



T/CECS XXX-XXXX

中国工程建设标准化协会标准

塔式起重机能效检测与评定标准

Energy efficiency testing methods for tower cranes

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会标准

塔式起重机能效检测与评定标准

Energy efficiency testing methods for tower cranes

T/CECS XXXX-XXXX

主编单位：上海市建筑科学研究院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：XXXX年XX月XX日

前言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2022 年第一批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2022〕13 号）的要求，编制组经广泛调研，专题研究，在总结工程实践经验与参考国内外相关标准，并广泛征求意见后，制定本标准。

本标准共分 7 章，主要内容包括：总则、术语、基本规定、整机检测法与能效计算、机构当量检测法与能效计算、行走机构检测、检测报告等。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会检测与试验专业委员会归口管理，由上海市建筑科学研究院有限公司负责解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送至上海市建筑科学研究院有限公司（地址：上海市金山区金流路 892 号；邮编：201506；电子邮箱：qinxuetao@sribs.com.cn）。

主编单位：上海市建筑科学研究院有限公司

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	3
3.1	检测环境要求	3
3.2	检测仪器设备	3
3.3	试验样机	3
3.4	检测点	4
3.5	检测过程要求	6
4	整机检测法与能效计算	7
4.1	塔机用途	7
4.2	小车变幅塔机	7
4.3	动臂变幅塔机	9
4.4	整机检测法塔机能效值计算	11
5	机构当量检测法与能效计算	13
5.1	起升机构检测	13
5.2	变幅机构检测	16
5.3	回转机构检测	16
5.4	待机能耗检测	17
5.5	机构检测法塔机能效计算	17
5.6	机构能耗占比	17
6	行走机构检测	20
7	检测报告	21
	用词说明	22
	引用标准名录	23

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms	2
3	Basic Requirements	3
3.1	Testing Environment Requirements	3
3.2	Testing Instruments and Equipment	3
3.3	Experimental Prototype	3
3.4	Inspection Point	4
3.5	Testing Process Requirements	6
4	Complete machine efficiency testing method and energy efficiency calculation	7
4.1	The Uses of Tower crane	7
4.2	Trolley amplitude tower crane	7
4.3	Boom variable amplitude tower crane	9
4.4	Calculation of Tower Cranes functional efficiency value by complete machine testing method	11
5	Mechanism Equivalence efficiency Testing Method and Energy Efficiency Calculation ..	12
5.1	lifting mechanism testing	12
5.2	Variable amplitude mechanism testing	15
5.3	Rotary Mechanism testing	15
5.4	Energy consumption testing of intelligent monitoring device	16
5.5	Calculation of Tower Cranes Energy Efficiency value by Mechanism Equivalence Testing Method	16
5.6	Ratio of Mechanism Equivalence energy consumption to total energy consumption	16
6	walking mechanism testing	20
7	Test Report	21
	Explanation of Wording	21
	List of quoted standards	22

1 总则

1.0.1 为进一步规范和统一塔式起重机的能效检测方法，提高塔式起重机的能效检测准确度和检测技术水平，制定本标准。

【条文说明】

据工程机械行业协会年报统计，目前全国保有量超过 40 万台，这些设备在为工程建造带来便利的同时，也消耗着大量的能源资源，并造成沉重的环境负担，数据显示我国建筑业消耗了社会 40%的能源和资源。2021 年 10 月中共中央国务院印发的《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》及《2030 年前碳达峰行动方案》指出，“十四五”是实现碳达峰关键期、推进碳中和起步期，要求“十四五”期间要完成碳达峰任务的 60%，争取在 2028 年实现碳达峰。这对工程建设行业绿色可持续发展提出了很高的要求和挑战。

建筑起重机械能源消耗在建筑施工中占很高比例，国内不同类型建筑起重机械能量利用率的差异非常巨大，而且相比国外发达国家同类产品也还有差距。造成此现状的原因除了基础工业水平之外，一个主要的问题就是国家与行业缺乏相关标准与要求。

以塔式起重机为例，制造质量、类型不同的塔机能耗比可达 1.7 倍以上。据上海地区统计，目前在用塔式起重机 3600 台以上，按常用机型平均能耗，全年使用 1680 小时，高低机型能耗比 1.3 计算，仅上海地区使用高效能塔机可比普通塔机每年节电 15000 万千瓦时以上。虽然全国在用塔机的数量无统计数据，但仅 2020 年我国塔式起重机的销量就已超过 5 万台，保有量超过 40 万台。高低能耗比的差异使塔机节能空间巨大。

由于缺乏能效利用率的有关检测标准，对生产企业缺少能效利用水平的约束，生产企业很少关注这一问题，同时社会监管缺少有效依据，造成监管缺失，这些情况使我国的建筑起重机械长期处于低效率、高能耗的状态，浪费了宝贵的能源资源，并造成很大的环境负担。

因此制定《塔式起重机能效检测方法》标准，针对不同类型的塔式起重机

提出不同的能效检测方法指南，明确塔机能效检测方法的关键技术体系，使塔式起重机高效节能化发展有据可依，推进行业技术进步。本标准的提出符合国务院“十四五”实现碳达峰关键期的要求，也是落实《2030年前碳达峰行动方案》的依据之一。

1.0.2 本标准适用于以电力驱动的塔式起重机（以下简称塔机）能源测量与能效计算，其中小车变幅塔机可采用机构检测法或整机检测法测量，动臂变幅塔机适用于整机检测法测量。其他起重机的能效检测可根据其类型参照采用本标准。

【条文说明】

本条明确了标准的适用范围。本标准适用于电力驱动的塔式起重机，并区分了小车变幅塔机及动臂变幅塔机的能效检测与计算方法。其他类型起重机可参考本标准，但需结合其结构特点调整检测流程。

1.0.3 塔式起重机的能效检测除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 整机检测法 Complete Machine efficiency Testing Method

塔机的起升、变幅、回转、行走机构各自按本标准规定的工况加载运行，完成检测动作的过程。

2.0.2 机构当量检测法 Mechanism Equivalence efficiency Testing Method

塔机吊载规定的载荷，依次完成起升、变幅、回转、下降，将载荷放到指定位置，卸载后按照原来路线返回起始位置的检测过程。

2.0.3 供给能 supply energy

塔机按规定的检测方法完成工作循环消耗的电能。

2.0.4 有效能 effective energy

塔机按规定工况吊运货物增加的机械能或向电网反馈的电能。

2.0.5 能效值 energy efficiency value

塔机按规定工况完成相应工作循环，其有效能与供给能的比值。

2.0.6 检测点 test point

在塔机能效检测中，测量仪表接入电路的位置。

2.0.7 载荷比系数 Load ratio coefficient

一个检测周期内，塔机下降运载载荷与起升运载载荷的比值。

注：实际测量时载荷比系数也可通过设置带载下降次数与起升次数比例的近似方法确定。

2.0.8 机构当量检测法 Equivalent detection method

塔机各运行机构按照规定的检测工况与循环次数独立完成起升、变幅、回转动作，测量有效能与供给能，计算塔机能效的检测方法。

2.0.9 整机检测法 Independent loop detection method

按照塔机规定的工作程序及循环次数，通过测量有效能与供给能确定塔机能效的检测方法。

3 基本规定

3.1 检测环境要求

3.1.1 本标准适用检测环境应满足海拔 1000m 以下，环境温度-15℃~30℃。

3.1.2 现场风速不应大于 3m/s。

3.1.3 工作电源应符合现行国家标准《机械安全 机械电气设备 第 32 部分：起重机械技术条件》GB 5226.2-2002、《电能质量公用电网谐波》GB/T14549、《电能质量 三相电压不平衡》GB/T15543 的规定，电源电压允差±5%，三相电压不平衡度不应大于 2.0%，总电源回路应设置总断路器。

【条文说明】

规定检测环境条件是为了排除外部干扰，确保数据可比性。例如，风速过高、电源电压偏差可能导致能耗测量失真。

3.2 检测仪器设备

3.2.1 检测载荷质量应包含可分拆吊索具质量，检测载荷质量与规定值的偏差不应大于 5%。载荷测量仪器的检测误差不应大于 1%，其他参数检测仪器的测量误差不应大于 2%。检测载荷外形应规则，方便吊载、计量与运输。

3.2.2 检测所用仪器和计量器具应符合国家相关标准，且应为法定计量检测单位检定合格有效期内的仪器。检测仪器的量程应与检测参数相适应。

3.2.3 电能表应具有记录反向电能功能，能分别计量塔机起升与下降所对应的电能。精度等级 0.5 级，采样频率应不低于 6.4kHz，有效分辨率不低于 0.01kWh（显示位数不应少于小数点后三位）。电流互感器倍率应与被测塔机电机功率及电能表相匹配，准确度等级不应低于 0.2 级。

3.2.4 钢卷尺或等效的距离测量装置精度不应低于 1 级。

3.2.5 手持式风速仪精度等级不应低于 3 级。

【条文说明】

对仪器精度、量程、电能表功能等提出具体要求，确保测量结果的可靠性。例如，0.5 级电能表可精准区分起升与下降阶段的能耗差异，电流互感器需匹

配电机功率以避免超量程误差。

3.3 试验样机

3.3.1 检测用塔机应符合国家标准《塔式起重机》GB/T 5031 的出厂验收合格规定，检测状态应按照使用说明书规定的最大臂长、最大独立高度安装，配置标准吊钩。应装有塔机的全部安全装置及正常工作状态配备的附件，安装基础应能确保检测过程安全。检测前应按规定要求保养和润滑。

3.3.2 检测用塔机安装垂直度误差不应大于安装高度的 1/1000。

3.3.3 带有行走机构的塔机的轨道坡度不应大于 1.5%，并能至少行走 20m 距离。在不工作时须用夹轨钳夹紧在轨道上。

【条文说明】

要求试验样机符合出厂标准且安装规范，确保检测结果反映真实工况。塔身垂直度误差可影响变幅与回转时的机构的能耗，轨道坡度误差影响塔机行走能耗，故对能效检测塔机安装的垂直度与行走轨道的坡度提出了比 GB/T5031 更高的要求。

3.4 检测点

3.4.1 运行能耗的检测点应设置在塔机主供电线路总断路器之后，确保电能表的外接互感器与电压表连接正确。

3.4.2 待机能耗的测试点应设置在塔机主供电线路断路器输入端口位置。

【条文说明】

明确检测点位于总断路器之后，确保电能表直接测量主线路能耗，避免其他设备干扰。

3.5 检测过程要求

3.5.1 检测载荷起吊与下放位置地面需平坦、坚固，标高误差不应大于起升高度的 0.5%。载荷起吊与下放位置中心应作标记，除表示被检测载荷的中心线外，还应有与被检测载荷形状一致，外形稍大的轮廓线以方便测量起吊前后被检测载荷中心位置的偏差，且该标记塔机司机应清晰可见。

3.5.2 检测前应对塔机的各运行机构在空载状态下试运转不少于 3 个循环。

3.5.3 起升高度通过测量试验载荷底平面至地面的垂直距离获得，可采用激光测距仪或其他等效测量方法。

【条文说明】

规定检测前试运转、位置标记、高度测量方法等操作细节，确保检测流程标准化。例如，空载试运转可验证机构运行状态，激光测距仪可使检测更方便与安全，并可提高测量精度。

4 整机检测法与能效计算

4.1 塔机用途

4.1.1 塔机在一个工作循环周期内起升与下降运送的载荷可能不同，可根据塔机用途选择载荷比系数，见表 4.1.1。

表 4.1.1 塔式起重机载荷比系数

序号	塔机用途	载荷比系数 λ
1	建筑施工用	0.40
2	建筑安装用	0.20

【条文说明】

建筑施工用塔机除了吊运钢筋、混凝土等建筑材料外，还要吊运脚手架、模板等施工周转材料，这些材料需要双向运输，相对的载荷比系数较大，建筑安装用塔机考虑更多吊运材料与设备，选择较小的载荷比系数。如有特殊需要，也可以按照塔机实际载荷比进行检测，但在检测报告应有相应说明。

4.2 小车变幅塔机

4.2.1 检测工况分为 S20、S50、S90 三种，各工况运行参数应按表 4.2.1 规定选取。

表 4.2.1 小车变幅塔机检测工况

工况	起升高度 H (m)	起升检测载荷 质量 Q (kg)	下降试验载 荷 (kg)	起始位置幅 度 L (m)	变幅距离 D (m)	回转角 度 R (°)	循环次数
----	---------------	------------------------	--------------------	---------------------	---------------	-------------------	------

S20 即 20%最大 额定起重量	0.8Hmax	20%最大额定 起重量	S20 λ	90%S20 工况 相应最大幅 度	70%相应最大 幅度	180	4
S50 即 50%最大 额定起重量	0.8Hmax	50%最大额定 起重量	S50 λ	90%S50 工况 相应最大幅 度	70%相应最大 幅度	180	4
S90 即 90%最大 额定起重量	0.8Hmax	90%最大额定 起重量	S90 λ	90%S90 工况 相应最大幅 度	70%相应最大 幅度	180	4
注 1: Hmax 为塔机最大独立安装高度, 检测用起升高度不小于 30m;							
注 2: 表中 λ 按表 4.1.1 中塔机不同用途选取;							

【条文说明】

小车变幅塔机的检测工况分为 S20、S50、S90 三种, 分别对应 20%、50%、90%的最大额定起重量。此分类基于实际作业中塔机负载的典型分布, 覆盖轻载、中载和重载场景, 确保能效检测的全面性。起升高度、变幅距离、回转角度等工况参数的设定模拟了真实作业循环, 通过不同负载下的能耗差异评估塔机在不同工作强度下的能效表现。例如, S90 工况的高负载检测可验证塔机在极限条件下的能耗效率, 而 S20 工况则反映低负载时的能源利用水平。此外, 起升高度统一为 0.8 倍最大独立高度, 旨在保证检测的标准化, 同时避免因高度不足导致的能耗数据偏差。

4.2.2 检测工作循环应按以下工步顺序进行:

- 1 起升: 吊具从初始位置 (规定幅度处) 吊起起升检测载荷 (按 S20、S50、S90 各工况要求), 以额定起升速度, 起升至规定起升高度;
- 2 变幅: 向内变幅表 2 规定的变幅距离;
- 3 回转: 回转 180°;
- 4 卸载: 将载荷卸载至规定下降试验载荷;
- 5 下降: 将下降试验载荷放至规定位置;
- 6 重复起升: 吊具从规定位置处吊起起升检测载荷, 以额定起升速度起升至规定高度;
- 7 重复回转: 反向回转 180°;
- 8 重复变幅: 向外变幅规定距离;

9 重复卸载：将载荷卸载至规定下降试验载荷；

10 重复下降：吊具下降将重物放置回起点位置，完成一个工作循环；

4.2.3 每个工作循环检测均以单机构依次运行、分段测量 1~10 各阶段耗电量、5 与 10 阶段下行发电量，各阶段运行到位可短暂停留（约 10s~60s），读取耗电量、发电量，待状态稳定后开始下一步运行，完成表 4.2.1 规定的循环次数。

【条文说明】

检测流程严格模拟塔机的实际作业循环，包括起升、变幅、回转、卸载等工步，尽可能代表塔机的常见工况，使检测结果能够不应工况选择而失真。分段测量各阶段的耗电量与发电量，可精准区分各动作的电能消耗与发电。短暂停留旨在等待系统状态稳定后再记录数据，避免动态波动对测量精度的影响。循环次数的规定旨在通过多次重复降低随机误差，提高结果的可靠性。单机构依次运行旨在隔离各机构的能耗，便于后续能效占比分析。

4.3 动臂变幅塔机

4.3.1 检测工况分为 S20、S50、S90 三种，其运行参数应按表 4.3.1 的规定选取。根据表 4.3.1 动臂变幅角度范围确定工况 S20、S50、S90 检测幅度，并据此确定检测载荷起吊、落放位置。不能满足表 4.3.1 规定的变幅角度范围的检测塔机，按其能够达到的最大变幅角度范围检测。

表 4.3.1 动臂变幅塔机检测工况参数规定

工况	起升高度 H (m)	起升检测载 荷 Q (kg)	下降检测 载 荷 (kg)	动臂变幅角 度 范 围 (°)	回转角度 R (°)	循环次数
S20 即 20% 最大额定起 重量	0.8Hmax	20%最大额 定起重量	S20 λ	25°~75°	180	4
S50 即 50% 最大额定起 重量	0.8Hmax	50%最大额 定起重量	S50 λ	25°~75	180	4
S90 即 90% 最大额定起 重量	0.8Hmax	90%最大额 定起重量	S90 λ	25°~75°	180	4

注 1：Hmax 为塔机最大独立安装高度，检测用起升高度不小于 30m；

注 2：表中 λ 按表 4.1.1 中塔机不同用途选取；

【条文说明】

动臂变幅塔机的检测工况同样分为 S20、S50、S90，但变幅参数以角度范围替代小车变幅的距离参数，以适应其结构特点。变幅角度的选择基于动臂塔机典型作业范围，确保检测覆盖常用工作幅度。若实际变幅角度无法满足表 3 要求，允许按最大可实现角度调整，体现了标准的灵活性和实用性。起升高度与载荷比的设定与小车变幅塔机一致，保证两类塔机能效数据的可比性。

4.3.2 检测工作循环应按以下工步顺序进行：

1 起升：吊具从初始位置（规定幅度处）吊起起升检测载荷（按 S20、S50、S90 各工况要求），起重臂仰角保持不变，起升机构以额定起升速度，起升至规定高度；

2 变幅：扬起起重臂完成规定变幅距离（起升机构不动作）；

3 回转：回转 180°；

4 卸载：将载荷卸载至规定下降试验载荷；

5 下降：起升机构动作将检测载荷放至规定位置；

6 重复起升：吊具从规定位置处吊起检测载荷，起升机构以额定起升速度起升至规定高度；

7 重复回转：反向回转 180°；

8 重复变幅：将起重臂放下至初始位置（起升机构不动作）；

9 重复卸载：将载荷卸载至规定下降试验载荷；

10 重复下降：吊具下降将重物放置回起点位置，完成一个工作循环。

4.3.3 每个工作循环检测均以单机构依次运行、分段测量 1~10 各阶段耗电量、5 与 10 阶段下行发电量及所用时间。各阶段运行到位可短暂停留（约 10s~60s），读取耗电量，待状态稳定后开始下一步运行，完成表 4.3.1 规定的循环次数。

【条文说明】

动臂变幅塔机的检测流程与小车变幅塔机的主要区别在于变幅动作的执行方式。变幅阶段要求起升机构不动作，旨在精准区分可保持重物位置不变的高效变幅机构与普通变幅机构的独立能耗，为后续能效分析提供清晰数据支持。

4.4 整机检测法塔机能效值计算

4.4.1 整机检测法塔机能效值 $\eta_{ZJ.总}$ 应按式（4.4.1-1）计算，其中 E_D 检测方法见 5.4 节；

$$\eta_{ZJ.总} = \frac{(W_{S20S有效能} + W_{S50S有效能} + W_{S90S有效能}) + 3.6 \times 10^3 \cdot (E_{S20}^{out} + E_{S50}^{out} + E_{S90}^{out})}{3.6 \times 10^3 \cdot (E_{S20}^{in} + E_{S50}^{in} + E_{S90}^{in} + E_D)} \quad (4.4.1-1)$$

$$E_{S20}^{in} = \sum_{i=1}^n E_{S20i}^{in} \quad (4.4.1-2)$$

$$E_{S50}^{in} = \sum_{i=1}^n E_{S50i}^{in} \quad (4.4.1-3)$$

$$E_{S90}^{in} = \sum_{i=1}^n E_{S90i}^{in} \quad (4.4.1-4)$$

$$E_{S20}^{out} = \sum_{i=1}^n E_{S20i}^{out} \quad (4.4.1-5)$$

$$E_{S50}^{out} = \sum_{i=1}^n E_{S50i}^{out} \quad (4.4.1-6)$$

$$E_{S90}^{out} = \sum_{i=1}^n E_{S90i}^{out} \quad (4.4.1-7)$$

式中： $\eta_{ZJ.总}$ ——塔机按机构检测法检测总能效；

E_D ——塔式起重机待机能耗（kWh），；

E_{S20}^{in} ——为 S20 工况下工作循环的能耗（kWh）；

E_{S50}^{in} ——为 S50 工况下工作循环的能耗（kWh）；

E_{S90}^{in} ——为 S90 工况下工作循环的能耗（kWh）；

E_{S20}^{out} ——为 S20 工况下工作循环的反馈电能（kWh）；

E_{S50}^{out} ——为 S50 工况下工作循环的反馈电能（kWh）；

E_{S90}^{out} ——为 S90 工况下工作循环的反馈电能（kWh）；

n ——为整机检测法检测工作循环次数；

4.4.2 塔机起升有效能应按式（4.4.2）计算；

$$W_{起升有效能} = n \cdot \frac{9.8QH}{1000} \quad (4.4.2)$$

式中： $W_{S20S有效能}$ 、 $W_{S50S有效能}$ 、 $W_{S90S有效能}$ ——为塔机 S20、S50、S90 不同工况下起升有效能（kJ）；

Q ——载荷质量，单位为千克（kg），取表 4.2.1 或表 4.3.1 中 S20、S50、S90 不同工况下载荷值；

H ——起升高度，单位为米（m），按表 4.2.1 或表 4.3.1 选取，实际检测起升高度与表中 H 值的偏差不超过 5%。

【条文说明】

通过公式量化有效能与供给能的比值，综合三种工况的能耗数据，全面评估整机能效。反馈电能计入有效能，体现节能技术的贡献。

5 机构当量检测法与能效计算

5.1 起升机构检测

5.1.1 起升机构检测时应保持其他机构静止，仅使用起升机构按规定检测程序与检测循环次数起吊检测载荷。

【条文说明】

各机构独立检测可精准分析能耗分布。

5.1.2 起升机构检测工况应按 20%最大额定起重量、50%最大额定起重量、90%最大额定起重量分别起吊载荷至 80%最大独立高度的，以额定运行速度完成相应的检测循环数，测量并记录各检测工况下消耗的电能。起升机构单独检测的起升高度、试验载荷、循环次数及折算系数见表 5.1.2。

表 5.1.2 起升机构单独检测工况

检测 高度 H (m)	机构独立循环检测法			机构当量检测法			
	起升试验载荷 (kg)	下降试验载荷 (kg)	检测循环 次数 n1	起升试验 载荷 (kg)	起升检测次 数 m1	下降试验载 荷 (kg)	下降试验次 数 m2
0.8Hmax	工况 S20 即 20%最 大额定起重量	S20 λ	5	工况 S20 即 20%最 大额定起 重量	5 (λ 0.4)	0	2 (λ 0.4)
					5 (λ 0.2)		1 (λ 0.2)
0.8Hmax	工况 S50 即 50%最 大额定起重量	S50 λ	5	工况 S50 即 50%最 大额定起 重量	5 (λ 0.4)	0	2 (λ 0.4)
					5 (λ 0.2)		1 (λ 0.2)
0.8Hmax	工况 S90 即 90%最 大额定起重量	S90 λ	5	工况 S90 即 90%最 大额定起 重量	5 (λ 0.4)	0	2 (λ 0.4)
					5 (λ 0.2)		1 (λ 0.2)

注 1: Hmax 为塔机最大独立安装高度，检测时不小于 30m；
 注 2: 表中 λ 按表 4.1.1 中塔机不同用途选取；
 注 3: 独立循环检测法为分别按照工况 S20、S50、S90 规定的检测高度、起升试验载荷与下降试验载荷进行起升机构能耗

运行检测，检测过程为加载→起升→卸载→下降为一个循环；若现场条件不满足独立循环检测法时，可选用当量检测法，按照规定的起升试验载荷与下降试验载荷分别检测。

【条文说明】

起升机构检测需独立进行，其他机构静止以避免能耗干扰。S20、S50、S90三种工况分别对应低、中、高负载，检测循环次数通过多次重复减少偶然误差。载荷比系数 λ 体现不同作业场景的载荷特征。当量检测法通过拆分起升与下降试验次数，适应现场条件限制，确保检测方法的普适性。

5.1.3 起升机构供给能应按如下方法检测：

1 独立循环检测法起升机构供给能检测应按式（5.1.3-1）计算

$$E_{XHS}^{in} = \sum_{i=1}^{n_1} E_{S20iS}^{in} + \sum_{i=1}^{n_1} E_{S50iS}^{in} + \sum_{i=1}^{n_1} E_{S90iS}^{in} \quad (5.1.3-1)$$

式中： E_{XHS}^{in} ——独立循环检测法起升机构供给能（kWh），用电表检测；

E_{S20iS}^{in} 、 E_{S50iS}^{in} 、 E_{S90iS}^{in} ——起升机构分别在 20%最大额定起重量（S20）、50%最大额定起重量（S50）、90%最大额定载起重量（S90）运行的第*i*个检测循环中消耗的电能（kWh）。

2 当量检测法起升机构供给能检测应按式（5.1.3-2）计算

$$E_{DLS}^{in} = \sum_{i=1}^{m_1} E_{Sjis上行}^{in} + \sum_{i=1}^{m_2} E_{Sjis下行}^{in} \quad (5.1.3-2)$$

式中： E_{DLS}^{in} ——当量检测法起升机构供给能（kWh），用电表检测；

$E_{Sjis上行}^{in}$ 、 $E_{Sjis下行}^{in}$ ——Sji 表示起升机构分别在 20%最大额定起重量（S20）、50%最大额定起重量（S50）、90%最大额定载起重量（S90）运行的第*i*个检测循环中消耗的电能（kWh），例如 20%最大额定起重量下起升机构上行供给能第 1 次检测则表示为： $E_{S20iS上行}^{in}$ 。

【条文说明】

独立循环检测法直接累加各工况下的总能耗，适用于条件较好的标准化环境；当量检测法则允许分阶段测量起升与下降能耗，适用于现场条件受限的情况。

5.1.4 起升机构反馈能应按如下方法检测：

1 独立循环检测法起升机构反馈能检测应按式（5.1.4-1）计算

$$E_{XHS下行}^{out} = \sum_{i=1}^{n_1} E_{S20iS下行}^{out} + \sum_{i=1}^{n_1} E_{S50iS下行}^{out} + \sum_{i=1}^{n_1} E_{S90iS下行}^{out} \quad (5.1.4-1)$$

式中： $E_{XHS下行}^{out}$ ——独立循环检测法起升机构下行反馈能（kWh），用电表测量。

2 当量检测法起升机构反馈能检测应按式（5.1.4-2）计算

$$E_{DLS下行}^{out} = \sum_{i=1}^{m2} E_{S20iS下行}^{out} + \sum_{i=1}^{m2} E_{S50iS下行}^{out} + \sum_{i=1}^{m2} E_{S90iS下行}^{out} \quad (5.1.4-2)$$

式中： $E_{DLS下行}^{out}$ ——当量检测法起升机构下行发电量（kWh），用电表测量。

【条文说明】

反馈能检测针对塔机下降阶段可能产生的电能回馈电网的情况。独立循环检测法和当量检测法分别累加不同工况下的反馈电能，体现节能技术的贡献。此条款强调对再生能源的量化，为能效计算提供完整数据基础。

5.1.5 起升机构有效能应按式（5.1.5-1）计算：

$$W_{S总有效能} = \sum_{i=1}^n W_{S20iS有效能} + \sum_{i=1}^n W_{S50iS有效能} + \sum_{i=1}^n W_{S90iS有效能} \quad (5.1.5-1)$$

$$W_{S有效能} = \frac{9.8QH}{1000} \quad (5.1.5-2)$$

式中： $W_{S总有效能}$ ——起升机构起升有效能（kNm）；

n ——起升机构起升次数，起升机构独立循环检测法取表 5.1.2 中 $n1$ 值，当量检测法取表 5.1.2 中 $m2$ 值；

$W_{S20S有效能}$ 、 $W_{S50S有效能}$ 、 $W_{S90S有效能}$ ——起升机构分别在 20%最大额定起重量（S20）、50%最大额定起重量（S50）、90%最大额定起重量（S90）工况下起升运行的有效能（kNm），按式（5.1.5-2）计算。

Q ——检测用载荷质量，单位为千克（kg），取表 5.1.2 中 S20、S50、S90 不同工况下载荷值；

H ——检测起升高度，单位为米（m），见表 5.1.2。

【条文说明】

基于物理做功原理进行有效能计算，将起升载荷的质量与高度转化为机械能。机械能单位为千焦（kJ），与能耗单位千瓦时（kWh）统一，便于能效比值的直接计算。特别说明中要求实际起升高度偏差超过 5%时按实测值修正，确保计算结果的客观性。

5.2 变幅机构检测

5.2.1 变幅机构检测时，其余机构不运行。变幅机构应以额定速度完成检测循环，测量并记录塔机消耗的电能。变幅机构单独检测的试验载荷、检测循环次数见表 5.2.3。

5.2.2 变幅过程中吊具或重物应提升至最大独立高度。

【条文说明】

要求吊具或重物提升至最大独立高度，旨在消除重物晃动惯性力对变幅能耗的影响。此规定确保变幅机构的能耗仅由其自身运动产生，数据更具针对性。

5.2.3 变幅机构能耗检测过程以每种试验载荷下 90%最大幅度处作为变幅起点，应按照表 5 规定变幅距离向塔身方向变幅，达到变幅距离 D 后启动反向变幅回到起始位置为一次变幅循环。

表 5.2.3 变幅机构单独检测工况

试验载荷 (kg)	起始幅度 L (m)	变幅距离 D (m)	循环次数 n ₂
工况 S20 即 20%最大额定起重量	90%S20 相应最大幅度	70%相应最大幅度	5
工况 S50 即 50%最大额定起重量	90%S50 相应最大幅度	70%相应最大幅度	5
工况 S90 即 90%最大额定起重量	90%S20 相应最大幅度	70%相应最大幅度	5
注 1: 额定起重量包括可分吊具重量;			
注 2: 应按表 5.2.3 规定的变幅距离、试验载荷及循环次数运行变幅机构，检测变幅过程消耗电能;			

5.2.4 变幅机构能耗应按式 (5.2.4) 计算:

$$E_F^{in} = \sum_{i=1}^{n_2} E_{S20iF}^{in} + \sum_{i=1}^{n_2} E_{S50iF}^{in} + \sum_{i=1}^{n_2} E_{S90iF}^{in} \quad (5.2.4)$$

式中: E_F^{in} ——变幅机构变幅过程中的综合能耗 (kWh);

E_{S20iF}^{in} 、 E_{S50iF}^{in} 、 E_{S90iF}^{in} ——变幅机构分别在 20%最大额定起重量 (S20)、50%最大额定起重量 (S50)、90%最大额定起重量 (S90) 运行的第 i 个检测循环中消耗的电能 (kWh)。

5.3 回转机构检测

5.3.1 检测回转机构能耗时，应按表 5.3.1 规定试验载荷及起始幅度，将吊具及重物下平面提升至最大独立高度。

表 5.3.1 回转机构单独检测工况

试验载荷 (kg)	起始幅度 L (m)	回转角度 R (°)	循环次数 n3
工况 S20 即 20%最大额定起重量	90%S20 相应最大幅度	180	5
工况 S50 即 50%最大额定起重量	90%S50 相应最大幅度	180	5
工况 S90 即 90%最大额定起重量	90%S90 相应最大幅度	180	5

注 1: 额定起重量包括吊具重量;
注 2: 应按表 5.3.1 规定的起始幅度、试验载荷及循环次数运行变幅机构, 检测回转过程消耗电能;

5.3.2 检测回转机构能耗, 应先旋转 180 度, 再反向旋转 180 度回到起点, 作为一个循环。

【条文说明】

检测流程要求“先旋转 180°, 再反向旋转 180°”, 形成一个完整循环, 消除单向旋转可能产生的机械偏差。

5.3.3 回转机构综合能耗应按式 (5.3.3) 计算:

$$E_Z^{in} = \sum_{i=1}^{n3} E_{S20iZ}^{in} + \sum_{i=1}^{n3} E_{S50iZ}^{in} + \sum_{i=1}^{n3} E_{S90iZ}^{in} \quad (5.3.3)$$

式中: E_Z^{in} ——回转机构回转过程中的综合能耗 (kWh);

E_{S20iZ}^{in} 、 E_{S50iZ}^{in} 、 E_{S90iZ}^{in} ——回转机构分别在 20%最大额定起重量 (S20)、50%最大额定起重量 (S50)、90%最大额定起重量 (S90) 运行的第 i 个检测循环中消耗的电能 (kWh)。

5.4 待机能耗检测

5.4.1 在 3.4 规定的检测点位置接入并开启电能测量仪, 应保证电能测量仪在检测过程中不受外界条件的干扰。

5.4.2 起升、回转、变幅机构均应处于初始位置, 即回到零位。并应开启主电源控制回路、超载保护装置、照明装置、智能监控装置等, 但不应开启冷暖空调设备。

5.4.3 塔式起重机应处于待机状态检测 15min, 记录待机能耗值。

5.4.4 智能监控装置每小时能耗小于 0.1kW·h 时, 可不计入能效计算中, 但应在检测报告中说明。

5.5 机构检测法塔机能效计算

5.5.1 独立循环检测法检测的塔机综合能效应按式 (5.5.1) 计算:

$$\eta_{JG.总XH} = \frac{W_{S.总有效能} + 3.6 \times 10^3 \left(E_{XHS \text{ 下行}}^{out} \right)}{3.6 \times 10^3 (E_{XHS}^{in} + E_F^{in} + E_Z^{in} + E_D)} \quad (5.5.1)$$

式中： $\eta_{JG.总XH}$ ——机构检测法检测总能效；

E_D ——待机能耗，单位为千瓦时（kW·h）。测量方法见 5.4 节。

5.5.2 当量检测法检测的塔机综合能效应按式（5.5.2）计算。

$$\eta_{JG.总DL} = \frac{W_{S.总有效能} + 3.6 \times 10^3 \left(E_{DLS \text{ 下行}}^{out} \right)}{3.6 \times 10^3 (E_{DLS}^{in} + E_F^{in} + E_Z^{in} + E_D)} \quad (5.5.2)$$

式中： $\eta_{JG.总DL}$ ——当量检测法检测总能效。

5.6 机构能耗占比

5.6.1 机构检测法塔机总能耗应按式（5.6.1）计算：

$$T_{JG.总} = E_S^{in} + E_F^{in} + E_Z^{in} + E_D \quad (5.6.1)$$

式中： $T_{JG.总}$ ——机构检测法检测总能耗（kWh）；

E_S^{in} ——机构检测法起升机构总能耗（kWh），若采用独立循环检测法则取 E_{XHS}^{in} ，若采用当量检测法则取 E_{DLS}^{in} 。

5.6.2 起升机构能耗与总能耗比值应按式（5.6.2）计算：

$$\varphi_S = \frac{E_S^{in}}{T_{JG.总}} \quad (5.6.2)$$

式中： φ_S ——机构检测法起升机构能耗与总能耗比值，若采用独立循环检测法则 E_S^{in} 取 E_{XHS}^{in} ， φ_S 以 φ_{XHS} 表示；若采用当量检测法则 E_S^{in} 取 E_{DLS}^{in} ， φ_S 以 φ_{DLS} 表示。

5.6.3 变幅机构能耗与总能耗比值应按式（5.6.3）计算：

$$\varphi_F = \frac{E_F^{in}}{T_{JG.总}} \quad (5.6.3)$$

式中： φ_F ——机构检测法变幅机构能耗与总能耗比值。

5.6.4 回转机构能耗与总能耗比值按式（5.6.4）计算：

$$\varphi_Z = \frac{E_Z^{in}}{T_{JG.总}} \quad (5.6.4)$$

式中： φ_Z ——机构检测法回转机构能耗与总能耗比值。

【条文说明】

通过公式计算机构能效及能耗占比，识别高耗能环节。

6 行走机构检测

6.1 轨道行走式塔机应检测行走机构能效，分别进行空载行走和负载行走检测。

6.2 空载行走应按如下步骤进行：起重臂平行于轨道并位于行进方向，小车变幅式塔机小车幅度为 20m，吊钩提升到上极限位置。按额定行走速度，先向前行走 20m，完成一个工作循环；起重臂回转 180°（不计回转所用时间、耗电量），反向行走 20m 返回原点为一个工作循环，共进行 4 个工作循环检测，分别记录每个工作循环耗电量。

6.3 负载行走应按如下步骤进行：检测载荷为 50% 额定起重量，起重臂平行于轨道并位于行进方向，小车变幅式塔机小车幅度为 20m，检测载荷底面距轨道面上方 1m。按额定行走速度，先向前行走 20m，完成一个工作循环；起重臂回转 180°（不计回转所用时间、耗电量），反向行走 20m 返回原点，完成第二个工作循环，共进行 4 个工作循环检测，分别记录每个工作循环耗电量。

6.4 行走机构能耗应按式（6.4）计算：

$$E_{行走机构}^{in} = \sum_{i=1}^n E_{空载行走} + \sum_{i=1}^n E_{负载行走} \quad (6.4)$$

式中： $E_{行走机构}^{in}$ ——行走机构检测能耗（kWh）；

$E_{空载行走}$ ——空载行走检测一个工作循环的耗电量（kWh）；

$E_{负载行走}$ ——负载行走检测一个工作循环的耗电量（kWh）。

6.5 行走机构与总能耗比值应按式（6.5）计算：

$$\varphi_{行走机构} = \frac{E_{行走机构}^{in}}{T_{JG.总} + E_{行走机构}^{in}} \quad (6.5)$$

式中： $\varphi_{行走机构}$ ——行走机构能耗与总能耗比值；

$T_{JG.总}$ ——机构检测法塔机总能耗按式（5.6.1）计算；

【条文说明】

由于具有行走机构的塔式起重机占有所有塔式起重机比例很小，且起重工作过程中行走机构应保持固定不工作，因此行走机构作为单独章节进行能效检测。

7 检测报告

7.0.1 检验报告包括的内容应符合行业标准《施工升降机能效分级及评定方法》JB/T 14037 的相关规定：

- 1 试验设备的名称和编号；
- 2 试验报告编号；
- 3 塔机的产品序列号或编号；
- 4 塔机的型式/型号、技术参数；
- 5 制造商名称和地址；
- 6 检测日期；
- 7 检测者姓名；
- 8 直接或间接测量的参数值，包括起升能耗、下降发电量、变幅能耗、智能监控装置能耗等；
- 9 检查发现的缺陷；
- 10 检测结果。

【条文说明】

报告内容需完整记录检测参数、结果和缺陷。

7.0.2 塔式起重机产品的铭牌应注明能效检测结论及检测报告编号。

用词说明

1 为便于在执行本导则条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定（或要求）”或“应按……执行”。

引用标准名录

本标准引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本标准；不注日期的，其最新版适用于本标准。

《机械安全 机械电气设备 第 32 部分：起重机械技术条件》GB 5226.2-2002

《电能质量公用电网谐波》GB/T 14549

《电能质量 三相电压不平衡》GB/T 15543

《塔式起重机》GB/T 5031

《施工升降机能效分级及评定方法》JB/T 14037