方面：

- a) 在初始条件下性能满足要求；
- b) 在规定的时段内维持性能。

4.3 确保并维持可靠性能

为了让PCC装置在项目周期内按要求运行，应遵循以下几点：

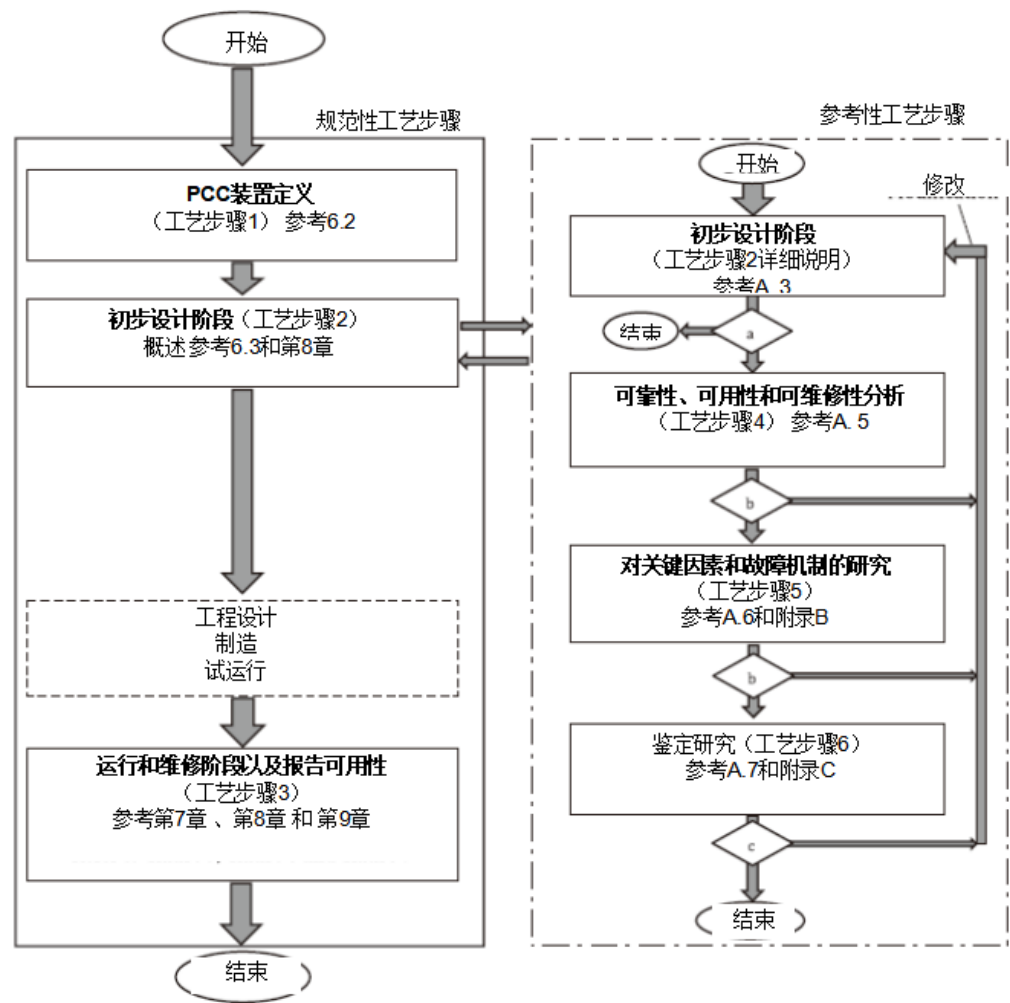
- a) 可用性、可靠性和可维修性的基本概念，参见第 5 章；
- b) 在设计方面，确保交付时可靠性能的准则，参见第 6 章；
- c) 在运行和维修方面，充分监测和评估可靠性能的准则，参见第 7 章和第 8 章；

d) 报告可用性的准则，参见第 9 章，基于第 6 章、第 7 章和第 8 章。

4.4 程序概述

4.4.1 程序流程概述

评估程序由工艺步骤1至6组成，这些步骤的措施贯穿相关项目周期各阶段，参见 图2 中的方框流程图。工艺步骤1至3被归类为规范性工艺步骤，并根据各参考章节进行概述。工艺步骤2（详细说明）和4至6被归类为参考性工艺步骤，也用类似的方式进行概述。



- a 如果不存在创新项目，就直接跳到“结束”，否则进行下一步。
- b 如果创新项目得到管理或可在下一个工艺步骤中进行处理，则进行下一步，否则返回至工艺步骤2（详细说明）进行修改。
- c 如果与上述工艺步骤有关的创新项目得到管理，则直接跳到“结束”，否则返回至工艺步骤2（详细说明）进行修改，包括放弃所用设计。
- 注： 创新项目是指创新技术项目。

图2 评估程序的方框流程图

4.4.2 工艺步骤 1 至 3 概述：主要部分

4.4.2.1 工艺步骤 1：PCC 装置定义

PCC装置定义为评估提供了依据。PCC装置的初步设计要求数据宜参照6.2。

注：这些数据通常是由运营商提供的，但有一些性能值由供应商提出。

4.4.2.2 工艺步骤 2：项目周期中的初步设计阶段

概述参见6.3，详细说明参见A.3。所应用的技术应被完整描述，以作为评估依据。

以下几点宜通过以往的经验 and 研发成果来完成：

——对关键项目和参数进行审查和风险管理；

注：关键项目和参数通常由供应商提供。

——对 PCC 设计和工艺的操作限制进行审查和风险管理。参见 A.3。

4.4.2.3 工艺步骤 3：项目周期中的运营和维修阶段

对PCC工艺的维修和监测，应作为可靠性的证据。参见第7章、第8章和第9章。

4.4.3 工艺步骤 4 至 6 概述：对 PCC 装置（具有不确定性）的特殊项目进行评估

4.4.3.1 工艺步骤 4：RAM 分析，包括每个项目的可靠性定义

宜分析并量化各项目可靠性对整个PCC装置可用性的影响。若未达到可用性目标，宜改进设计。

4.4.3.2 工艺步骤 5：对关键因素和故障机制的研究

对于在工艺步骤2（详细说明）中，因相关经验参数与所用设计参数之间的差距而造成的项目不确定性（例如，由于PCC装置的特殊项目），宜从潜在风险角度进行定性评估。

如果PCC关键项目和参数的经验或研发与设计要求之间存在重大差距，则应对关键因素和故障机制进行研究。

4.4.3.3 工艺步骤 6：鉴定研究或报告

鉴定研究能通过提供证据来管理与剩余创新项目有关的风险，以减少不确定性。参见A.7和附录C。

4.5 指导原则

上述工艺步骤中的评估程序应遵循以下原则：

- 在初步设计阶段，应针对评估流程制定总体计划。考虑到 第7章所述的 PCC 装置的所有运行条件，该计划应包括技术要求和报告要求。该计划应支持 第6章 至 第9章所述评估活动的管理、数据收集、控制和报告。
- 应依照第6章（6.2：工艺步骤1和6.3：工艺步骤2）所述，制定评估依据（即各种文件和图纸中所用设计的完整设计要求和说明，具体取决于技术项目的重要性和项目情况）。关于评估依据的其他信息，参见 ISO/TR 27912 和 GB/T XXXX-1 (ISO 27919-1)。
- 在6.2的工艺步骤中，应针对创新技术项目（若有）和整个 PCC 装置的可靠性、可用性和可维修性目标，制定相关验收标准。在设定量化目标前，应考虑符合性证明成本所带来的大致影响。
- 应根据参考装置或类似装置的经验 and 研发结果分析，评估和筛选 PCC 装置的技术项目，并将项目（部件、接口条件等）分为成熟项目和创新项目。创新性表明涉及新技术项目，包括新部件类型或关键尺寸参数的变化，也可包括已知项目以前没有在规定的操作范围内使用的情况（6.3：工艺步骤2）。

对于成熟技术项目，可参考工程惯例。

对于创新技术项目，可利用现有数据对可靠性进行初步评估。如果数据不充分，可用成熟技术

项目取代创新技术项目。

- e) 所有的证据都应根据装置试车后（一般在运行一年后）的运行经验进行报告并更新，以便审查或按指示提供带有切实证据的反馈（第7章、第8章和第9章）。

应评估PCC装置在规定条件下的指定功能，以便：

- 1) 确认装置实现预期（基于初步设计阶段的计算）的可靠性能；
- 2) 进行潜在的运行调整；
- 3) 优化维修活动（第7章、第8章和第9章：工艺步骤3）。

5 PCC 装置可用性、可靠性和可维修性的基本概念

5.1 通则

本章提供了可用性、可靠性和可维修性的基本概念，用于报告和评估PCC装置的可靠性能。其中包括：

- 空间、时间和环境条件的评估范围；
- 可用性的评估和量化；
- 可靠性的评估和量化；
- 可维修性的评估和量化；
- 可用性、可靠性和可维修性的共同点；
- 不可用性（有三类）。

本章中考虑的性能指标包括：

- a) 作为关键性能指标（KPI）的可用性（参见 5.3）：

- 时间可用度（TA）；
- PCC 装置产能可用度（PCA）；

- b) 可靠性（参见 5.4）：

- 任务可靠度（MR）；
- 平均故障间隔时间（MTBF）；
- 时间可靠度（TR）；
- 启动可靠度（SR）；

- c) 可维修性（参见 5.5）：

- 平均修复时间（MTTR）；
- 平均预防性维修时间（MTPM）。

关于性能指标的计算示例，见附录F。

5.2 空间和时间的评估范围

PCC装置的空间评估范围应限制在GB/T XXXX（ISO 27919-1）中规定的PCC装置固有或必要区域内，并取决于所用的技术和具体项目。

用于记录运行性能的典型RP是从装置范围内维修活动后的装置试运行到下一次停车大修之间的时间段。从装置试运行到装置关停期间，应根据需要反复进行上述操作。

5.3 可用性的评估和量化

可用性包括PCC装置交付CO₂的已用和未用能力，与PCC装置负载无关。只要按要求执行功能的能力降低不是由内部故障或预防性维修造成的，可用性就保持不变。

可用性可以量化为:

- a) 运行时间[h]与 RP[h]的比率,称为时间可用度(TA),以百分比表示;
- b) 实际可用的 CO₂ 产量[t]与 RP[h]内累计的 CO₂ 额定产量(NPC)的比率,以百分比表示。这种比率称为产能可用度(PCA)。

时间可用度(TA)使用公式(1)进行量化:

$$TA = \frac{T_{RP} - T_{UTRP}}{T_{RP}} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

式中:

TA 时间可用度,单位为百分数 (%);

T_{RP} 基准期,单位为小时(h);

T_{UTRP} 基准期内累计的PCC装置不可用时间(UT)(即停车时间),单位为小时(h),计算方式见公式(2)。

$$T_{UTRP} = \sum t_{preventive} + \sum t_{repair} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

t_{preventive} 预防性维修期(计划内),单位为小时(h);

t_{repair} 修复性维修期(计划外),单位为小时(h)。

任何可用性的评估都可用以时间为基础的各种形式要素替代上述基于时间的要素,从而形成多种可用性的定义。上述内容同样适用于基于产量的要素。

PCA是指累计的CO₂额定产量(NPC)和因PCC装置无法使用而导致的CO₂ 停产量之差与RP内累计的CO₂ 额定产量(NPC)的比率,计算方式见公式(3)。

PCA用百分比表示,考虑由于内部故障或预防性维修造成的暂时性产能削减。

$$PCA = \frac{PR_{NPC} - PR_{PCU}}{PR_{NPC}} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

式中:

PCA PCC装置产能可用度,单位为百分数(%);

PR_{NPC} RP内累计的NPC量,单位为吨(t),计算方式见公式(4);

PR_{PCU} RP内由于PCC装置产能不可用性(不包括外部影响)而累计的CO₂ 停产量,单位为吨(t),计算方式见公式(5)。

$$PR_{NPC} = PC_{nominal} \times T_{RP} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

T_{RP} RP总小时数,单位为小时(h);

PC_{nominal} CO₂ 额定产能,单位为吨每小时(t/h)。

$$PR_{PCU} = PC_{nominal} \times (T_{EUDH} + T_{EPDH} + T_{ESEDH}) \dots\dots\dots (5)$$

式中:

T_{EUDH} 等效的计划外降额小时,为RP内累计的计划外削减产能小时与削减产的乘积,除以CO₂额定产能;等效的计划外降额小时(EUDH)可由事故停车或计划外维修造成产能削减而引

起，单位为小时（h）；

T_{EPDH} 等效的计划降额小时定义为：基准期（RP）内累计的降额小时与降低产能的乘积，除以NC；等效的计划降额小时（EPDH）可由计划停车或计划维修造成产能削减而引起，单位为小时（h）；

T_{ESEDH} 等效的季节性降额小时，定义为RP内累计的NC与净可靠产能的差和可用小时的乘积，除以NC；等效的季节性降额小时（ESEDH）可由季节性天气条件而引起，单位为小时（h）。

5.4 可靠性的评估和量化

任务可靠度（MR）是某一时间点的可靠性，随任务时间流逝而变化。例如，若故障率在任务期间是恒定的，则任务可靠度（MR）使用公式（6）用指数寿命分布来表示（见参考文献[1]）。

$$MR = e^{-\lambda t} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

MR 任务可靠度；

e 自然对数的基数；

λ 每小时事件的故障率；

t 任务小时，单位为小时（h）。

在整个工艺的运行期间，每个项目的可靠性可根据MTBF[h]计算。PCC装置的MTBF计算方法见公式（7）（见参考文献[1]）。

$$MTBF = \frac{T_{PH} - (T_{RSH} + T_{FOH} + T_{POH})}{n_{FO}} = \frac{T_{SH}}{n_{FO}} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$MTBF$ 平均故障间隔时间；

T_{PH} 统计期小时，单位为小时(h)；

T_{RSH} 备用小时，单位为小时(h)；

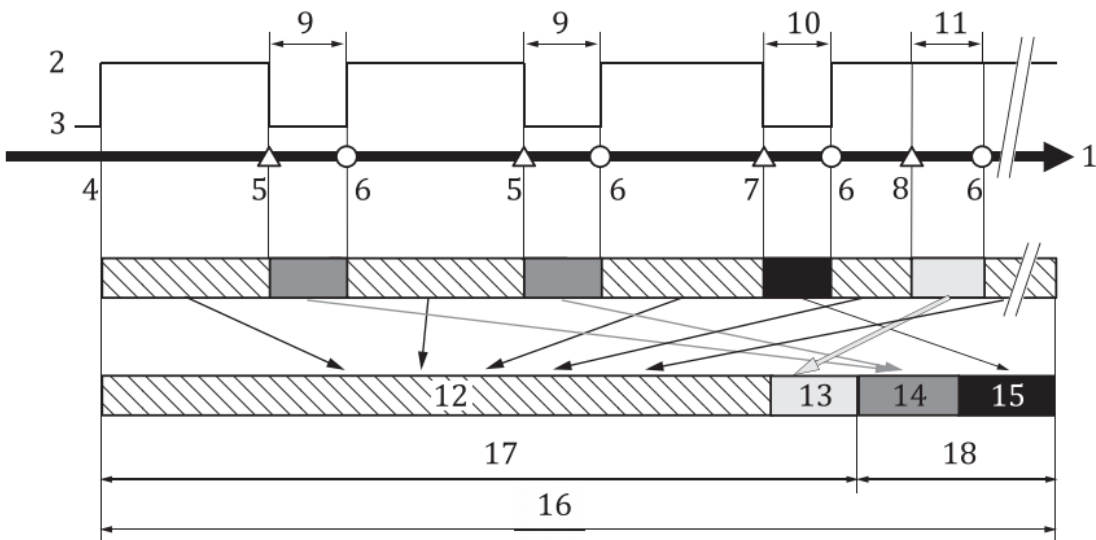
T_{FOH} 事故停车小时，单位为小时（h）；

T_{POH} 计划停车小时，单位为小时（h）；

T_{SH} 运行小时，单位为小时（h）；

n_{FO} 事故停车的次数。

图3有助于理解公式（7）中与时间有关的术语，以便根据运行记录进行上述术语的相关计算。



标引序号说明：

1	PCC装置运行时间（h）	10	预防性维修时间（h）
2	运行时间	11	备用时间（h）
3	停车时间	12	T_{SH} （运行小时）
4	开车	13	T_{RSH} （备用小时）
5	事故停车	14	T_{FOH} （事故停车小时）
6	恢复（重启）	15	T_{POH} （计划停车小时）
7	计划停车	16	T_{PH} （统计期小时）
8	备用	17	可用小时
9	作为修复性维修的维修小时	18	不可用小时

图3 公式（7）的补充说明

可靠性定义为系统在一定时期内，在规定范围执行规定功能的可能性，可用任务可靠度（MR）表示。在这种情况下，平均故障间隔时间（MTBF）越长，可靠性就越高，因为任务可靠度（MR）中的故障率可取 $1/MTBF$ 。平均故障间隔时间（MTBF）通常用于预测一个独立单元在一定时间内发生故障的可能性。

时间可靠度（TR）可表示系统在规定时间内执行其规定功能的能力。为了计算时间可靠度（TR），可对公式（1）中的时间可用度（TA）进行修改，即删除预防性维修期（见公式（8））。

请注意，平均故障间隔时间（MTBF）有时并不适合评估非连续运行PCC装置的可靠性。这是因为在停工期间进行维修，可避免PCC装置出现事故停车。

$$TR = \frac{T_{TBPM} - T_{UTTBPM}}{T_{TBPM}} \times 100 \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- TR 时间可靠度，单位为百分数（%）；
- T_{TBPM} 预防性维修间隔时间（TBPM），特别是在停车大修和下一次维修之间的连续运行时间，单位为小时（h）；
- T_{UTTBPM} 在预防性维修间隔时间（TBPM）内累计的PCC装置不可用时间（UT）（不包括预防性维修期），单位为小时（h）。

启动可靠度（SR）采用公式（9）计算，可用于评估频繁开车的PCC装置的瞬态性能（见参考文献[1]）。

$$SR = \frac{n_{SS}}{n_{SS} + n_{FS}} = \frac{n_{SS}}{n_{SA}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

SR 启动可靠度，单位为百分数（%）；

n_{SS} 开车成功的次数；

n_{FS} 开车失败的次数；

n_{SA} 尝试启动的次数。

成功开车是指PCC装置在规定时间内投入运转，具体表现为CO₂的输出或通过尝试启动实现系统的可靠运行。

尝试启动的目的是在规定时间内让PCC装置从停车状态转为运转状态，宜明确定义启停条件。

5.5 可维修性的评估和量化

可维修性是考虑停运时长在内的维修评估指标，可用如下方法衡量：在维修工作规定时段内，在规定的条件下使用规定程序和资源，使故障的PCC装置恢复到有效运行状态的可能性。

可维修性可通过修复性维修的MTTR和长期运行情况下的MTPM进行量化。

在评估可维修性时，MTTR和MTPM可能会受技术要求以外的因素影响。在这种情况下，宜从评估中删除后勤和管理延误。

5.6 可用性、可靠性和可维修性的共同点

可用性按使用公式（10）计算，通常以百分比表示：

$$Availability = \frac{T_{MTBM}}{T_{MTBM} + T_{MDT}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

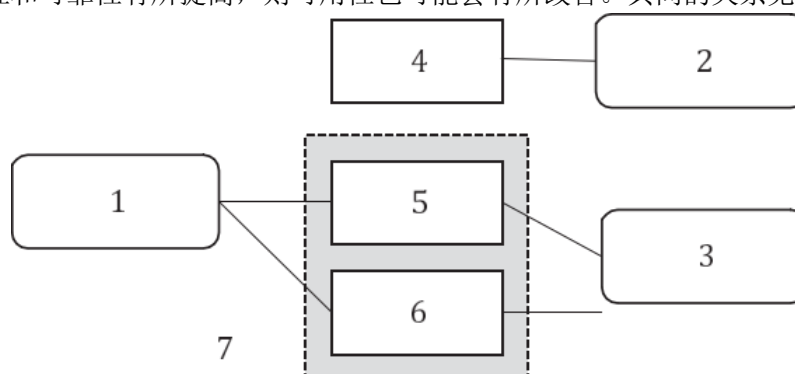
T_{MTBM} 平均维修间隔时间，单位为小时（h）；

T_{MDT} 在长期运行的情况下，由 T_{MTTR} 、 T_{MTPM} 、 T_{MAD} 和 T_{MLD} 组成的平均停车时间（MDT），单位为小时（h）。

注：这种可用性被称为“运行可用性”。

MTBM和MTBF都是可靠性的指标。由于PCC装置是一个可维修系统，可用性会受到平均停车时间（MDT）的影响。

如果可维修性和可靠性有所提高，则可用性也可能会有所改善。其间的关系见图4。



标引序号说明：

- 1 可用性
- 2 可靠性
- 3 可维修性
- 4 平均维修间隔时间（MTBM）或平均故障间隔时间（MTBF）
- 5 平均修复时间（MTTR）
- 6 平均预防性维修时间（MTPM）
- 7 平均停车时间（MDT），包括平均管理延误（MAD）和平均后勤延误（MLD）

图4 可用性、可靠性和可维修性之间的关系**5.7 不可用性（有三类）**

不可用性包括以下三级情况。这些情况都可以通过所用工艺的设计知识和监测来改善，特别是在没有足够运行经验的工艺时，如8.2的a）所述。

- a) 预见（计划）的不可用性。
- b) 不可预见但可选择推迟（非计划性且可推迟）的不可用性。
- c) 不可预见但无法推迟（非计划性且不可推迟）的不可用性。

对于可能有完成所有必要准备工作所需的最短时限通知的不可用性，宜归类为可预见（计划）的不可用性。非计划性且可推迟的事件会有一个可选的最短小时数通知，以便为任务工单做好准备。上述取值可能是8.1 a）和8.1 b）中所述的可用于准备的时间，宜由用户或运营商根据其项目特点来确定。

6 界定初步设计阶段内的可靠性、可用性和可维修性**6.1 通则**

根据4.4 和4.5，评估程序从设计阶段开始，包括PCC装置定义（工艺步骤1）和初步设计阶段（工艺步骤2）。

6.2 PCC 装置说明

- a) PCC 装置说明宜涵盖初步设计要求及其应用条件，包含以下设计所需的信息定义：

- 1) PCC装置的配置、评估范围和各接口位置；

注1：各机组内分配的工艺单元和部件。

注2：与其他技术系统、物理环境、其他运营商和人员的接口。

注3：参见GB/T XXXX(ISO 27919-1)的图1。

- 2) 各接口的设计条件；

注4：烟气、公用工程、化学品、现场大气条件和其他传热介质，如附录G所示。

- 3) PCC装置的性能要求；

注5：GB/T XXXX(ISO 27919-1)中定义的关键性能指标（KPI）、基本性能和公用工程消耗量由供应商提供，并作为性能目标列出，根据接口数据计算确认。

- 4) 监管机构规定的接口要求，包括健康、安全与环境。

注6：这是GB/T XXXX(ISO 27919-1)规定之外的要求，供参考。

- b) 参考负载模式；

注7：这是在设计中考虑的基本运行负载模式。第7章 中定义的基本负载模式，与CO2交付有关。负载模式可

能会影响PCC装置的设计和部件选择。

- c) 对性能和稳定性的要求（若有）。

注8：注8：如GB/T XXXX(ISO 27919-1)（附录B）中所述。

- 1) 稳态运行范围从最小负载（%）到最大负载（%），包括100%（额定）负载；
- 2) 由于运行负载变化或开车和停车而产生的瞬态条件。

6.3 初步设计阶段

初步设计应根据(6.2)所述对PCC装置进行设计，作为PCC装置建设的输入资料。对于商用设备/部件和创新设备/部件，应采取不同的方法。评估期间，宜要求对实践经验和研发活动进行评估。假定已实现可维修性目标。随后，应对初步设计进行审查，从而对PCC装置的可靠性和可用性进行评估。为此，可利用图2 参考性工艺步骤中的方法。创新设备/部件宜遵循参考性工艺步骤。

7 确定运行阶段内的可靠性和可用性

7.1 通则

评估可用性的性能，仅限于PCC装置处于受控运行时期，且没有因PCC装置自身问题而导致停车。可用性性能需符合性能监测的要求。

应使用下文所述的关键性能指标（KPIs）对运行结果进行审查。PCC装置处理烟气，其可接受的成分具体取决于所用吸收剂的工艺特性。吸收剂易降解，宜将其作为指定的监测参数。

基本负载模式涵盖从开车、离线工况、正常运行到停车的整个过程。

可用性是代表性参数值的总和，取决于所评估的每个负载模式中的KPIs。此处没有定义升负载期间的性能。如果频繁停车，宜评估启动可靠性。

为了让PCC装置满足主电厂的可操作性和经济运行要求，PCC装置应满足烟气源（主电厂）的要求，并且在开车、停车和紧急停车以及随后重启的瞬时条件下，不得对这种运行施加限制。

7.2 运行结果审查

新建PCC装置可用性的监控应在成功完成性能测试后开展。

除设计阶段介绍的KPIs外，下面还介绍了与运行相关的KPIs：

- a) CO₂产率（PCPB）（基于产量；参见 9.2）；
- b) 计划符合性（SC）（基于产量，需考虑产能过剩问题，利用余量实现产量目标；参见 9.3）
- c) 运转率（OSF）（基于运行时间记录；参见 9.5）

本阶段主要工作是按照a）、b）和 c）中引入的KPIs清晰统一上报RP内的实际运行结果。

7.3 评估和报告运行的基本负载模式

- a) PCC 装置的负载模式由不同运行状态组合而成，具体描述如下：

- 1) 正常运行（瞬态和稳定运行；参见 7.4）；
- 2) 开车停车（包括运行期间的离线时间间隔；参见 7.5）；
- 3) 紧急停车（参见 7.6）；
- 4) 停车时间（维修、改造、维修等停车时间；参见 7.7）。

- b) 图 5 给出了典型负载模式，图 6 给出了运行图，其中各运行模式的位置在水平轴下方用不同阴影带表示。

负载模式可能因商业条件而有所不同，如下游CO₂需求量和/或CO₂减排。这些条件会受到外部影响，如主电厂负载、作为原料的进料烟气量以及供电限制。宜明确这些外部影响。

如果主电厂负载或进料烟气量属于关键因素，PCC装置最常见模式为跟随主电厂负载，PCC装置负载模式与主电厂的负载模式类似。

有关负载模式，参见1)~5)，图5描述了负载概念。

- 1) 连续满载；
- 2) CO₂需求量作为基本负载；
- 3) CO₂需求量作为间歇负载；
- 4) 日周期性运行（或日常启停（DSS））；
- 5) CO₂峰值需求量。

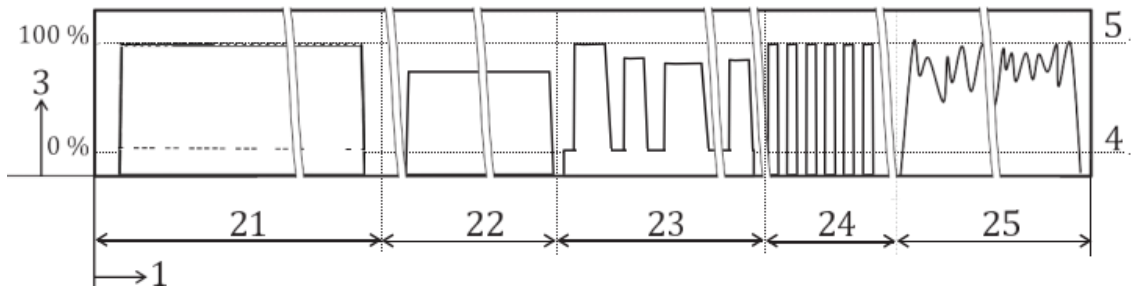
用户对负载模式提出具体要求。

可在7.4中所述的瞬态工况后实现稳定工况性能。

c) 应在设计阶段明确 PCC 装置的参考或典型负载模式。由于可通过改变应力水平和环境条件影响可用性和可靠性，如果与设计条件明显不同，则有必要测量实际模式。此外，还应确定下列参数以说明负载模式：

- 1) 平均故障间隔时间（MTBF）；
- 2) 首次开车和/或升负载速率要求；
- 3) PCC装置每年事故停车次数；
- 4) 用于预防性维修的MDT。

PCC装置处于电厂的低负荷运行导致的低产能运行状态时，装置在时间上被认为完全可用，而公式(11) 中的CO₂产率（PCPB） 与CO₂产量（PCP）有关。



标引序号说明：

1	PCC装置时间	21	连续满载
3	PCC装置负载	22	以CO ₂ 需求量作为基本负载
4	最小负载（%）	23	以CO ₂ 需求量作为间歇负载
5	额定负载（%）	24	日周期性运行（或日常启停（DSS））
		25	CO ₂ 峰值需求量

图5 PCC 装置典型负载模式

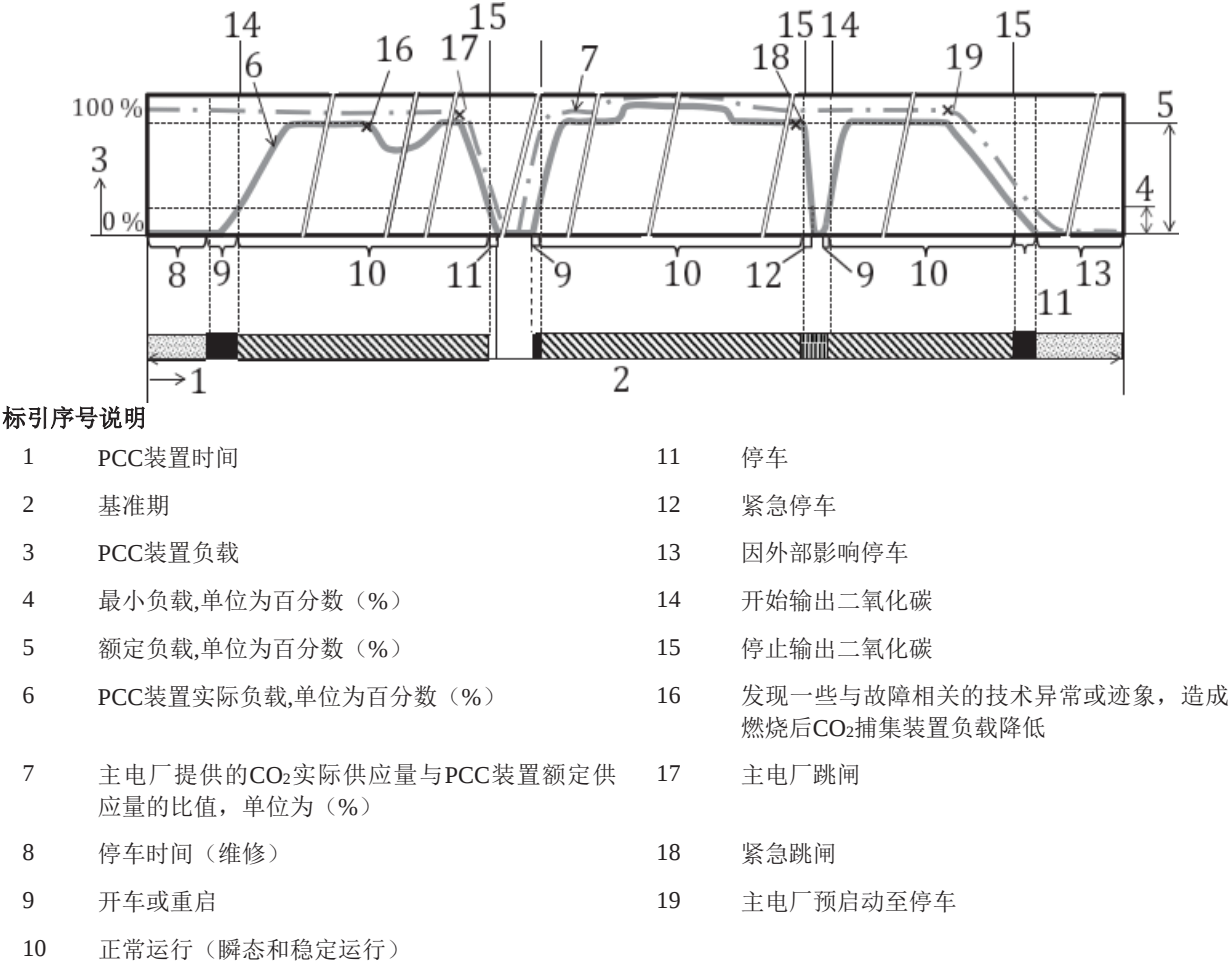


图6 PCC 装置典型负载模式

7.4 正常运行（瞬态和稳定运行）

如图6中标引序号10对应的阴影时间段所示，正常运行是PCC装置产出产品CO₂，包括稳态和典型瞬态。

正常运行要求如下：

- a) 评估时，应根据具体项目明确并列举性能容差要求（允许波动范围），并在典型稳定满载和部分负载运行期间满足该容差要求。
应根据烟气供应源的要求，在满足稳定性要求的最小负载下运行PCC装置。此时，可能需要解决运行阈值较小的问题，如系统内液体分布平衡。
- b) 瞬态工况运行，应确认 PCC 装置可从负载（1.3.27）最小值到 负载 100% 正常运行，反之亦然。PCC 装置的运行负载应根据主电厂最大负载的变化速率（如 5%/min）进行调整。
- c) 有关能量需求的关键性能指标（KPIs）应按照 GB/T XXXX-1(ISO 27919-1)确定。

7.5 开车和停车

有关开车和停车时间，如图6中标引序号说明9和11对应的阴影时间段所示。

开车包括烟气接收和制备输送产品CO₂。开车期间在确认稳定生产之前所捕集的CO₂不计入CO₂产量。

因为停车后无法输出CO₂，在开车前宜根据上次停车的原因（内部故障或外部影响）说明开车时PCA。

PCC装置的停车宜根据安全的最小循环量要求来操作，此循环量根据重新启动所需的条件来确定。

图7明确了根据开车准备度（或工艺温度）确定的离线工况，同时考虑实现该目标所需的运行时间。还定义了PCC装置的多种开车模式（激活模式）。例如，上述开车条件可以根据汽轮机开停机情况描述。

上述起止点的定义还需根据图7PCC装置的各种开车模式明确所需的升负载速率和开车时间。SR[公式(9)]由图7中PCC装置的离线状态决定。在评估SR时，起点可能是热备用态，目标则可能是正常运行状态，在此状态下PCC装置的负载宜在最小负载和额定负载之间指定。起点通过上述启动尝试所需的时间段来量化。

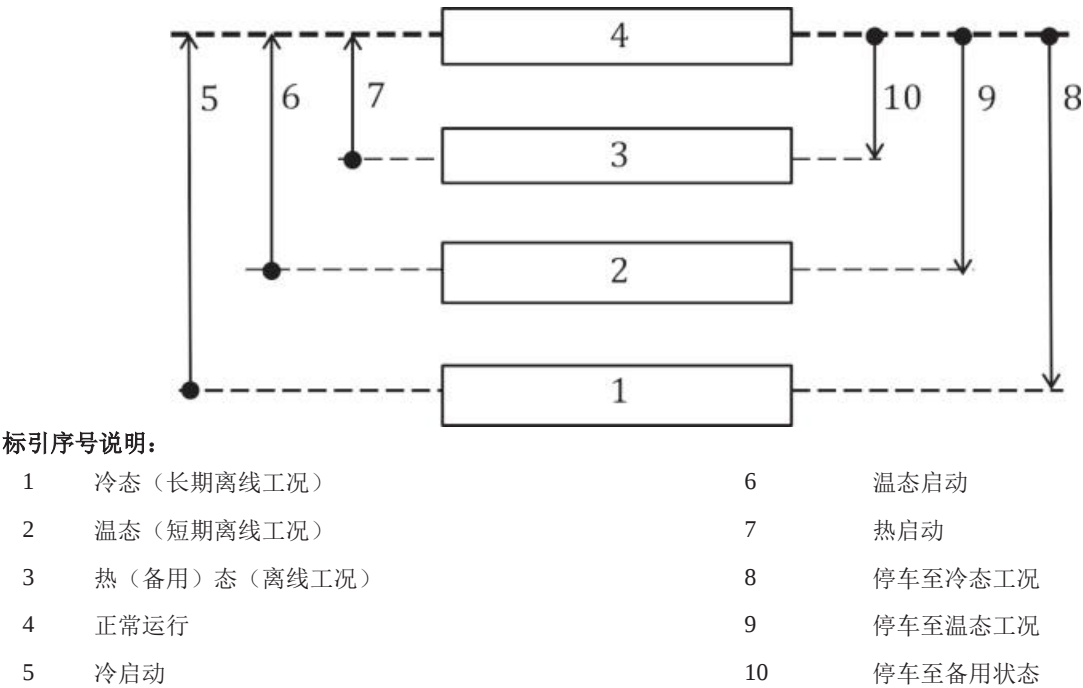


图7 PCC 装置典型开车和停车示意图

7.6 紧急停车

紧急停车只适用于通过紧急停车设计可解决的安全事宜，如通过停止供电、供汽以及CO₂紧急排空突然关闭正在运行的PCC装置来确保安全。

紧急停车时间示例如图6中与标引序号说明12对应的阴影时间段所示。这里表示突然停车，不需要进行修复性维修，然后装置立即恢复运行。如果PCC装置紧急停车后无法恢复运行，则需要进行修复性维修。

控制系统的设计应防止出现不安全工况，并提供警报信号以警告操作员注意不安全的工况。系统应配备适当的安全跳闸装置，针对其组件以及（如果必要）PCC装置的整体系统进行紧急停机，以最终保护工厂人员和/或设备的安全。

紧急停车对蒸汽和烟气供应源的影响应作为安全事宜的一部分。

7.7 停车时间

有关停车时间中与修复性和预防性维修相关的组成要素，参见第8章表1。

如果可以缩短从冷态（参见图7）到额定负载以及停车到冷态的瞬态时间段，则可降低与维修相关PCC装置停车对产品CO₂运输的影响。这将提高基于产量的可用性，因为在上述瞬态期间，产品CO₂的生产将减少或暂停。

7.8 装置操作员组织和培训

影响PCC装置可靠性和可用性的其他重要因素是操作员技能（包括分析技能）。PCC装置操作人员在操作、维修和/或分析之前，应具备相应的资格和能力，以确保令人满意的运行和结果。

性能监测计划最关键的资源是人员。

为了培养出合格的人员，员工应定期参加专家或制造商组织的课程，作为内部培训计划的一部分。

注：成功的培训计划包括操作、维护和管理人员的培训，并提高对PCC装置的运行环境、功能要求和故障模式及其影响因素的认识，增加提高可用性的激励。

8 维修说明

8.1 通则

本章说明了设计阶段以及运维阶段需考虑的维修事宜。应实现5.5中定义的可维修性目标，前提是根据需要应用并非具体针对PCC装置的现有标准和惯例。IEC 60706-2和IEC 60300-3-10属于这类标准。有关更多详细信息，参见A.8。

本章为用户、制造商、技术供应商和EPC承包商之间的交换维修信息提供了基础，以便进行透明的评估。

8.2 可维修性和停车时间

表1显示了来自IEC 60050-192[3]的停车和维修时间的细分。修复性维修时间通常由表1中所述的多个参数组成。有关下文列出的典型执行顺序，参见ISO 3977-9。

- a) 完成必要的准备工作，包括在停车操作期间做好维修准备，包括停车前后的技术延误和故障定位时间，具体取决于5.7中定义的不可用类型。
- b) 获取备件工具，并配备合格的维修人员。
- c) 维修或更换任何故障部件（故障修复时间）。
- d) 执行维修后测试，包括开车，为引入烟气（功能检查时间）做好准备。

应通过故障分析明确由于技术故障和相关延误导致停车的根本原因。

维修时间的评估应排除由于外部影响（包括技术要求以外的影响）导致的任何相关延误或其他停车时间。

后勤延误由外部影响决定，不计入停车时间。RP宜足够长，以覆盖一个或多个预防性维修周期。

表1 停车时间和维修时间详细信息

总恢复维修时间											
可用时间			停车时间								
工作时间			不工作时间								
预防性维修时间				恢复时间						故障检测 时间	管理延误
				修复性维修时间							
维修时间											
后勤延误	有效预防性维修时间			有效修复性维修时间				后勤延误			
	技术延误	预防性维 修时间	功能检查 时间	技术延误	故障定位 时间	故障修复 时间	功能检查 时间				

8.3 维修策略

维修策略可根据 IEEE 标准902明确预防性维修工作顺序规则。预防性维修涉及两个方面：视情维修和停车大修，分别在下文的 a) 和 b) 中进一步说明。预防性维修可提高操作可用性并降低了修复性维修的频率。平均预防性维修时间 (MTPM) 由维修策略决定，根据计划的设备可维修性确定。预防性维修的有效性可根据修复性维修事件的频率衡量。

可采用两种预防性维修方法：

a) 视情维修

基于确定会出现的故障的维修，又称为基于具体情况的维修或以具体情况为准的维修。依赖于对 PCC 装置工况的充分监控，以最小化或避免故障的影响。通过缩短预防性维修计划中制定或执行纠正措施所需的停车时间以及通过调整停车时间实现该目的，从而避免出现计划外停车。

b) 停车大修

在设计阶段制定停车大修计划，旨在避免 PCC 装置后期出现故障或计划外停车。它通常基于维修历史，并结合性能监测结果和其他设备状况指标。可确保下一次计划检查或识别新出现的故障状态之前，装置性能满足要求。

9 可用性报告关键性能指标 (KPIs)

9.1 通则

本章提供了以运营商 (CO₂ 生产商) 的角度来看的 PCC 装置“可用性报告”的下列关键性能指标 (KPIs)。

- a) PCC 装置产能可用度 (PCA) (参见 9.2)。
- b) CO₂ 产率 (PCPB) (参见 9.2)。
- c) 计划符合性 (SC) (参见 9.3)。
- d) 时间可用度 (TA) (参见 9.4)。
- e) 运转率 (OSF) (参见 9.5)。

下文给出了关键性能指标 (KPI) a) 至 e) 的总体说明和相关信息。

1) 与 CO₂ 产量相关的所有术语定义如下：

——PCC 装置负载定义见 3.1.23。

——额定产能 (NC) 通常作为 PCC 工厂整个服务生命周期的评估基础。在性能测试确定该数值之前，根据制造商的合同协议使用订购或典型的设计值。

——基准期的总额定产量作为计算基础。使用公式 (4) 确定总额定产量。

——产品 CO₂ 产量定义为 RP 内由主电厂提供 CO₂ 所产生的产品 CO₂ 累计量 [t]。

- 2) 可分别使用公式 (3)、(11)、(12)、(1) 和 (13) 计算上述关键性能指标 (KPI) a)、d)、b)、c) 和 e)。公式中使用的每项术语可以通过汇总实际操作图 9 至图 12 所示的每个 KPI 的相同定义的阴影部分或时间段 (使用图 8 相同标引序号说明标记) 来确定。附录 F 中的表 F.1 给出了简化的计算表格作为计算每个 KPI 的示例。

计算所有阴影部分的数值时，纵轴标引序号说明 3 由“PCC 装置负载 [%]”转换为“PCC 装置产能 [t/h]”。

尽管在长期运行情况下 PCC 装置具有一定的负载上升速率，但在计算各 KPI 时，PCC 装置的负载变化仍被认为是逐步 (瞬时) 发生的，相比基准期 (RP) 其负载变化的瞬态期可忽略不计。

- 3) 图 8 显示了将累计的 CO₂ 额定产量 (NPC) [t] 分解为不同定义下的产品 CO₂ 量，如根据 PCA 和 PCPB 的不同状态下是否生产的产品 CO₂ 量。

- 4) 原则上，KPI a) 到 e) 在各自的公式里应用不同定义的产品 CO₂ 总量。PCA 在针对不可用性的公式 (5) 中应用了每个定义的等效小时。

等效小时指以额定产能（NC）达到规定CO₂产量所需的小时。

- 5) 附录D 可有助于根据图8对各种负载模式进行分类，考虑到各种外部影响以及与PCC装置可用性和PCPB有关的PCC装置的状态。这为9.2中各公式提供了参数。
- 6) SC参照9.3中用于检查PCC装置是否达到CO₂计划产量（SPC）[t]，可评估RP内与装置目标产量的偏差平衡。如果相关利益相关方（如烟气供应方和/或CO₂输送方）接受超额负载，则可以通过其补足与装置目标产量之间的差距。
- 7) TA参见 9.4，代表了基于排除外部影响因素的运行时间（参见 3.1.7）的KPI。
- 8) OSF参见 9.5，可评估PCC装置生产产品CO₂的时间，重点关注运转期。
- 9) 各KPI都不包括季节性降额的影响[公式（5）中的ESEDH]。
- 10) 对于PCC装置可实现性，参见附录E，通过去除SC中的外部影响和预防性维修，评估PCC装置的完整性。

9.2 PCC 装置产能可用度和 CO₂ 产率

使用5.3公式（3）表示装置产能可用度（PCA）（累计基准期（RP）内的所有参数）。图8通过标引序号说明26和27分别表示未产出的CO₂（PCNP）和CO₂额定产量（NPC）对应的PCA。

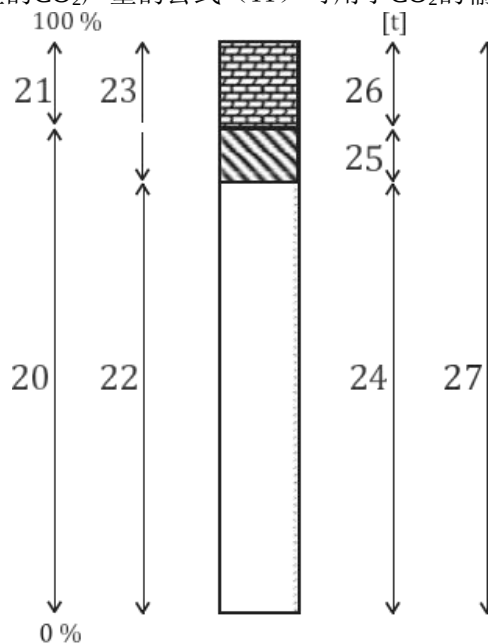
CO₂产率（PCPB）是二氧化碳产量与累计的总二氧化碳额定产量（NPC）之间的比值（[公式（11）](#)所示）。

$$PCPB = \frac{PR_{PCP}}{PR_{NPC}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

- $PCPB$ CO₂产率，单位为百分数（%）；
 PR_{PCP} CO₂产量，单位为吨（t）（标引序号说明24）；
 PR_{NPC} 根据公式（4）计算（标引序号说明27）。

图8通过分别对应于产出的CO₂（PCP）和CO₂额定产量（NPC）的标引序号说明24和27说明了的CO₂产率（PCPB）。针对PCC装置的CO₂产量的公式（11）可用于CO₂的输送。



标引序号说明：

- 20 PCC装置产能可用度，单位为百分数（%）
- 21 PCC装置产能不可用性，单位为百分数（%）
- 22 CO₂产率，单位为百分数（%）
- 23 CO₂未产率，单位为百分数（%）

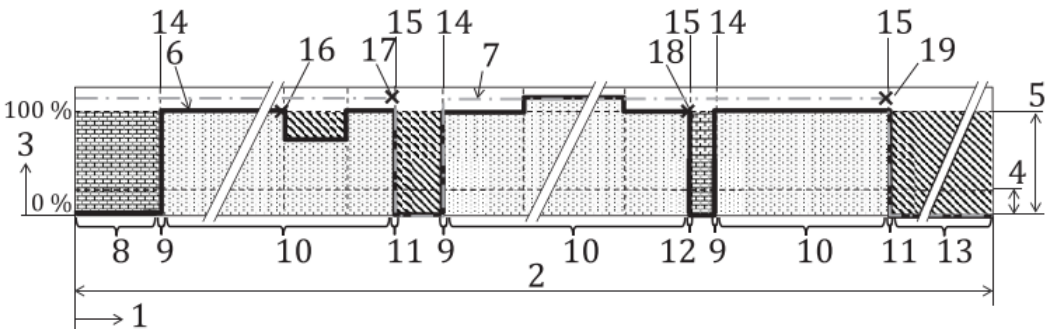
- 24 CO₂生产量，单位为吨（t）
 - 25 PCC装置可用时CO₂未产量，单位为吨（t）
 - 26 PCC装置不可用时CO₂未产量，单位为吨（t）
 - 27 累计CO₂额定产量（NPC）（CO₂额定产能（NC）和基准期（RP）的乘积），单位为吨（t）
- 注：基准期内CO₂产量的所有参数都要被累计。

图8 PCC 装置产能可用度（PCA）和 CO₂ 产率（PCPB）示意图

如图9（PCC装置的运转中负载依据PCC装置的运行时间记录）所示，考虑各种负载模式的PCC装置实际状态由图8所示各阴影部分片段覆盖。

计算关键性能指标（KPI）时，参见9.1，2）。

实际上，负载变化呈快的速下降表示了PCC装置的负载上升或下降。



标引序号说明

- 1 PCC装置运行时间，单位为小时（h）
- 2 基准期，单位为小时（h）
- 3 PCC装置负载，单位为百分数（%）
- 4 最小负载，单位为百分数（%）
- 5 额定负载，单位为百分数（%）
- 6 PCC装置实际负载，单位为百分数（%）
- 7 主电厂提供的CO₂实际供应率以被二氧化碳额定产能（NC）划分后的比例，单位为百分数（%）
- 8 停车时间（维修）
- 9 开车或重启
- 10 正常运行（瞬态和稳定运行）
- 11 停车
- 12 紧急停车
- 13 因外部影响停车
- 14 输出CO₂开始
- 15 输出CO₂停止
- 16 探明的会导致燃烧后CO₂捕集装置负载降低的技术异常或迹象
- 17 主电厂跳闸
- 18 紧急跳闸
- 19 主电厂停车准备的开始

图9 PCC 装置典型负载模式 CO₂ 产量和未产量（使用图 8 中的各阴影部分表示）示意图。

9.3 计划符合性

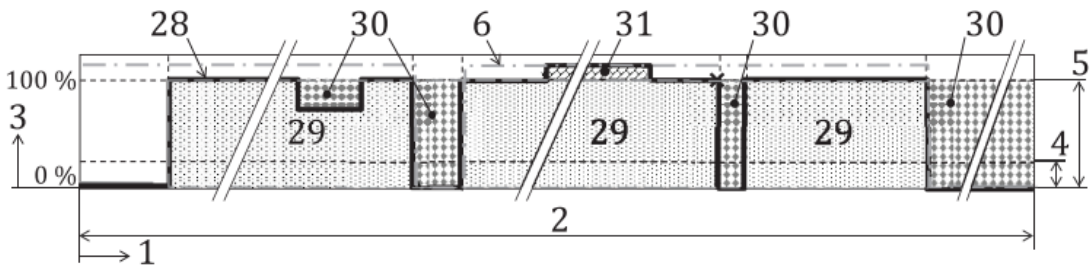
计划符合性（SC）用公式（12）表示。

$$SC = \frac{PR_{SPC} - PR_{SSPC} + PR_{BSPC}}{PR_{SPC}} \times 100 \dots\dots\dots (12)$$

式中：

SC 计划符合性，单位为百分数（%）；

- PR_{SPC} CO₂计划产量，单位为吨（t）（标引序号说明28）；
- PR_{SSPC} 相较基准期（RP）的计划产能所短缺的CO₂产量（标引序号说明30），单位为百分数（%）；
- PR_{BSPC} 相较CO₂计划产量（SPC）（标引序号说明31），超出计划产能用于补足CO₂短缺产量的额外产量，单位为百分数（%）。
- 计算关键性能指标（KPI）时，参见 9.1, 2）。



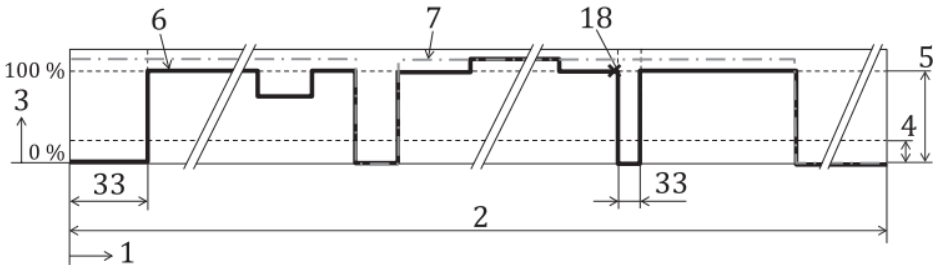
- 标引序号说明
- 1 PCC装置运行时间，单位为小时（h）
 - 2 基准期，单位为小时（h）
 - 3 PCC装置负载，单位为百分数（%）
 - 4 最小负载，单位为百分数（%）
 - 5 额定负载，单位为百分数（%）
 - 6 PCC装置实际负载，单位为百分数（%）
 - 28 CO₂计划产量，单位为吨（t）
 - 29 CO₂产量（包括标引序号说明31标记出的阴影部分），单位为吨（t）
 - 30 二氧化碳短缺产量，单位为吨（t）
 - 31 超过计划产能的额外产量，以弥补相较于计划CO₂产量（SPC）的CO₂短缺产量，单位为吨（t）

图10 计划符合性（SC）示意图

9.4 时间可用度

时间可用度（TA）系指基准期（RP）长度减去PCC装置不可用时间（UT）各元素总和后的差值与基准期（RP）之间的比值，如5.3公式（1）所示。

分别用图11中的标引序号说明2和标引序号说明33表示基准期（RP）和不可用时间（UT）。通过求和不可用时间（UT）各元素（标引序号说明33）来计算实际运行不可用时间（UT）。



- 标引序号说明
- 1 PCC装置运行时间，单位为小时（h）
 - 2 基准期，单位为小时（h）
 - 3 PCC装置负载，单位为百分数（%）
 - 4 最小负载，单位为百分数（%）
 - 5 额定负载，单位为百分数（%）
 - 6 PCC装置实际负载，单位为百分数（%）
 - 7 主电厂提供的CO₂实际供应率以被PCC装置的CO₂额定产能（NC）划分后的比例，单位为百分数（%）
 - 18 紧急跳闸

33 不可用时间（即停车时间），单位为小时（h）

图11 PCC 装置时间可用度（TA）示意图

9.5 运转率

运转率（OSF）用公式（13）表示。

$$OSF = \frac{T_{OST}}{T_{RP}} \times 100 \dots\dots\dots (13)$$

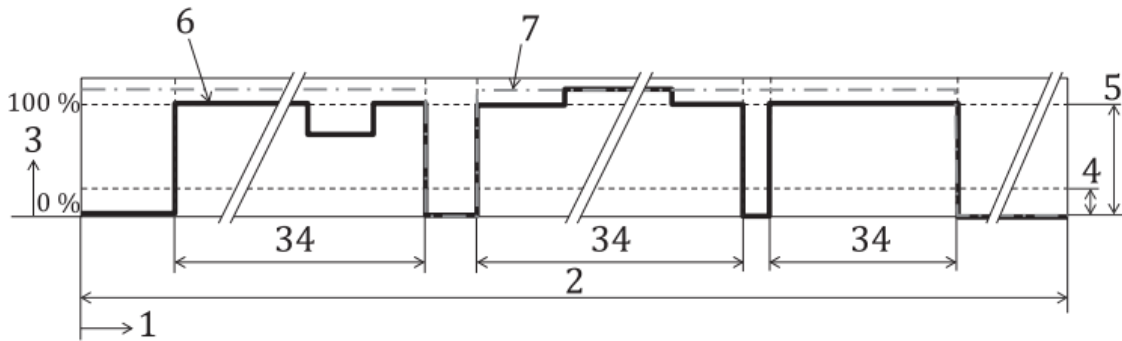
式中：

OSF 运转率，单位为百分数（%）；

T_{OST} 运转时间（OST）各要素总和，单位为小时（h）（标引序号说明34）；

T_{RP} 基准期，单位为小时（h）（标引序号说明2）。

分别用图12中的标引序号说明2和标引序号说明34表示基准期（RP）和运转时间各要素总和（OST）中的元素。实际运行中运转时间各要素总和（OST）的值可通过总结图12中定义的正常运转时间（开始和停止生产CO₂生产之间）的各要素获取。



标引序号说明：

- 1 PCC装置时间，单位为小时（h）
- 2 基准期，单位为小时（h）
- 3 PCC装置负载，单位为百分数（%）
- 4 最小负载，单位为百分数（%）
- 5 额定负载，单位为百分数（%）
- 6 PCC装置实际负载，单位为百分数（%）
- 7 主电厂提供的CO₂实际供应率以被PCC装置的CO₂额定产能（NC）划分后的比例，单位为百分数（%）
- 34 运转时间，单位为小时（h）

图12 PCC 装置运转率（OSF）示意图

附录 A

(资料性)

确保并维持电厂内燃烧后 CO₂捕集装置性能稳定的详细评估程序

A.1 范围

评估程序包括6个工艺步骤，要求确保并维持燃烧后二氧化碳捕集（PCC）装置性能稳定。为帮助理解，参见4.5和图2。

A.2 工艺步骤1——PCC 装置定义

PCC装置定义由工艺配置、与主电厂的接口、外部环境、公用设施和下游设施以及性能要求决定。参见 6.2。

A.3 工艺步骤2——初步设计阶段

A.3.1 引言

若应用规范在运行经验范围内或研发结果符合应用规范，对设计和尺寸参数的审查依据工艺流程、主要部件规格和其他子系统设计基础。该步骤由下列项目组成，分别汇总于A.3.2 和A.3.3。

- 根据所选参数审查设计可靠性的初步设计阶段。
- 设计可用性的规范和预测。

A.3.2 根据所选参数审查设计可靠性的初步设计阶段。

A.3.2.1 技术说明

宜在与供应商签署的合同中说明和记录指定使用的技术，作为评估的一部分，这取决于A.2中项目应用的设计的不确定性，如下所示：

- a) 项目说明所需资料：
 - 1) 详细的技术设计资料，包括所需的数据、图纸和其他足以评估成熟度的相关材料；
 - 2) 功能、预期用途和性能期望说明；
 - 3) 验收标准，包括性能要求以及与选择或计算相关的设计条件参数和假设。
- b) 设计资料见下列文件。
 - 1) 初步工艺流程图和质量与热平衡（M&HB）表。工艺流程图表明了为实现所需功能而选择的项目单元之间的关系。M&HB表涵盖了流量、成分和工况。
 - 2) 带尺寸的初步设备清单。包括所有具有主要规格的设备标识，并基于所有主要部件提供装置的总占地面积。
 - 3) 初步设备或机械数据表。汇总了项目的性能和其他技术要求。由多个工程领域专业或专用设备供应商进行制造详细设计时，也需提供该资料。

A.3.2.2 总体设计性能评估

通过审查以确定设计参数的应用规范是否在先前的经验值范围内，参见B.1.3。

筛选6.2中的所有信息，以确定并列出B.1.2中的参数。核对信息以确保初步设计数据完整，并澄清任何涉及运行需求的遗漏项。待评估的参数有1) 接口条件和 2) 性能要求，包括6.2 a) 中确定的参数。

经评估分析，宜将各个项目与参考装置或类似装置中的有效运行情况进行比较。宜按照功能划分指明评估范围内除简单组件之外的整个系统或组件。为此，宜将整个PCC装置分成工艺单元及其边界条件，并明确功能要求，以便与类似装置比较。

若工艺单元等级不足以与参考装置的同等部分进行比较，则将各项目再细分为受控的技术模块，可包括任何新组合或集成。宜能根据下列指标评估不确定性时进行分析：

- 功能；
- 组件及其详细信息（如有必要）；
- 组件之间的内部接口以及组件外露条件；
- 内部集成系统。

A.3.2.3 部件设计性能评估

通过工艺功能划分评估组件性能，包括下列内容。

- a) 评估设备选型方法，以确认参考装置先前采用的标准是否有效。应评估根据经验更改尺寸参数的情况。
- b) 评估设计参数的应用规范，以确认是否在先前的经验值范围内。包括供应商提供的项目。
- c) 评估各组件的尺寸和规模放大比例，对PCC性能和其他经验证的工艺设备至关重要。如果尺寸或扩能比例不在经验值范围内，可考虑设置多个单元。

A.3.2.4 创新技术项目

采用功能分区确定并分析创新项目。

将根据从其他非PCC应用中获得的经验或通过分析和推断研发结果评估创新项目的性能。所获得的性能结果将与当前应用且经验证的技术项目的性能结果进行比较。

A.3.3 设计可用性的规范和预测

A.3.3.1 概述

考虑到整体经济效益，PCC装置的设计宜符合可用性目标。可以在设计阶段根据其他装置先前的运行经验确定可用性。若缺少可用性信息，可采用冗余设置和/或增加项目容差以及提高可维修性作为补偿。设计时需考虑到预期发生的不利工况。制定维修策略以最大限度地减少平均修复时间（MTTR），将重新启动所需的时间纳入运行策略。宜编制有关A.3.3.2 a) 项目可用性和可靠性和A.3.3.3 中冗余/容差策略方面的设计内容。定量可用性分析（参见 A.5）应与 A.3.3.2 c) 中的设计程序一起计算。

A.3.3.2 可用性、可靠性和可维修性的共同点；

- a) 按项目确定可靠性

参见B.2。

- b) 可用性特性

宜根据预期会发生的不利工况的设计确定PCC装置的可用性。此外，需要在设计阶段制定维修策略以最大限度减少MTTR，将重新启动所需的时间和（维修策略规定时间）纳入设计和运行策略。

可采用两种方式计算设计阶段的可用性：公式（1）中的时间可用度（TA）和公式（3）中的装置产能可用度（PCA）。通常在设计阶段，工程师选用TA公式。实际上，基准运行的负载模式（即PCC装置按照额定产能运行且不削减产量）宜适用于设计阶段的负载。上述两个定义具有下列特点：

TA与可用产能无关，TA通常大于PCA。由于TA容易确定，因此适合将TA与其他装置进行比较。

评估公式（3）中的PCA时，需考虑下列因素：

- 季节性影响（如冷却水温度变化），可能会形成影响燃烧后二氧化碳捕集（PCC）装置性能的外部环境。在这些情况下，通常将年平均产能视为不受外部影响的额定产能。
- 为了阐明正常运行期间的可用性，计算可用性时不考虑超出额定产能的过剩产量。宜在公式（12）计划符合性（SC）中评估该产量。

c) 可用性设计的应用

运营商将明确可用性目标，技术供应商将提供指导，说明如何根据维修策略最好地实现该目标。PCC装置可用性设计程序如下所示：

- 1) 根据运营商的维修策略，应明确下列三项内容：
 - 可用性目标；
 - 预防性维修的持续时间要求；
 - 连续运行的持续时间要求。
- 2) 技术供应商计算连续运行期间的可用性需求，明确PCC装置项目的可靠性和可维修性要求。
- 3) 为实现运营商设定的可用性目标，技术供应商宜遵循本文件中的程序。若从技术或经济角度分析无法实现该等目标，技术供应商与运营商可与运营商协商找到满足上述 1) 中所列3个要求的最佳方案。

A. 3. 3. 3 组件容量和装置性能的冗余/余量策略

a) 冗余设置

一些组件设计有冗余，而其他组件应设有操作裕度，为减轻故障模式影响，组件的实际生产率应大于下列提取（或计算）的规定生产率。

- 备用组件。
- 组件容量余量或装置性能裕度。

备用冗余指某个项目处于备用状态，仅在运行项目发生故障时才运行。当相同项目按要求运行时，余量或性能裕度可灵活提供附加产能。

根据业主要求，宜尽量减少使用备用组件。

b) 备用冗余设置

备用组件和子系统提高了可靠性和可用性，这取决于其在应用条件下的原始值，但会增加安装和维修成本。在这种情况下，即使PCC装置故障导致停车，也宜考虑 4.1 c) 中的假设，。

若构成浪费，可不提供备用关键设备，但不限于下列情况：制造商无法提供备用关键设备且备用关键设备无法替代；备用关键设备制造周期长，不易获得。

c) 组件容量和装置性能余量

宜按照适用标准、行业惯例或由供应商设定容量裕度，以减轻运行不确定性。宜由各方通过以下协议商定设置更大的裕度。宜进行总体控制，以避免在整个项目中叠加设计裕度。

宜根据通用标准和/或组件或工艺部件的具体经验（由供应商获得），对组件结垢或工艺部件性能退化以及使用时间留出裕度，以在规定时间内维持其性能。

针对运行经验有限的技术项目，所设定的不确定性裕度宜随运行时间的增加减少。

若评估的项目可靠性不可接受，则需要尽早开始重新设计或更换，以确保可靠性有所提高。

通过可靠性计划规划和监测，宜在调试后确定组件的实际裕度。宜通过A. 3. 3. 2中所示的定量可用性分析，根据可靠性测量数据从优化的角度进行重新评估，参见B. 2。

在某些情况下，裕度会掩盖组件缺陷，或者可能会将导致维修延误。

A. 4 工艺步骤 3——运行阶段

对（PCC工艺）的维修和监测应作为可靠性能的证据（参见第7章、第8章和第9章）。

通过第9章不可用性分析确定偏离设计的根本原因，并可根据设计、运行或维修的经验反馈帮助提高PCC装置的可靠性。从不可用性分析结果中获得的经验教训数据库可证明技术的成熟度。

A.5 工艺步骤4——可靠性、可用性和可维修性（RAM）分析

A.5.1 概要

在该步骤中，通过目标定量评估确定可达到的最佳可用性。子系统和组件设计要求的主要目标明确了各组件的最佳可靠性和可维修性。

可靠性、可用性和可维修性（RAM）分析是一种公认的方法，可有效评估PCC装置，无论是在设计阶段还是在运行阶段。如果研究过程中PCC装置满足初始性能要求，详细信息参见参考文献[5]。

RAM分析可以在初步设计中得出下列结论。

- 可通过商业运营论证并验证结论，评估是否达到预期的可用性目标，包括运行阶段的项目周期和运行使用期。
- 对于创新项目的设计，对已安装组件的可靠性和可维修性要求的定义提出建议，以在规定的时间内实现规定的可用性。
- 对项目识别，克服临界限制的最佳设计变更以及对可靠性不足项目设计变更影响的定性评估提供建议。

进行RAM分析时，需考虑下列内容：

上述评估假设PCC系统是一组设备，具有经过验证的跟踪记录以获得具体数值，并且不会受到创新设计的影响，基本上目前正在研究的PCC装置满足初始性能要求。

- 如果明确了PCA目标，则PCC装置（6.2）、初步设计信息（A.3）、负载模式（第7章）和维修策略（第8章）中所示的相关条件应与组件容量和装置性能的冗余/余量策略（A.3.3.3）一致，以便通过迭代方式修改这些策略，以应对创新项目中的潜在挑战。
- 若根据先前的经验更改配置，则需要检查设计参数以确保性能可靠。
- 解决技术不确定性后，宜尽快对燃烧后二氧化碳捕集（PCC）装置进行定量分析，以确认是否已实现可用性目标。

A.5.2 可靠性输入数据

RAM分析模型要求提供经验数据，如需要输入的故障频率、故障场景和项目故障后果。

通常情况下，缺乏有关燃烧后二氧化碳捕集（PCC）装置足够的测量数据进行RAM分析。

宜从PCC装置项目的运行经验中获取项目可靠性和性能退化数据。特别是针对项目，有必要根据最佳工业实践进行定性评估，参见B.2、6.2和A.3.2，并考虑下列内容。

a) 经验验证的项目

处理经验验证的技术元素，确保符合适用标准或行业惯例。

已知组件的历史数据和采用相似或相同工艺的参考装置的相关知识应作为基础。

已知组件的数据可从公共数据库获得，其中机械电气故障信息是从工业设备组件的服务记录相关信息中收集的，如B.2.2所述。

b) 创新项目

该类数据不易获得。

如果目前正在研究的PCC装置的设计数据明显偏离参考装置的运行经验或类似经验，则应分析差距以准备输入数据（包括可靠性），以便在工艺步骤6中分析RAM。用于评估创新项目可靠性的有用信息源是附录C中的技术鉴定（TQ）程序。

分析人员必须访问不同的信息源才能找到创新项目所需的相关数据，参见附录B。

c) 故障场景

建立适用于PCC装置的故障场景，需要了解所用工艺和设备。考虑到许多运行情况，宜从可靠性的角度来检查系统设计。分析人员还可访问不同的信息源，以了解评估应用技术所需的参数和故障机制，参见B.3.2.2。

A.5.3 分析

RAM分析的结论确定了对实现性能目标至关重要的安装内容。若使用B.2和B.3中收集的数据，实际效用也主要取决于经验证的技术项目和创新技术项目的装置组成。

宜按照冗余和余量策略以及可能直接采用的对策提高创新项目的可靠性，参见B.2。

A.5.4 维修期间RAM分析

RAM分析将在定期检查或检修时提供最佳维修的建议，以完成目标和维修，从而减轻创新项目引起的装置性能风险。

A.6 工艺步骤5——对关键因素和故障机制的研究

A.6.1 概要

可根据常见且可能需定期查看的相关关键因素以及各故障模式的故障机制评估未经验证的项目。

仅从实际运行经验或经验证的工业装置类似经验无法直接获得创新技术风险管理的证据时，可通过分析经验/知识与研究设计之间的相关参数值的差异获取证据。对于未经验证的项目，由于参数值与经验值之间存在偏差，宜从规避风险的角度进行分析。宜了解可能采用的故障机制和使用其他信息源时所采取的对策，从而完成分析。除了常规证据外，为了准备附录B中的证据，还需要获取可靠安全的信息源。

注：在该步骤，不一定认定创新项目未经验证。

A.6.2 程序

- a) 工艺步骤2至4中有关PCC装置的数据可能不够，研究这些数据可明确是否适用于创新项目。在这种情况下，评估方在PCC装置方面的经验有所不足，需研究下列项目以论证上述结果。
- b) 实际使用PCC装置时，需考虑可能影响PCC装置可靠性的关键因素及其对策，尽可能从规划阶段便纳入考虑范围，从而防止发生相应故障。
- c) 设计时需考虑监测位置或检查点，以便在PCC装置运行期间获得可靠数据，运行后宜增加维护，以评估和应对可能导致PCC装置性能退化或停车的事件。
- d) 确定可能会降低PCC装置可用性和可靠性的常见问题及其对策和解决方案。
- e) 在该阶段，有必要访问可靠和安全的信息源，以确认是否无法找到提供有关故障模式置信度的证据，宜在工艺步骤6中获取。

A.7 工艺步骤6——鉴定研究

A.7.1 概要

在该步骤，汇总了无法通过上述工艺步骤管理的创新项目的研究结果，在分析与对策相关的风险和故障机制后，明确和协助准备证据，以确定创新项目的可靠性。

A.7.2 程序

可靠性数据提供程序（证明在规定工况下按要求运行）如图C.1所示，其作为指导原则，主要针对创新项目。尝试量化并在需要时根据生成的证据提高其可靠性，如下所示：

- f) 评估基础（图C.1鉴定基础）应主要基于工艺步骤1中的信息进行细化；
- g) 技术项目分类（图C.1技术评估）：工艺步骤2中确定的创新项目应按照附录C进行详细说明；
- h) 从工艺步骤6开始，成功完成威胁评估；
- i) 根据总体评估计划选择评估方法（图C.1鉴定计划）；
- j) 数据收集：证据收集（分析和测试）（参见图C.1计划执行，参见工艺步骤2和工艺步骤5）。

评估证据是否满足评估基础（参见B.3.2.1）设计依据和图C.1性能评估要求。使用收集到的数据，分析项目/工艺单元和PCC装置的总可用性，并反馈到工艺步骤4并与决策标准比较。若PCC装置的可靠性无法完全满足性能要求，重复步骤a)到e)，直至符合决策标准。

创新项目（通常未制定有关成功运行的相关要求）或不符合要求的不确定性高或不可接受的项目，若符合鉴定研究时制定的技术要求，可应用于商用装置。

若项目尚未完成鉴定及最终验收，建议在可以实现所需功能的情况下使用经验证的技术项目替换，或者减少该技术的运行范围以确保足够的性能裕度。

A.8 维修支持信息

可达性是设计阶段需要考虑的一个关键因素，表示提升和安装组件以及对齐和测试组件的能力。

维修支持系统或规定，包括技术出版物（如检修程序和维修手册）、备件、维修人员及其培训、可测试性、维修数据采集系统和维修配套工具。由运营商主要根据供应商提供的信息进行定制。

关于供应商和运营商的责任，参见GB/T XXXX(ISO 3977-9)，包括维持组件预期使用寿命、涂层寿命和检查间隔的技术要求，以确保设备处于安全可靠的状态。应研究该问题，以了解其如何受主电厂负载模式和燃料类型的影响。

宜在制造和运行阶段确认固有可维修性。

在收集、分析和反馈维修数据的基础上，宜根据供应商的建议确认PCC装置的维修和设计改进的有效性评估结果。

附 录 B
(资料性)
参考装置及其部件运行经验

B.1 概述

B.1.1 概要

本条涉及a)至d)，利用参考装置及其组件的运行经验、行业中经验证的类似/相同技术完成应用技术从试点到全面投运的研发活动：

- a) 通过工艺步骤2(A.3)获取的信息，以确定创新项目(参见B.1.3)；
- b) 工艺步骤4(A.5)中使用的数据，以分析可靠性、可用性和可维修性(RAM)(参见B.2)；
- c) 性能监控(参见B.2.3)工艺步骤3(第7、8和9章)工艺步骤3建议(参见B.2.3)；
- d) 通过工艺步骤5(A.6)和6(A.7)获得的信息(参见B.3.1)。

B.1.2 关键参数列表

以迭代的方式划分技术项目A.3.2.2，应按照下列内容分析各项目。

- a) 如果属于设计所需的信息，影响运行和性能要求中关键问题的重要设计参数被定义为关键参数或所应用的关键设计参数。关键参数表汇总并涵盖所有此类项目。
- b) 应根据A.3.2.2中的程序确定给定参数的可接受范围，以识别新项目，其中影响当前设计的关键参数的选定规格超出了该范围。
- c) 根据技术成熟度无法理解部分关键参数，应与可能发生的故障和采用的故障机制相关。如果由于缺乏有关该等影响的数据/知识而导致技术项目要求有误或缺失，则可能出现影响多个性能项目的难题。
- d) 应建立与工艺步骤2(A.3)中所确定创新项目相关的关键参数。单个项目的具体关键参数可能适用于另一个相关项目，应以迭代方式检查整个PCC装置的具体关键参数。

有关示例，参见表G.1和表G.2，作为创新项目及其在PCC装置中的位置(系统)进行分类的矩阵。

B.1.3 数据获取

- a) 从PCC装置经验报告或相关类似设备和工况的文献中收集的信息包括挑战和不确定性，参考工艺步骤1、2和3检查所收集的信息以降低风险。
- b) 如果包括新项目，则应根据公认的模拟器、手册或文献，按照工艺步骤2对运行前性能进行数字校验。结果仅限于检查与产能相关的关键参数，以及主要的设计参数，如气液速度和传热传质系数。
- c) 最好能够获得精确、可靠的数据，这些数据记录了在大型商用装置中提高可靠性能的因素。如果可能适用于所应用的技术，则应明确或列出实际PCC装置的运营商或技术供应商提交供审核的数据。
- d) 使用技术运行经验作为满足要求的证据时，应参考使用该技术的运行条件、设计参数、环境条件或应用(系统特性)。这些经验可追溯且可供分析人员使用，以免给出错误解释。
- e) 通常，考虑到运行中可采纳的设计，则通过工艺步骤3获得的相关经验数据可成为有用的证据来源。

B.2 经验证工业装置组件数据使用指南

B.2.1 经验证工业装置组件数据中关键参数输入

可参考采用经验证技术的行业知识和经验。应根据A.3.2.2和A.3.2.3中的程序分析运行经验，以确认所使用的参数在此范围内。输入示例如下所示。考虑到附加要求或不同应用领域，可能仅保留创新项目的部分要素。

- a) PCC装置的预处理部分通常与空气质量控制（AQC）装置的预处理部分相似，只是对处理过的烟气中的杂质和雾滴浓度有严格限制。AQC在大规模工厂的应用中有许多参考案例，可以根据空气质量控制（AQC）经验进行评估。这些领域内的关键参数应由该行业的专家验证。
- b) CO₂压缩在化学或气体处理装置中用途广泛，装置（还包括相应组件）可达到大规模生产能力。在PCC装置再生器的下游位置，CO₂可能会夹带雾滴以及微量烟气成分，其具体影响尚不清楚。
- c) 因为供应商对液体和气体的局部速度的均匀性以及考虑液体性质变化的方法具有丰富的经验，塔内部规格可能与化工装置的规格相同。
- d) 应按类型根据化工行业标准设计换热器。对于大型装置和满载运行的装置，具体问题会扩大。针对相关组件随时间变化性能退化、污垢和腐蚀等问题，采用过滤系统等技术缓解运行过程中的上述问题。

B.2.2 评估经验证的工业装置部件数据库的质量

本条作为工业装置组件数据利用指南，引自公共开放数据库（除特定供应商在技术评估研究中与PCC装置相关的经验外）。

相关特定行业的参考文献[6]、[11]和[12]中列出的数据库可作为历史数据来源。使用数据库时，应检查所有可用数据，以确认并非故意排除数据而不做评价。此外，可通过具有运行经验的装置供应商或为其提供相关设备的供应商找到相关数据。

评价可靠性数据的质量时，应考虑以下几点：

a) 数据库可用数据的质量

数据质量取决于与数据收集有关的许多因素；分析人员可以根据可用信息的完整性对数据进行优先级排序。

b) 数据库结构的质量

数据库的质量与其一致性有关。有关质量数据库的最佳实践和建议的更多详细信息，参见ISO 14224。根据ISO 14224，数据库通常可获得一些重要信息以获得高分，包括系统边界、故障模式、故障次数、操作和操作日历时间，以及系统特性的描述，如设计参数、运行条件、预防性维修和环境条件。

c) 数据库中数据的相关性

数据库数据源可靠性的相关性和最终评估结果应取决于数据的预期用途。对于一项分析而言相关且足够的信息可能不适合更详细的分析。

可靠性数据可能存在很大差异，具体取决于选定的特定数据集，只能根据极少量信息从所有组的大量故障中选择数据集。

B.2.3 性能监控

性能监控是衡量、维持和改进PCC装置可靠性、产能和维修计划的一项全面长期工作。

ISO/TR 27912:2016 可用作分类评估的参考，如参见7.6。

可在理解ASME PTC-PM-2010^[4]第1节的基本概念后进一步查阅该标准。按下列各小节列出指南。可以在参考文献[4]示例中看到PCC装置常见组件的描述，主要适用于电厂辅助设备部分。热耗率可解释为CO₂的比热需求。

- a) 参考文献[4]2.1 中的方案规划。
- b) 参考文献[4]2.2 中的仪表仪器。
- c) 参考文献[4]2.3 中的性能监控。应引入 PCC 装置的各项技术特性。

B.3 PCC 装置及其组件的具体项目

B.3.1 概述

本节提供了关于选择特定于PCC装置的装置组件数据的指南。

B.3.2 用于评估可靠性和可用性的各主体项目

B.3.2.1 性能评估

评估的目的是确认其作为可靠运行(不包括目标可靠性)的一部分的性能与设计基础中的规定一致。进行性能评估以量化技术的整体性能,根据运行前后设计基础中的各验收标准检查裕度。明确性能测试程序,参见GB/T XXXX-1(ISO 27919-1)。

B.3.2.2 支持性信息

本条说明了基于当前知识水平的关键问题。然后,相关领域的信息已作为文献和运营商报告进入公共领域。表B.1说明了工艺步骤5和6中PCC装置的主题和检查项目。

该分析旨在发现故障机制,以确定建议访问或与传达专有信息源的适当对策。

表B.1 关键问题和待检查项目

关键问题	待检查项目	对策(如果有)
腐蚀	材料、位置、尺寸、工况、运行时间以及更好地管理腐蚀问题。 需采用PCC技术,以减少溶剂降解,并优化吸收塔的进气成分,尽可能地减少烟气中氮氧化物和二氧化硫的浓度。 注: 烟气预处理区和CO2压缩区的腐蚀属于现有装置运行区,应参考相应区域的信息。 测量再沸器传热管和再沸器容器壁厚的变化。	向溶剂中加入防腐添加剂。 更改溶剂。 检查施工材料。
排放	可供参考的排放机制、测量方法、影响因素说明及预防对策。 测量再沸器传热管和再沸器容器壁厚的变化。	向溶剂加入消泡剂。 在吸收塔/解吸塔出口安装洗涤段。
泄漏	泄漏点、泄漏原因及对策。 机械密封或垫圈泄漏。	使用适当的机械密封或垫圈。
吸收剂损耗	影响因素说明及对策参考。 测量吸收塔出气成分和溶剂中的 SO4 离子浓度。	在溶剂中加入抗氧化和消泡添加剂。 在吸收塔上游安装高效脱硫系统。
换热器结垢导致效率下降	可能需要使用过滤器和采用其他对策来解决吸收剂中的颗粒物问题。	清洁换热管表面。
放大	参考大型设备、装置和组件,分析放大规律及其对性能的影响。 为了实现CO2捕集与封存(CCS)的大规模应用,保证CO2捕集与封存(CCS)的可靠性至关重要。必须建立评估标准。 已大范围采用整套PCC装置的关键组件技术,可为讨论大型商用化石燃料电厂CO2捕集与封存(CCS)提供有意义的信息。这适用于缺少大型装置运行经验。	

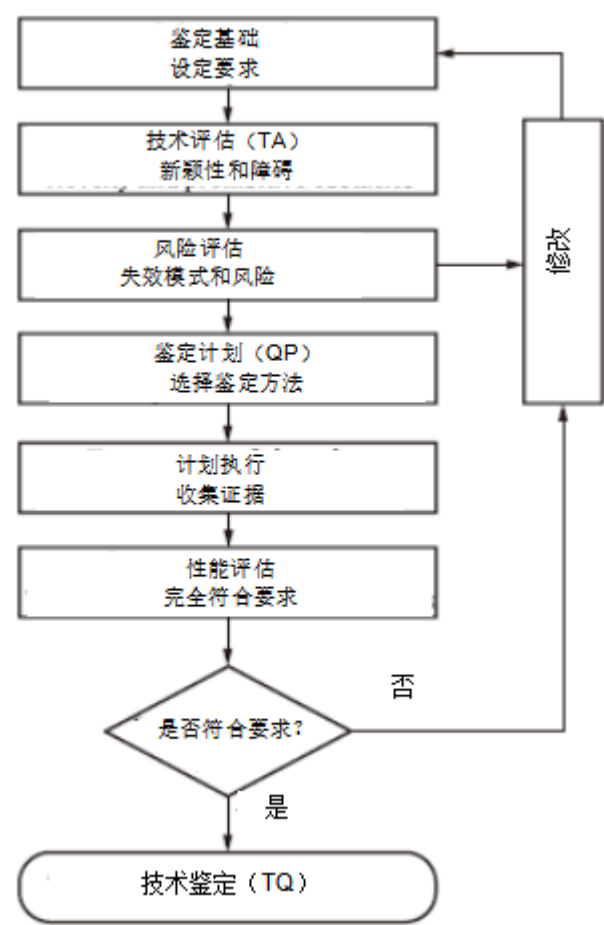
关键问题	待检查项目	对策（如果有）
起泡	溶剂性能管理系统 溶剂系统起泡可能导致水浸，引起系统故障，进而导致产品不合格、生产损失和溶剂损失。 测量吸收塔和解吸塔的压力损失。	如果压力损失增加，向溶剂加入消泡剂。 溶剂渗出，注入新溶剂。
工作区域内胺类接触	遵循环境、健康和安全（EHS）并所用化学品（包括吸收剂）的安全数据（SD）说明 环境、健康和安全方面	面罩、护目镜和防护手套 添加工程屏障以免暴露。
运行过程中CO ₂ 流的变化	更改一个或多个操作参数可能产生的不利影响。 测定溶剂中胺浓度和吸收塔中液气比（L/G）。	烟气条件恒定时，始终设置为设定值。
开车和停车	开车和停车产生的不利影响。 开车和停车之前，测量吸收塔和解吸塔中的溶剂温度。	启动前，预热溶剂并检查其温度。 停车前，停止再沸器蒸汽供应并检查溶剂温度。
与其他区域的关系	其他装置的故障或对其他装置的限制造成的不利影响。	
流量和CO ₂ 质量验证	可接受或实际变化。	
烟气中的杂质	烟气中包含的各种杂质，特别是燃煤电厂排出的杂质，可能会影响PCC工艺的可靠性和成本，这取决于其浓度和类型。 需要对一些杂质的影响进行长期评估。因此，长期可操作性和可靠性的确认对于证明该工艺的效率 and 确定商业上应用可行性大有用处。	
硬件设计	a) 选择提供良好测试结果/参考资料的溶剂供应商 b) 重复使用关键设备（如泵） c) 设计前对烟气成分有良好的了解 d) 设备设计的选择，如板式换热器紧凑高效，但与管壳式换热器相比，运行/维修更具挑战性 e) 排放监测仪器和采样系统的位置和选择 f) 汽提塔专用再沸器的合理设计 g) 重视公用系统/设计复杂性（电气系统、冷却水系统、控制系统等） h) 不得安装于潜在爆炸性环境/爆炸危险区域 i) 材料选用 j) 阀门设计（垫片和泄水塞泄漏）	基于运行经验的合理设计
性能监控位置	a) 监控装置溶剂受热侧的腐蚀情况 b) 吸收塔烟囱排放监控	
常见问题	a) 大量仪器/警报/跳闸 b) 电气和仪表系统的质量/复杂性 c) 由于材料/垫圈/设计与溶剂不兼容而导致的泄漏	

附 录 C
(资料性)
技术鉴定

技术鉴定 (TQ) 是为证明该技术 (项目) 在规定的运行限制下, 以可接受置信水平正常运作提供证据的过程。鉴定评估结果作为技术满足预期运行要求的证据报告。

图C.1说明了基本技术鉴定 (TQ) 过程。应记录各工艺步骤, 确保结论可追溯。随着技术鉴定 (TQ) 的推进, 要求的记录细节级别通常会增加。步骤之间的反馈循环意味着该工艺本质上可迭代。应考虑设计修改, 以提高除其他外性能、安全性、寿命和制备与操作便易性等。同时, 也可以修改规格。这些修改将触发基本技术鉴定 (TQ) 的全部或部分迭代, 以便满足技术鉴定 (TQ) 基础要求。DNVGL-RP-A203 给出了有关技术鉴定 (TQ) 的更多详情, 以供参考。

DNVGL-RP-A203 所述针对PCC 技术的技术鉴定 (TQ) 示例可在DNVGL-RP-J201中找到。



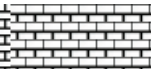
图C.1 应用于创新技术项目^[9]的基础技术鉴定 (TQ) 程序步骤

附录 D
(资料性)

第 9 章 PCC 装置产能可用度和 CO₂ 产率 (PCPB) 影响分类

关于装置产能可用度 (PCA) 和 CO₂ 产率 (PCPB), 图8和图9的计算公式标引序号说明编号所对应的项 (即 CO₂ 产量和 CO₂ 未产量) 如表 D. 1 所示。根据表 D. 1 第一列所示影响对 PCC 装置负载模式和造成上述问题的事件 (原因) 的影响进行分类。

表 D. 1 第 9 章装置产能可用度 (PCA) 和 CO₂ 产率 (PCPB) 影响分类

影响			PCC装置产能可用度		产率（PCPB）		图8和图9CO ₂ 产量指定阴影部分		PCC装置负载模式和事件示例			
装置状态	内部故障/外部影响	计划内/计划外										
可用	不适用	不适用	20		22				在PCC装置额定负载下产出CO ₂			
	外部	计划内/计划外										
	内部	计划内	20	21	22	23			在PCC装置上游供应CO ₂			
		计划外							PCC装置下游CO2具体需求量			
	外部	计划内	20		21		22		23		负载增加、负载减少等	
		计划外									一些部件发生故障导致产能下降	
外部	计划内	20		21		22		23		PCC装置上游不会供应CO ₂ ，或PCC装置下游无需供应CO ₂ ，在完成准备工作之前已知晓。		
	计划外									任何引起PCC装置上游或下游停车的事件，如CO ₂ 输送或封存设备		
不可用	内部	计划内	21		23				由于不合格无法满足性能要求（如空载，工况如空载运行），将收回的CO ₂ 排放至大气，小于PCC装置的最低负载			
		计划外							由于CO ₂ 不合格，无法满足性能药性，如紧急跳闸等任何不稳定或瞬态工况			
		计划内							修改、预防性维修等			
		计划外							不可预见的故障、维修（修复性维修）等。			
	外部	计划内	20		21		22		23		PCC装置上游不会供应CO ₂ ，或PCC装置下游无需供应CO ₂ ，在完成准备工作之前已知晓。	
计划外	任何引起PCC装置上游或下游停车的事件，如CO ₂ 输送或封存设备											

注: 有关标引序号说明 20~26, 参见图8和图9。在相同的负载模式和事件下多个标引序号说明编号共存。

附录 E
(资料性)
PCC 装置可实现性

PCC装置可达性系指从计划符合性（SC）中去除外部影响和计划内影响预防性维修后的数值，如公式（E.1）所示。可用来估计PCC装置的完整性。

$$PPA = \frac{PR_{SPC} - PR_{SSPC} + PR_{BSPC} - (PR_{UPCE} + PR_{UPCI})}{PR_{SPC} - (PR_{UPCE} + PR_{UPCI})} \dots\dots\dots (E. 1)$$

式中:

PPA PCC装置可实现性, 单位为百分数 (%) ;

 PR_{SPC} CO₂计划量, 单位为吨 (t)

PR_{SSPC} 相较基准期 (RP) 的计划产能所短缺的CO₂产量, 单位为吨 (t) (标引序号说明30);

PR_{RSPC} 超过计划产量用于补足低于CO₂计划产量的CO₂短缺产量的额外产量，单位为吨（t）。

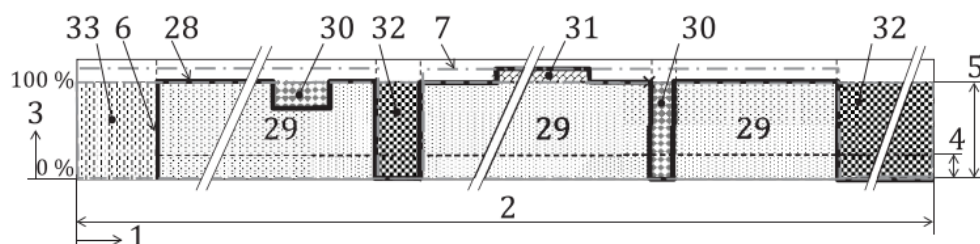
PR_{UPCE} 因外部影响造成的产品CO₂未产量，单位为吨（t）（标引序号说明32）；

PR_{IPCT} 因预防性维修造成的产品CO₂未产量，单位为吨（t）（标引序号说明33）；

通过在基准期 (RP) 实际运行过程收集并汇总图 E. 1 中使用相同标引序号说明或具有相同定义的所有阴影部分的数值获取公式 (E. 1) 中的各个参数。

请注意，CO₂计划产量（SPC）（标引序号说明28）时间段扩大到包括预防性维修期间CO₂未产量，即图E.1角落标记标引序号说明33的阴影部分，与图10相比，计算计划符合性（SC）。

计算所有阴影部分的数值时，纵轴标引序号说明3由“燃烧后二氧化碳捕集装置（PCC）负载（%）”转变为“PCC装置产能（t/h）”。



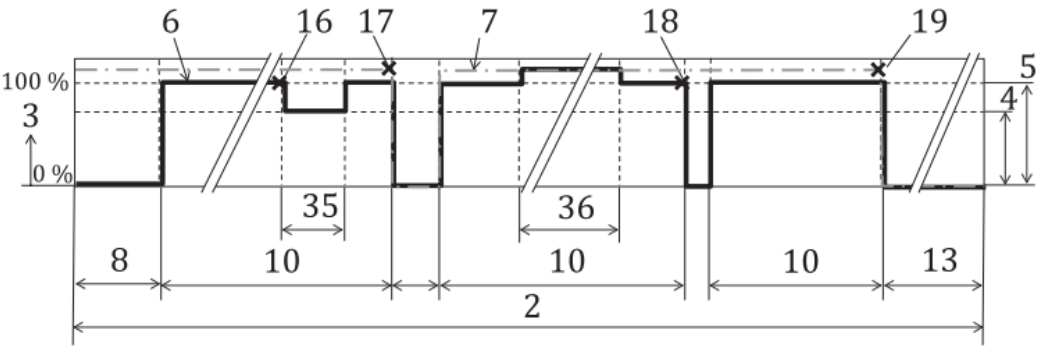
标引序号说明:

1	PCC装置运行时间, 单位为小时 (h)	28	CO ₂ 计划量, 单位为吨 (t)
2	基准期, 单位为小时 (h)	29	CO ₂ 产量 (包括序号31所示区域的CO ₂ 产量), 单位为吨 (t)
3	PCC装置负载, 单位为百分数 (h)	30	CO ₂ 短缺产量, 单位为吨 (t)
4	最小负载, 单位为百分数 (h)	31	超过计划产量用于补足低于CO ₂ 计划产量的CO ₂ 短缺产量的额外产量, 单位为吨 (t)
5	额定负载, 单位为百分数 (h)	32	因外部影响造成的产品CO ₂ 未产量, 单位为吨 (t)
6	PCC装置实际负载, 单位为百分数 (h)	33	因预防性维修造成的产品CO ₂ 未产量, 单位为吨 (t)

图E.1 PCC 装置可实现性

附录 F
(资料性)
各关键性能指标 (KPI) 计算示例

附录 F 说明了各性能指标 (包括关键性能指标 (KPI)) 的计算示例。
假设 PCC 装置根据图 6 完成如下操作, 如图 F. 1 所示。



标引序号说明:

- 2 基准期, 单位为小时 (h)
- 3 PCC 装置负载, 单位为百分数 (%)
- 4 最小负载, 单位为百分数 (%)
- 5 额定负载, 单位为百分数 (%)
- 6 PCC 装置实际负载, 单位为百分数 (%)
- 7 主电厂的实际 CO₂ 产量除以额定产能, 具体数值以百分比表示, 单位为百分数 (%)
- 8 停车时间 (维修)
- 10 正常运行 (瞬态和稳定运行)
- 13 因外部影响停车
- 16 发现一些与故障相关的技术异常或迹象, 造成燃烧后 CO₂ 捕集装置负载降低
- 17 主电厂跳闸
- 18 紧急跳闸
- 19 主电厂停车准备
- 35 PCC 装置组件异常引起的局部负载运行
- 36 超负载运转补足 CO₂ 的减少量

图 F. 1 PCC 装置运行示意图

- 基准期为 365 (天) (2018 年 1 月 1 日至 2019 年 1 月 1 日)
- $T_{RP}=365$ (天)
- CO₂ 产能 (NC) 为 1000 (t / d) = 41, 67 (t/h) 。
- $PC_{nominal} = 1\,000$ (t / d) = 41, 7 (t / h)
- 最初, PCC 装置因预防性维修停车 5 (天) 。
- PCC 装置满载 [100%] 启动并持续运行 120 (天) 。
- 但是, 由于检测到 PCC 装置组件异常, 因此已在 80 (%) 负载下运行 3 (天) 。

- 发现主电厂紧急跳闸。主电厂停车后，燃烧后 CO₂捕集装置（PCC）停运 2（天）。该段时期的工况是“备用”。
 - 重启并满载[100%]重新运行 180（天）。
 - 为了补足 CO₂的减少量，在 105（%）负载下运行 4（天）。
 - 发现 PCC 装置紧急跳闸。出于修复性维修目的维修组件，停运 1（天）。
 - 重新运行 PCC 装置，满载（100%）连续运行 50（天）。
 - 主电厂停机后，由于需要维修主电厂，PCC 装置停运 7（天）。该段时期的工况是“备用”。
- 此外，作出下列假设。
- 忽略负载增加和减少的各个周期。
 - 基准期（RP）内，PCC 装置负载不因季节性天气状况受到影响。
 - 开车 3 次，每次均成功。各性能指标和关键性能指标（KPI）计算示例如下所示。

TA

$$T_{RP} = 365 \times 24 = 8\,760 \text{ (h)}$$

$$\sum t_{\text{preventive}} = 5 \times 24 = 120 \text{ [h]}$$

$$\sum t_{\text{repair}} = 1 \times 24 = 24 \text{ [h]}$$

——代入公式（2）

$$T_{UTRP} = \sum t_{\text{preventive}} + \sum t_{\text{repair}} = 120 + 24 = 144 \text{ [h]}$$

——代入公式（1）

$$TA = \frac{T_{RP} - T_{UTRP}}{T_{RP}} \times 100 = \frac{8\,760 - 144}{8\,760} \times 100 = 98.4[\%]$$

PCA

——代入公式（4）

$$PR_{NPC} = PC_{\text{nominal}} \times T_{RP} = 41.7 \times 8\,760 = 365\,292 \text{ [t]}$$

$$T_{EPDH} = 3 \times 24 \times \left\{ \left[\left(1 - \frac{80}{100} \right) \times 41.7 \right] / 41.7 \right\} + 1 \times 24 \times \left\{ \left[\left(1 - \frac{0}{100} \right) \times 41.7 \right] / 41.7 \right\} = 38.4 \text{ [h]}$$

$$T_{EPDH} = 5 \times 24 \times \left\{ \left[\left(1 - \frac{0}{100} \right) \times 41.7 \right] / 41.7 \right\} - 4 \times 24 \times \left\{ \left[\left(\frac{105}{100} - 1 \right) \times 41.7 \right] / 41.7 \right\} = 115.2 \text{ [h]}$$

$$T_{ESEDH} = 0 \text{ [h]}$$

由于105（%）过载运行持续4（天），因此等效的计划降额小时（EPDH）应包括该影响。

——代入公式（5）

$$PR_{PCU} = PC_{\text{nominal}} \times (T_{EUDH} + T_{EPDH} + T_{ESEDH}) = 41.7 \times (38.4 + 115.2 + 0) = 6405 \text{ [h]}$$

——代入公式（3）

$$PCA = \frac{PR_{NPC} - PR_{PCU}}{PR_{NPC}} \times 100 = \frac{365\,000 - 6405}{365\,000} = 98.2[\%]$$

MTBF

$$T_{PH} = 8760 \text{ [h]}$$

$$T_{\text{RSH}} = (2 + 7) \times 24 = 216[h]$$

$$T_{\text{FOH}} = 1 \times 24 = 24[h]$$

$$T_{\text{POH}} = 5 \times 24 = 120[h]$$

$$T_{\text{SH}} = T_{\text{SH}} - (T_{\text{RSH}} + T_{\text{FOH}} + T_{\text{POH}}) = 8760 - (216 + 24 + 120) = 8400[h]$$

$$n_{\text{FO}} = 1[-]$$

——代入公式（7）

$$\text{MTBF} = \frac{T_{\text{SH}}}{n_{\text{FO}}} = \frac{8400}{1} = 8400[h]$$

SR

$$n_{\text{SS}} = 3$$

$$n_{\text{FS}} = 0$$

——代入公式（9）

$$SR = \frac{n_{\text{SS}}}{n_{\text{SS}} + n_{\text{FS}}} \times 100 = \frac{3}{3 + 0} \times 100 = 100[\%]$$

可用性

$$T_{\text{MTBM}} = \frac{[(120 + 2 + 180) + (50 + 7)] \times 24}{2} = 4308[h]$$

$$T_{\text{MDT}} = \frac{(5 + 1) \times 24}{2} = 72[h]$$

式中，平均行政管理延误（MAD）和平均后勤延误（MLD）忽略不计

——代入公式（10）

$$\text{Availability} = \frac{T_{\text{MTBM}}}{T_{\text{MTBM}} + T_{\text{MDT}}} \times 100 = \frac{4308}{4308 + 72} \times 100 = 98.3[\%]$$

PCPB

$$PCB = (120 + 180 + 50) \times 24 \times 41.7 - 3 \times 24 \times 41.7 \times \{(100 - 80)/100\} + 4 \times 24 \times 41.7 \times \{(105 - 100)/100\} = 34988[t]$$

——代入公式（11）

$$PCPB = \frac{PR_{\text{PCP}}}{PR_{\text{NPC}}} \times 100 = \frac{349880}{365292} \times 100 = 95.8[\%]$$

SC

$$SPC = (365 - 5) \times 24 \times 41.7 = 360288[t]$$

$$SSPC = (3 \times \frac{100 - 80}{100} + 2 + 1 + 7) \times 24 \times 41.7 = 10608[t]$$

$$BSPC = (4 \times \frac{105 - 100}{100}) \times 24 \times 41.7 = 200[t]$$

——代入公式 12)

$$SC = \frac{PR_{SPC} - PR_{SSPC} + PR_{BSPC}}{PR_{SPC}} \times 100 = \frac{360288 - 10608 + 200}{360288} \times 100 = 97.1[\%]$$

OSF

$$T_{OST} = (120 + 180 + 50) \times 24 = 8400[h]$$

——公式 (13)

$$OSF = \frac{T_{OST}}{T_{RP}} \times 100 = \frac{8400}{8760} \times 100 = 95.9[\%]$$

表F. 1给出了按照基数表计算各关键性能指标（KPI）的示例。

表F. 1 各关键性能指标（KPI）简化计算表

各关键性能指标（KPI）简化计算表

PCC装置名称	XXX
开始时间	2018/1/1 8:00
结束时间	2019/1/1 8:00
NC (t/d)	1000
FO	1
ss	3
FS	0
维修次数	2
RP (d)	365
(h)	8 760
NC (t/h)	41, 7
NPC (t)	365, 292

在各绿色单元格插入数据

NC (t/d) / 24
公式 (4)

PCC装置负载/工况			持续时间		CO ₂ 产量	CO ₂ 未产量	CO ₂ 超额量
%			d	h	t	t	
100	额定负载		343	8 232	343 274		
80	分载		3	72	2 402	600	
				0	0	0	
105	过载		4	96	4 203		200
				0	0		0
0	备用	RSH1	2	48		2 002	
		RSH2	7	168		7 006	

		RSH3		0		0	
	预防性维修	POH1	5	120		5 004	
		POH2		0		0	
		POH2					
		POH3		0		0	
		POH3					
	修复性维修	FOH1	1	24		1001	
		FOH2		0		0	
		FOH3		0		0	
总计			365	8 760	349 880	15 612	200
项目	单位	数值	公式				
t _{preventive}	h	120					
t _{repair}	h	24					
UT	h	144	(2)				
TA	%	98, 4	(1)				
T _{EUDH}	h	38, 4					
T _{epdh}	h	115, 2					
T _{eskdh}	h	0					
PCNP	t	6 405	(5)				
PCA	%	98, 2	(3)				
t _{PH}	h	8 760					
T _{rsH}	h	216					
T _{foh}	h	24					
T _{poli}	h	120					
T _{sh}	h	8 400					
可用小时	h	359					
不可用小时	h	6					
MTBF	h	8 400	(7)				
SR	%	100	(9)				
MTTR	h	24					
MTPM	h	120					
MDT	h	144					
T _{mtbm}	h	4 308					
T _{mdt}	h	72					
可用性	%	98, 3	(10)				
PR _{PCP}	t	349 880					
PCPB	%	95, 8	(11)				
SPC	t	360 288		*在这种情况下，计算CO ₂ 计划产量（SPC）时不包括为期5天的预防性维修。			
PR _{spsc}	t	10 608					
PR _{bspc}	t	200					
SC	%	97, 1	(12)				

OST	h	8 400	
OSF	%	95,9	(13)

附 录 G
(资料性)
与性能要求相关的关键问题和待检查项目

表G.1 与性能要求相关的关键问题和待检查项目

项目		设计值			可能的故障位置				
		项目	单位 ^a		预 处 理 装 置 ^b	CO ₂ 捕集 ^c	CO ₂ 压缩 ^d	公 用 工 程 ^e	接口 ^e
入 口 烟 气	主 电 厂 烟 气	流速	Nm ³ /h		6 （扩能）	6 （扩能）	6 （扩能）		
		密度	kg/Nm ³						
		成分	H ₂	vol % 干					
			CO ₂						
			O ₂						
			N ₂ /Ar						
		杂质	NO _x	mg/Nm ³ 干					
			NO ₂						
			SO _x						
			SO ₃						
			HCl						
			HF						
			NH ₃						
			VOC						
		颗粒物（PM）							
		雾滴（水滴）							
		温度	°C						
		压力（压力计）	kPa						
净 烟 气	净 烟 气 直 接 排 放 至 烟 囱 或	流速	Nm ³ /h						
		密度	kg/Nm ³						
		成分	H ₂ O	vol %					
			CO ₂	vol % 干					
			O ₂	vol % 干					
		杂质	NO _x	mg/Nm ³ 干					
			SO _x	mg/Nm ³ 干					

大气		VOC	mg/Nm ³ 干						
		吸 收 剂	mg/Nm ³ 干			2（排放 ⁹ ）			
		吸 收 剂 降 解 产 物	mg/Nm ³ 干						
	PM		mg/Nm ³ 干						
	Mist 薄雾		mg/Nm ³ 干						
	温度		°C						
	压力（压力计）		kPa						
CO ₂ 流	流速		t/h			6（扩能） 9（运行过程中 CO ₂ 流的变化）	6（扩能） 9（运行过程中 CO ₂ 流的变化）		
	成分	CO ₂	Mol %- 干						
		H ₂ O	mg/Nm ³ 干						
		O ₂	mg/Nm ³ 干						
	杂质	N ₂	mg/Nm ³ 干						
		吸 收 剂	mg/Nm ³ 干						
		吸 收 剂 降 解 产 物	mg/Nm ³ 干						
		脱水剂	mg/Nm ³ 干						
	PM		mg/Nm ³ 干						
	温度		°C						
	压力（压力计）		kPa						
现场条件	干球温度		°C						
	湿球温度		°C						

	绝对湿度	kg- 水 /kg- 干空气						
	大气压力（压力计）	kPa						
	海拔	海平面以上（m）						
^a组件级单位 ^b冷却器，深度烟气脱硫、预处理装置、气体或液体分配器、填料，溶剂及其收集器和再分配器、除雾器、换热器、泵及其容器、烟气鼓风机和气体阻尼器。 ^c吸收塔、汽提塔、气体或液体分配器、填料、溶剂及其收集器和再分配器、除雾器，换热器（板式和管壳式换热器），泵及其容器、过滤器和回收器，控制和监测系统。 ^dCO₂压缩机、中间冷却器、压力容器，包括除雾器，脱水器、除氧系统、泵。 ^e参见GB/T XXXX-1 (ISO 27919-1)图2。								

表G. 2 与公用损耗相关的关键问题和待检查项目

公用事业项目		(1) 电力				(2) 蒸汽/热能源			(3) 冷却水(CW)
详情或规格		冷 却 器 或 烟 气 预 处 理 装 置	CO ₂ 捕 集	CO ₂ 流压缩	公 用 系 统	高 压 蒸 汽	中 压 蒸 汽	低 压 蒸 汽	
						入口压力[MPaG]			
						入口温度[°C]			
消耗		耗电量[MW]				流速[kg/h]			冷却水负 荷[MW]
PCC装置（正常运行）									
PCC装置（间歇运行）									
类别	项目	浓度	正常	故障位置					
		测 试 [wt %]	(N)或 间 歇 (I)使 用	冷 却 器 预 洗 涤 塔	额 外 预 处 理	CO ₂ 回收率		CO ₂ 压 缩	公用系统
化工	吸收剂 /添加剂		N I			1（腐蚀） 2（排放） 3（材料泄漏） 4（吸收剂损耗） 5（换热器结垢效率 损失） 7（起泡） 8（工作区域内胺类 接触）			
	消泡剂								

	苛性钠		N				
	苛性钠		I				
	硫酸		I				
	三甘醇(脱水剂)		I				
			I				

参 考 文 献

- [1] ISO 3977-9:1999, *Gas turbines — Procurement — Part 9: Reliability, availability, maintainability and safety*
- [2] ISO/TR 27912:2016, *Carbon dioxide capture — Carbon dioxide capture systems, technologies and processes*
- [3] IEC 60050-192:2015, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) — Part 192: Dependability*
- [4] ASME PTC-PM-2010, *Performance Monitoring Guidelines for Power Plants*
- [5] ASME RAM-1, *Reliability, Availability, and Maintainability of Equipment and Systems in Power Plants*
- [6] IEEE Std. 500, *Guide to the Collection and Presentation of Electrical, Electronic, And Mechanical Equipment Reliability Data for Nuclear-Power Generating Stations*
- [7] IEEE Std. 762TM, *IEEE Standard Definitions for Use in Reporting Electric Generating Unit Reliability*,
- [8] IEEE Std. 902, *Guide for Maintenance, Operation & Safety of Industrial & Commercial Power Systems*
- [9] DNVGL-RP-A203, Technology Qualification
- [10] DNVGL-RP-J201, Qualification procedures for carbon dioxide capture technology
- [11] Participants OREDA, OREDA Offshore Reliability Data Handbook, 6nd Edition
- [12] NUREG/CR-6928 *Industry-Average Performance for Components and Initiating Events at U.S Commercial Nuclear Power Plants*
- [13] Rudolph Frederick Stapelberg, *Handbook of Reliability, Availability, Maintainability and Safety in Engineering Design*, Springer
- [14] ISO 10438-1:2007, *Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Lubrication, shaft- sealing and control-oil systems and auxiliaries — Part 1: General requirements*
- [15] ISO 14224, *Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*
- [16] ISO 20815:2018, *Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Production assurance and reliability management*
- [17] ISO 23815-1, *Cranes — Maintenance — Part 1: General*
- [18] IEC 60706-2, *Maintainability of equipment — Part 2: Maintainability requirements and studies during the design and development phase*
- [19] ISO 80000-1, *Quantities and units — Part 1: General*