

GB/T 《空气压缩机组及系统节能监测》编制说明

（征求意见稿）

一 工作简况

1 任务来源

根据全国能源基础与管理标准化技术委员会对标准的复审结果，全国能源基础与管理标准化技术委员会提出对国家标准 GB/T 16665-2017《空气压缩机组及系统节能监测》进行修订。2023 年 12 月国家标准委（国标委发〔2023〕67 号文）下达了 2023 年第三批国家标准制修订计划，正式下达该标准项目的修订任务，计划编号为 20232503-T-469，项目名称为：

《空气压缩机组及系统节能监测》，起草单位为中国标准化研究院、合肥通用机械研究院等，项目周期为 16 个月。

2 主要工作过程

2.1 起草阶段：2024 年 1 月~2024 年 7 月

计划下达后，即成立了标准起草工作组，确定起草日程表、初步分工并进行标准修订工作。

a) 2024 年 1 月~6 月，起草组对国内外企业空气压缩机组及压缩空气站项目信息、应用状况和技术指标进行摸底，收集相关法规文献和技术资料，并赴宁波、青岛、高密、衢州、上海、厦门等地压缩空气站实地调研。标准起草工作组多次在安徽省合肥市召开标准工作组会议，并于 2024 年 04 月在合肥召开标准起草讨论会，20 余家压缩机、干燥器企业、节能服务公司及行业协会参加了会议。对标准的修订原则、主要框架修订内容及解决的问题进行了充分讨论。起草工作组通过标准的前期预研、相关信息的广泛调研收集、会议讨论等工作以及长期对空气压缩机及系统的节能监测工作基础，为标准的各项要求的提出以及适用性和规范性内容的确定提供了坚实保障。

b) 根据会议讨论的结果以及进一步反馈的修订意见，起草工作组对标准草案进一步细化、修改和完善，于 2024 年 8 月 12 日完成了 GB/T16665《空气压缩机组及系统节能监测》征求意见稿及编制说明。

2.2 征求意见阶段

二 标准编制原则和主要内容

1 标准编制原则

——本文件的编写严格按照 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。

——调整了监测项目、监测要求、测量仪表等要求，并根据压缩空气系统的发展现状，增加了综合输功效率等试验和计算方法，力求使标准能覆盖不同结构型的系统监测，方便

标准的使用和提高实际考核的可操作性。

——与正在制订的 GB/T《压缩空气站能源绩效评价》的指标、评价方法等相关内容保持协调一致。

2 主要修订内容

2.1 范围

标准界定了空气压缩机组及供气系统节能监测的术语及定义，规定了监测要求、监测方法、计算方法和节能监测评价。

标准适用于电动机驱动的空气压缩机组，以及供气压力在 0.2 MPa~1.6 MPa 范围的压缩空气站在役运行以及新建、改建验收节能监测。

标准扩大了空气压缩机组的节能监测范围，以及压缩空气站的压力范围，增加了新建和改造压缩空气站的验收节能监测。

2.2 规范性引用文件

增加了压缩空气品质（湿度及含油）测试方法以及用能单位能源计量器具配备的规范性引用文件

GB/T 13277.2	压缩空气 第2部分:悬浮油含量测量方法
GB/T 13277.3	压缩空气 第3部分:湿度测量方法
GB/T 13277.5	压缩空气 第5部分:油蒸气及有机溶剂测量方法
GB 17167	用能单位能源计量器具配备和管理通则

2.3 术语和定义

2.3.1 增加了压缩空气站标准吸气位置、吸气温度、吸气压力的术语定义，2017 版标准采用空气压缩机吸气温度、吸气压力作为供气流量和输功效率的计算参数并不合理，相关标准没有压缩空气站吸气参数的术语定义，本次修订根据压缩空气站工作原理给出了相关定义。

2.3.2 删除了压缩热能回收利用率，增加热能回收利用率。随着压缩空气站系统节能技术的不断发展，包括电动机或者其他用能设备的余热回收也有相关的应用，并可能是未来发展的重要方向，不应局限于压缩热能的回收利用。

2.4 监测要求

2.4.1 增加了压缩空气干燥器大修后的测试要求，规定应按 GB/T 10893.1《压缩空气干燥器 规范与试验》进行测试。

2.4.2 调整了压缩空气站节能监测测试项目：

- a) 增加了表征压缩空气站能力的重要指标-平均供气总量；
- b) 删除了压缩空气泄漏率的监测项目，一方面泄漏率并不参与压缩空气站整体能效的

计算，另一方面压缩空气泄漏率从监测技术角度不具有可操作性；

- c) 增加了热能回收利用率（适用时），删除了原压缩热能回收利用率；
- d) 增加平均供气压力、压缩空气露点、含油量等重要供气参数的监测，供气压力、压缩空气品质是压缩空气站输出压缩空气的关键参数，对系统能效有重要影响；

2.4.3 调整了压缩空气干燥器节能监测测试项目：

- a) 调整了吸附式干燥器耗气率为耗气量，与 JB/T 10532 标准保持一致；
- b) 增加了冷冻式干燥器比功率的监测要求，与 JB/T 10526 标准保持一致；

2.5 监测方法

2.5.1 基本要求

2.5.1.1 增加了能源计量器具的规定，应符合 GB 17167 和 GB 50029 的要求以及本标准 5.4 的规定。

2.5.1.2 增加了压缩空气站、压缩空气干燥器监测的具体要求，包括工况、监测周期等。

2.5.1.3 调整了监测周期内监测间隔时间，随着监测手段和技术的发展，将原标准中记录间隔 20min~30min 调整为不大于 5min。压力露点是不同压力下含湿量的表征，不能直接进行算术平均，其计算方法按 GB/T10893.1 进行计算。

2.5.2 试验方法

2.5.2.1 增加压缩空气干燥器、压缩空气露点、总含油量的测试方法，分别按照 GB/T 10893.1、GB/T 13277.3 、GB/T 13277.2 和 GB/T 13277.5 的规定。

2.5.2.2 增加了新建、改建站的节能监测及验收试验方法

随着压缩空气站监测方法和指标的不断完善，设计院、建设单位、用户针对压缩空气站设计、建设有了更明确的量化指标和测试手段，新建和改建压缩空气站能效验收需求也越来越多。此类验收往往在正式投入生产之前，其能效水平为压缩空气站系统和设备本身特性，而原标准的节能监测主要针对在役站，其能效不仅涉及系统和设备特性，还涉及站的控制、管理与设备维护状况等。因此，两种能源绩效测量性质不相同，验收能效检测必须给出确定的检测工况。

新建和改建压缩空气站设计出来的负荷能力往往远大于实际生产需求负荷，验收测量工况应充分考虑实际生产负荷状态，尽量接近实际情况，同时还要考虑空气压缩机与干燥器变负荷能力。因此，测量工况给出了部分负荷气量工况测点。

新建和改建压缩空气站能源绩效评价验收检测，主要是考核压缩空气站变负荷高效能力，这个能力体现在空气压缩机高效调节气量，压缩空气干燥器变负荷节能控制，因此，规定“不应出现全部压缩机均满载运行”。由于多数吸附式干燥器是双塔交替运行，全周期的两个半周期特性相同；又因吸附式干燥器适应变负荷运行露点控制周期时，有时运行周期很长，因此，要求“测量时长不小于吸附式压缩空气干燥器实际运行工况半周期时间”。由于热回收系统和实际应用时可能存在较大差异，因此标准规定热回收量不计入测试结果。

2.5.3 监测参数测点布置

2.5.3.1 调整了压缩空气站吸气温度、吸气压力的位置，增加了压缩空气露点、总含油量、热能回收量的测点位置。

2.5.3.2 根据压缩机、净化设备标准体系，调整了公式符号的应用，具体调整汇总见表 1。

表 1

序号	名称	修订前	修订后
1	修正系数	k	K (大写)
2	压力	P	p (小写)
3	机组比功率	q	e_r
4	功率	W	P

2.5.4 测量仪表

调整了部分仪表名称和精度要求，增加了水流量计、露点仪等实时监测仪表的要求。

2.6 计算方法

2.6.1 压缩空气站用电总量缺少其他辅助用能设备消耗的电量，新标准在文字描述和公式中增加了相应的内容，同时通风、冷却水等辅助系统为公用系统时，根据不同系统的冷却特点，给出了相应的电量计入压缩空气站用电总量的方法和原则。

2.6.2 随着现代工厂能源的多样性，在压缩空气生产过程中，存在利用工厂蒸汽加热或者冷冻水冷却压缩空气生产流程。本标准增加了相应的能源输入折算成电量的方法。

a) 蒸汽能量折算成电量的方法。

流经换热器的蒸汽的能量损失值通过蒸汽焓差和流量计算获得，公式为 $(h_{out} - h_{in}) \times Q_{st} \times t$ 。

中国的主力发电机组为煤电机组，因而煤炭热值是蒸汽能量换算的重要参数。

根据《GB / T 2589-2020 综合能耗计算通则》8.2 的规定：实际消耗的燃料能源应以其收到基低位发热量为计算依据折算为标准煤量。按照 GB/T3102.4 国际蒸汽表卡换算，低位发热量等于 29 307.6 千焦 (kJ) [7 000 千卡(kcal)]的燃料，称为 1 千克标准煤 (1 kgce)。因此，1kg 标准煤的低位发热量值取为 29307.6 kJ。

根据 2023 年 7 月 7 日中国电力企业联合会发布的《中国电力行业年度发展报告 2023》，2022 年，全国 6000 千瓦及以上火电厂供电标准煤耗 300.7g/kWh。

燃煤电厂供电能耗为： $29307.6 \times (300.7/1000) = 8812.8 \text{ kJ / kWh}$ 。

燃煤电厂全国平均供电效率为： $3600/8812.8 \times 100\% = 40.8\%$

因此，压缩空气站蒸汽能量应折算为电量应按照下式计算：

$$E_{st} = \frac{(h_{out} - h_{in}) \times Q_{st} \times t_{st} \times 0.408}{3600} = \frac{(h_{out} - h_{in}) \times Q_{st} \times t_{st}}{8824}$$

b) 冷冻水冷量折算成电量的方法。

冷冻水冷量由冷水机组耗电制冷获得，冷水机组制冷性能系数 COP 是指制冷设备单位功耗所能获得的冷量。因此冷冻水冷量折算成电量应通过冷量与 COP 的比值获得，公式为

$$E_c = \frac{q_{v,c} \times t_c \times \rho_c \times C_{c \times} (T_{c1} - T_{c2})}{3600 \times COP}$$

2.6.3 删除了压缩空气站泄漏率的计算方法。

2.6.4 所有涉及压缩空气站供气量、输功效率等指标时的吸气参数由空气压缩机吸气参数调整为压缩空气站吸气参数。

2.6.5 增加了输功效率计算公式中不同评价要求时供气压力的选择。当需要评价压缩空气站运行效率时，供气压力应为实际平均供气压力，该值通过实际监测获得，计算所得输功效率可以真实反应压缩空气站实际的运行效率。而通常情况下，该实际平均供气压力往往高于用户需求的压力，导致存在一定的能源浪费，由于选型、运行管理等原因，因此当需要对压缩空气站进行能源绩效评价，反映压缩空气站相对用户需求的效率时，供气压力应为用户需求压力。

2.6.6 增加了综合输功效率的计算方法。

c) 针对有热回收的压缩空气站，给出了综合考虑热回收利用率后的综合输功效率计算方法。根据卡诺循环原理，回收压缩热量理论上可获得有效能约为 10%~15%；用热端以其它方式制热，消耗的有效能大于供热量的 20%。因此本标准将回收利用的热能按 0.1 系数折算，计入综合输功效率。

d) 当压缩空气站的同一系统输出不同湿度等级、不同含油量品质的压缩空气时，应采用湿度等级换算系数和（或）含油换算系数，换算到一致的压缩空气品质（湿度等级为 5、6 级、含油量不低于 $0.01 \text{mg}/\text{m}^3$ ）下的输功效率。根据用户需求，压缩空气站生产的压缩空气品质（含水蒸气量、含油量、固体颗粒量）不同，主要为湿度等级和总含油量参数。经调研和产品性能参数计算，压缩空气湿度等级相邻间干燥器的能耗相差约 5%；总含油量 $0.01 \text{mg}/\text{m}^3$ 是通常说的有油和无油重要参数划分，依据无油和有油空气压缩机、除油过滤、催化除油能耗计算，差异约 5%。因此，给出相差 5% 的湿度等级、总含油量换算系数。

2.6.7 空气压缩机机组比功率的计算根据 GB19153-2019 增加了吸气温度修正系数。

2.6.8 根据 JB/T10532-2017 和 GB/T10893.1-2012 中的术语定义和计算方法，将吸附式压缩空气干燥器耗气率调整为耗气量，同时修正了相应的计算公式，增加了压缩空气干燥器排

放空气损失。

2.6.9 根据 JB/T10526-2017 术语定义，增加了冷冻式压缩空气干燥器比功率的计算方法和公式。

2.7 节能监测评价

2.7.1 增加了压缩空气站的监测项目，以综合输功效率为能效评价指标，并明确了合格指标应不低于 GB/T***《压缩空气站能源绩效评价》标准的 5 级水平。

2.7.2 增加了冷冻式压缩空气干燥器的比功率监测项目，并规定应符合标准要求或产品明示值。

2.8 附录

2.8.1 根据正文监测项目的变化，调整了相应的报告内容。

2.8.2 节能监测报告中增加了主要用能设备的型号规格、设备编号、结构型式等关键信息的描述。

2.9 主要技术差异

- 修改了范围的表述，扩大了适用范围；
- 增加了规范性引用文件；
- 增加了部分术语和定义；
- 增加了压缩空气站和压缩空气干燥器的监测项目；
- 删除了压缩空气站压缩空气泄漏率的监测项目；
- 补充了压缩空气站和压缩空气干燥器的节能监测方法；
- 增加并调整了测量仪器的要求；
- 增加了使用非电力能源折算为电量的方法；
- 增加了有热回收利用的压缩空气站综合输功效率计算方法；
- 增加了输出不同压缩空气品质的压缩空气站的综合输功效率计算方法；
- 增加了新建、改建站验收的监测方法；
- 增加了冷冻式压缩空气干燥器比功率的计算方法；
- 调整了压缩空气站的节能监测评价指标。

3 解决的主要问题

本标准根据现有的测试方法标准以及实际测试的大量压缩空气站，进一步规范了压缩空气站及内部用能设备节能监测的测点位置、测量仪表、测试方法、计算方法等要求，使得标准的可操作性更强，监测的标准更加统一。同时随着国家和行业对系统节能的重视，系统节能技术得到广泛应用，压缩空气站的结构型式更加复杂，非电力能源压缩空气生产过程也有应用，标准通过对试验方法和计算方法的完善，能够基本覆盖现阶段动力用空气压缩机组及

系统的在役运行节能监测。

现阶段大量新建、改建的压缩空气站正在将能效水平作为建站目标，住建部正在修订中的 GB 50029《压缩空气站设计规范》也要求压缩空气站设计时应确定能效指标。原有标准只针对在役运行压缩空气站监测，需要生产处于正常负荷状态，而新建改建站建成到满足正常生产负荷需要很长周期。本标准给出的能效验收测量工况及计算方法有助于在统一的条件下实现对新建、改建站的能效验收及评价，解决了压缩空气站正式投入使用前的验收难题。

三 主要试验（或验证）情况分析、综述报告、技术经济论证，预期的经济效果

起草组主要成员长期从事空气压缩机组及系统的节能技术、检测监测技术的研究，并有大量的压缩空气站实际监测经验、案例和数据。标准修订时也调研和搜集了国内空气压缩机、压缩空气干燥器、过滤器、驱动电动机及系统等相关资料，分析了相关产品系统特点和技术参数。标准规范了试验监测方法，有很强的可操作性，提出的评价指标科学准确，与现行标准体系协调统一。压缩空气以其安全、环保、传输方便等特点，在各个领域广泛应用，已成为继电力之后的第二大动力能源。我国空气压缩机产品作为重点监察的用能设备，自实施能效标识管理制度以来，产品能效水平显著提升，部分产品的节能水平已达到国际先进水平。但空气压缩机产品服役年限通常超过 10 年，一些老旧设备仍在大量服役，同时空气压缩机能效水平的保持和设备长期维护保养、运行管理关系很大，由于维保、管理导致的性能下降严重的情况非常普遍。国务院发布《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》，明确推动重点行业用能设备更新改造，加快推广能效达到先进水平和节能水平的用能设备。标准的修订实施，一方面为用户自身了解设备运行效率提供手段，另一方面为国家大规模设备更新改造提供技术支撑。

新建和改建压缩空气站设计出来的负荷能力往往远大于实际生产需求负荷，验收测量工况应充分考虑实际生产负荷状态，尽量接近实际情况，同时还要考虑空气压缩机与干燥器变负荷能力。因此，测量工况给出了部分负荷气量工况测点。根据《GB/T 2589-2020 综合能耗计算通则》8.2 的规定：实际消耗的燃料能源应以其收到基低位发热量为计算依据折算为标准煤量。按照 GB/T3102.4 国际蒸汽表卡换算，低位发热量等于 29 307.6 千焦（kJ）[7 000 千卡(kcal)]的燃料，称为 1 千克标准煤（1 kgce）。因此，1kg 标准煤的低位发热量值取为 29307.6 kJ。根据 2023 年 7 月 7 日中国电力企业联合会发布的《中国电力行业年度发展报告 2023》，2022 年，全国 6000 千瓦及以上火电厂供电标准煤耗 300.7g/kWh。从单机角度看未来空压机单机节能空间已非常有限，而压缩空气站的节能潜力很大，多机组联机协同、压缩热利用、辅助设备节能技术、用气设备节气技术、大数据分析改进等节能技术的应用，使得压缩空气站的系统节能已成为近年压缩空气能源供应的新趋势。同时压缩空气站作为工厂生产压缩空气的基础设施，集成了空气压缩机、后处理设备、供气管网、冷却系统、热回收设备和监控系统等，其用电量通常占工厂总用电量的 20%~50%，因此压缩空气系统的节能降耗受到越来越广泛的重视。压缩空气站的系统能效水平能真实反映空气压缩机在用户实

际使用中的能效状况,标准中压缩空气站的节能监测方法可有效判断压缩空气站节能改进方向和确认节能改造最终效果,有助于找出改进空间和潜力并针对性的做出节能改进和调整,进而不断提升整站能效,实现生产的降耗和成本的优化。另外,针对有热回收的压缩空气站,给出了综合考虑热回收利用率后的综合输功效率计算方法。根据卡诺循环原理,回收压缩热量理论上可获得有效能约为 10%~15%;用热端以其它方式制热,消耗的有效能大于供热量的 20%。因此本标准将回收利用的热能按 0.1 系数折算,计入综合输功效率。

四、采用国际标准和国外先进标准的程度,以及与国际、国外同类标准水平的对比情况,或与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

本文件没有采用国际标准。

本文件修订过程中未查到同类国际、国外标准。

本文件水平为国内先进水平。

五、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准与相关法律法规和推荐性国家标准 GB/T 3853《容积式压缩机验收试验》等相关标准保持协调一致,同时还涉及其他的压缩空气设计规范和经济运行相关标准也都保持一致。

六、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准无重大分歧意见。

七、国家标准作为强制性国家标准或推荐性国家标准的建议

本标准为 GB 19153《容积式空气压缩机能效限定值及能效等级》强制性国家标准的配套标准,建议作为推荐性国家标准发布。

八、贯彻国家标准的要求和措施建议

建议本标准发布后即实施。

政府相关政策文件明确要求包括压缩机在内的重点用能设备的节能工作应向全流程、系统节能转变,组织实施系统能效提升行动(如工信部《工业领域碳达峰实施方案》、《工业能效提升行动计划》、《工业绿色发展规划》等),本标准的实施有助于上述政策的落地实施,有助于实现《2024-2025 年节能降碳行动方案》和《推动工业领域设备更新实施方案》提出的目标。

九、废止现行相关标准的建议

本标准实施时,代替 GB/T 16665-2017。

十、其他应予说明的事项

无。