

4

紧固的可靠性

4-1.螺栓紧固不良的特性	
螺栓紧固的4个错误 (4M)	
_____	46
4-2.螺栓紧固不良的特性因素	
螺栓紧固不良的特性因素图	
_____	47
4-3.螺栓紧固的可靠性	
螺栓紧固的可靠性和紧固作业	
_____	48
4-4.设备错误	
(1) 设备错误	
_____	49
(2) 接头系数	
_____	51
4-5.人为错误	
(1) 人为错误	
_____	53
(2) 如何使用扭矩仪器	
_____	56
4-6.螺栓紧固的可靠性和螺栓	
螺栓紧固的可靠性和螺栓	
_____	58
4-7.构建紧固的可靠性系统	
构建紧固的可靠性系统	
_____	59
4-8.从扭矩控制到紧固保证系统	
(1) 东日紧固保证系统	
_____	60
(2) 系统结构示例	
_____	62

什么是紧固的可靠性？

螺栓紧固的可靠性简而言之即正确紧固螺栓。然而，根据情况分为以下几种保证级别。

1. 在紧固检查（加拧检查）中合格
2. 按图纸指示的设定扭矩（公差范围内）紧固螺栓
3. 达到设定的初始紧固力（初始轴力）紧固螺栓
4. 达到设定的使用紧固力（轴力）紧固螺栓
5. 部件、螺栓未发生松动、破损、泄露等情况，螺栓达到其使用目的。

即使紧固扭矩保持一定，所产生的初始轴力仍会有很大变动。因此，扭矩方法中讲述的“螺栓紧固可靠性”，其目标并不是让轴力保持一定，而是保持在指定变动幅度内。不仅要提高螺栓紧固作业的可靠性，而且要结合上述保证级别，做到即便使用的轴力发生变化，也不会发生问题，这一点非常重要。这就是“螺栓紧固可靠性”的特性。

4-1 螺栓紧固不良的特性

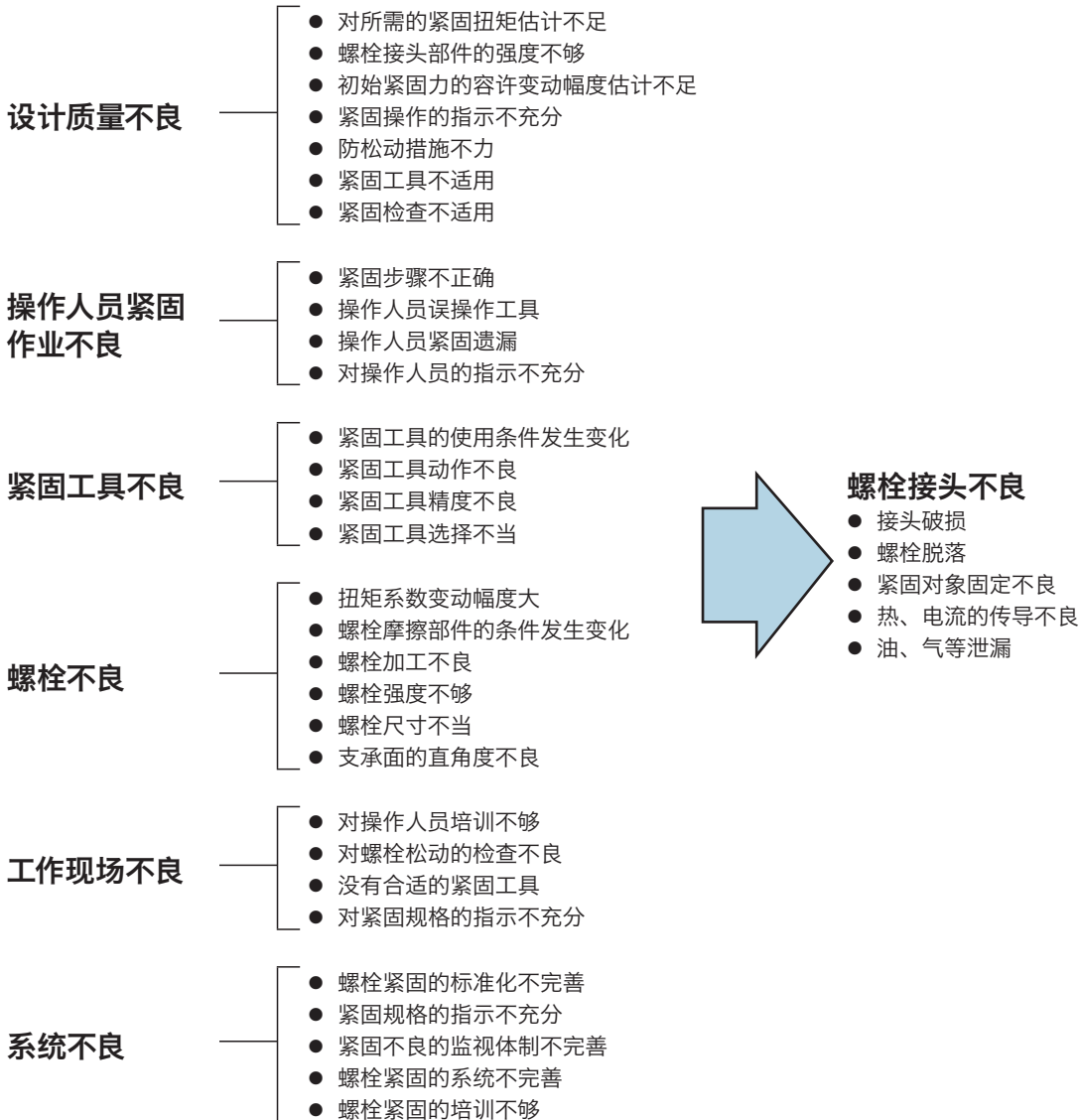
螺栓紧固的4个错误

- 1.** MAN ————— 紧固遗漏
 (紧固操作人员的人为错误) 错误使用紧固工具
- 2.** METHOD ————— 紧固值设定不当
 (紧固方法不当) 紧固步骤不正确
 紧固工具选择不当
- 3.** MACHINE ————— 精度不良
 (紧固设备不当) 动作不良
- 4.** MATERIAL ————— 部件超出公差
 (螺栓接头材质不当) 部件材质不良
 螺栓润滑不足

4-2

螺栓紧固不良的特性因素图

螺栓紧固不良的特性因素图



4-3 螺栓坚固的可靠性

螺栓坚固的可靠性和紧固作业

螺栓只有通过正确的紧固作业才能产生夹紧力，并发挥其作用。然而，对于已经坚固的螺栓，事后无法准确检查其是否已被正确紧固。因此，对于紧固作业而言，作业时由操作人员自身检查紧固精度，远比事后检查重要得多。这便是所谓的“紧固同时提高质量意识”。

影响紧固作业可靠性的因素可分为两大类：由于紧固工具不良造成的设备不良和由于操作人员操作不当产生的人为错误。

一般情况下，紧固工具从紧固精度划分大致可分为表4-1中所示的三类。紧固扭矩的容许公差，应根据与容许离差幅度的关系决定，并实现标准化。即使以超出要求的高精度进行紧固，紧固力的变动也不会产生大的影响。

图4-1. 紧固扭矩的精度和紧固力的离差

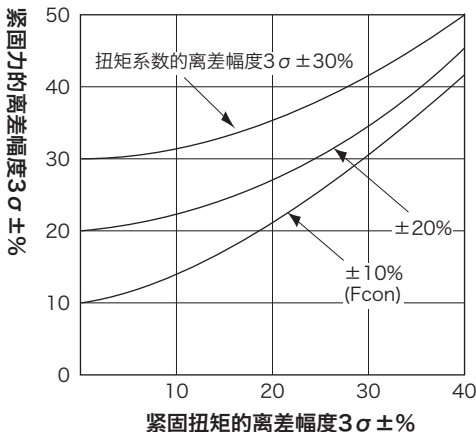


表4-1. 紧固方法分类

方法	机理	精度范围 (3σ)	紧固工具
①根据猜测	操作人员根据力或声音等判断紧固到位后，停止紧固作业。	±30%以上	<ul style="list-style-type: none"> · 手动式扳手 · 手动式螺丝刀 · 冲击扳手 (无扭矩控制)
②根据最大容量	通过调整压力或电流紧固螺栓，直到马达失速或离合器滑移为止。	±10~30%	<ul style="list-style-type: none"> · 失速型 · 滑移离合器型 · 冲击扳手 (控制型)
③根据扭矩检查	测量紧固扭矩，并在达到所需扭矩时停止紧固。	±10%以内	<ul style="list-style-type: none"> · 扭力扳手 · 机械式扭矩控制 · 电动式扭矩控制

4-4 设备错误

(1) 设备错误

发现紧固扭矩变化的两种方法

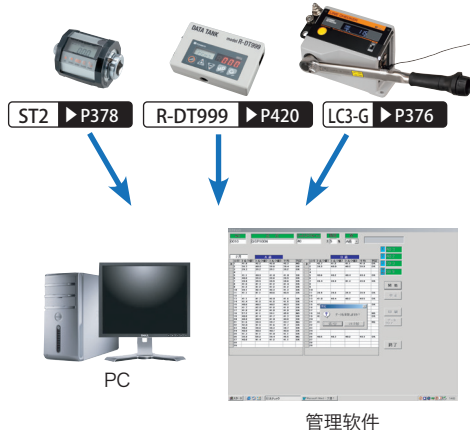
对于任何紧固工具，随着设备的损耗，紧固扭矩将发生变化，精度得不到保证。然而在大多数情况下，操作人员往往不知道紧固扭矩已发生变化，从而导致大量的产品质量不良。需要采用两种方法识别紧固扭矩的变化。

第一种方法使用日常检查和定期校准，定期确认紧固工具的使用扭矩。

■ 日常检查

紧固作业前后进行扭矩仪器的日常检查，将发生问题的风险降到最低。用于日常检查的仪器应便于操作，并费时较少。

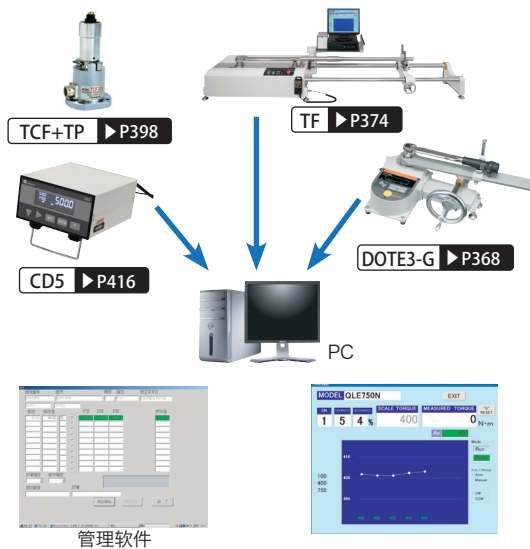
日常检查 (检验器+PC+管理软件)



■ 定期校准

定期校准与日常检查不同，必须精确测量扭矩仪器的精度，以保证作业使用的紧固工具精度。校准结果往往与实际的紧固扭矩不同，这也是动力式紧固工具的一个常见问题。(P.51图4-2) 这种差异主要是由于校准过程并没有准确地复制接头的软硬（接头系数）等条件，因此模拟实际的螺栓紧固条件是非常重要的。

定期校准 (检测仪+PC+管理软件)



请注意，用于检查和校准的检验器和检测仪本身也必须定期校准，并有必要建立溯源性。

4-4 设备错误

第二种方法是对坚固的螺栓进行抽样，并使用加拧扭矩检查法进行检查，推算出工具的紧固扭矩。

■ 检查数据管理系统

随着电子设备的发展，可以对紧固扭矩值和加拧扭矩值进行监视，并将此作为记录保存下来。记录的数据可以提交到第三方，用于证明其防范产品质量的责任。然而，监视应使用独立于紧固扭矩控制系统的测量系统。否则，无法监视控制系统内的异常状况。

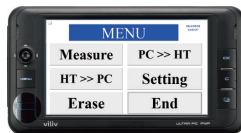


数字式扭力扳手

CEM3-G-BT / CTB2-G-BT
▶ P282 / ▶ P294



无线连接



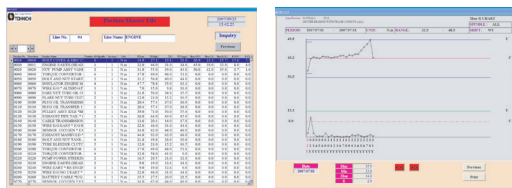
检查数据管理系统 ▶ P314

无线连接



PC

使用这些方法，可以预测紧固工具的损耗程度和变化趋势，做好预防维护工作。紧固工具虽然不太容易发生突发性的精度不良现象，但一旦发生问题，将会导致出现大量的次品。因此，紧固工具的定期校准和加拧检查频率，最好保持在即使出现一些不良状况也可以修复的范围内。



东日扭矩产品手册 Vol.8

4-4 设备错误

(2) 接头系数

在讨论扭矩仪器的静态特性时，只需考虑紧固扭矩的问题，而不需考虑螺丝旋转的问题。但是，当讨论动力特性（用螺母紧固机进行扭矩过载测量）时，就会出现紧固扭矩如何随螺丝旋转而增加的问题。一般定性地称为“软接头”或“硬接头”但还是有必要对其进行量化表达。接头系数（e）定义如下。

[1] 接头系数（e）的定义

螺丝的紧固扭矩和旋转之间的关系如图4-2所示。T=T₀时，此接头的接头系数（e）按公式（1）进行定义。
使用旋转角（θ）按公式（2）进行定义。

$$e = \frac{1}{T_0} \left(\frac{dT}{dn} \right)_{T=T_0} \dots\dots\dots \text{公式 (1)}$$

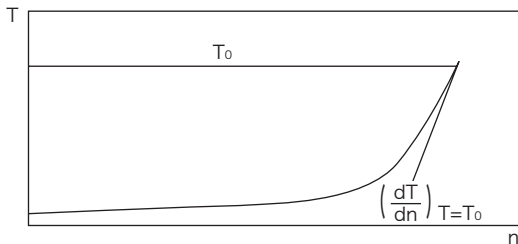
n : 螺丝的旋转数
T₀ : 紧固扭矩

$$\theta = 360n \quad d\theta = 360dn$$

$$e = \frac{360}{T_0} \left(\frac{dT}{d\theta} \right)_{T=T_0} \dots\dots\dots \text{公式 (2)}$$

θ : 螺丝的旋转角 (°)

图4-2



[2] 接头系数的含义

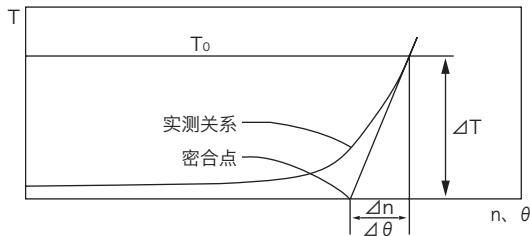
- ① 为使说明更简洁易懂，将扭矩和旋转量（旋转角）之间的关系用直线表示，如下，e=10表示在Δn=1/10 转或Δθ=36° 即可从密合扭矩到达紧固扭矩。
- ② 接头系数（e）是无量纲量，不随螺丝的尺寸大小而改变。

$$e = \frac{1}{T} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta n} \quad \Delta T = T_0$$

$$e = \frac{1}{\Delta n} \quad \text{或} \quad e = \frac{360}{\Delta \theta}$$

$$\Delta n = \frac{1}{e} \quad \Delta \theta = \frac{360}{e}$$

图4-3



4-4 设备错误

[3] 接头系数的取得方法

① 图示法

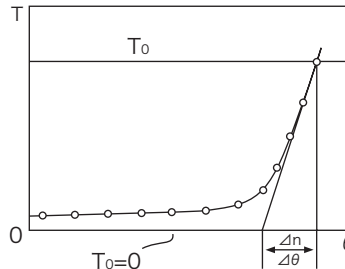
根据实际的螺丝测量紧固扭矩和旋转量（角）。（此时，旋转量即角度的原点不需考虑。）将测得的值如图4-4所示画在图纸上，并根据在指定的紧固扭矩（ T_0 ）处的切线求出 Δn 或 $\Delta \theta$ 。

可从公式（3）和（4）求得（e）。

$$e = \frac{1}{\Delta n} \dots\dots\dots \text{公式 (3)}$$

$$e = \frac{360}{\Delta \theta} \dots\dots\dots \text{公式 (4)}$$

图 4-4



② 简易法

先拧至紧固扭矩（ T_0 ）的80%。然后根据继续加拧到 T_0 时的旋转角（ $\Delta \theta$ ），使用公式（5）求得（e）。

$$e = \frac{72}{\Delta \theta'} \dots\dots\dots \text{公式 (5)}$$

$$e = \frac{360}{T_0} \cdot \frac{T_0 - 0.8T_0}{\Delta \theta'}$$

接头系数的实测示例。

*使用上述（2）简易法

螺栓：M8

紧固扭矩（ T_0 ）：13.4 [N·m] 时，0.8 T_0 为10.7 [N·m]

① 准备

将分度器置于测量螺栓的外围。（分度器应有一个孔，将螺栓放于中间。）

对准刻度线与套筒外围的指针。

② 测量

先紧固至0.8 T_0 （10.7 [N·m]）。

下一步，将分度器的指针对准“0”。

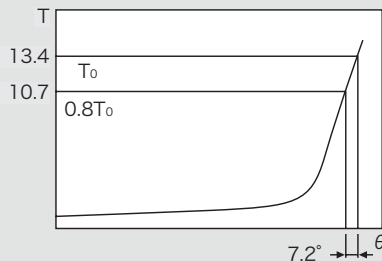
然后紧固至 T_0 （13.4 [N·m]），读取此时的角度（7.2°）。

③ 计算

由简易法的公式可得 $e = \frac{72}{\Delta \theta} = \frac{72}{7.2} = 10$

一般接头皆可通过此公式计算

图4-5



4-5 人为错误

(1) 人为错误

对于紧固作业的可靠性而言，人为错误是最棘手的问题。要考虑到人本来就是会犯错误的。而且也难以通过机器来监视所有的人为错误。但我们也必须要考虑到这一事实，即人为错误是可以通过培训减少的。操作人员进行紧固作业的同时，还要负责目测检查，对设备错误或损伤等螺栓紧固不良进行监视。目测检查是提高螺栓紧固可靠性的非常有效的方法。

在人为错误中，最常见的问题便是“紧固遗漏”。为了更加均匀有效地紧固螺栓，往往先预紧固，然后再正式紧固至所需扭矩。但在这种情况下，由于预紧固的螺栓和完全紧固的螺栓目测难以区别，所以很容易忘记正式紧固。这种人为错误经常发生，难以通过抽查发现。

为避免发生“紧固遗漏”的人为错误，在完全紧固的同时要仔细确认螺栓是否已完全紧固，这一点非常重要。紧固确认方法中，有达到设定扭矩时输出紧固完成信号并进行计数的计数法，还有通过紧固扭矩值判断合格与否的监视法，以及用扭力扳手在螺栓头部施加标记的标记法。通过选择最适合每个工作环境的方法，可以有效防止紧固遗漏。

“误操作”也是一种较为常见的人为错误，例如在紧固结束前就停止扳动扭力扳手，或松开动力式工具的扳机。



4-5 人为错误

紧固确认方法中，有达到设定扭矩时输出紧固完成信号并进行计数的计数法，还有通过紧固扭矩值判断合格与否的监视法，以及用扭力扳手同时在螺栓头部施加标记的标记法。通过选择最适合每个工作环境的方法，可以有效防止紧固遗漏。

计数法

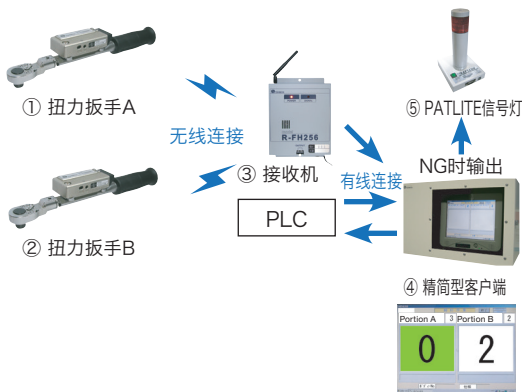
当达到设定扭矩时，输出紧固完成信号，该信号通过计数器（CNA-4mk3）进行紧固个数确认。除有线计数法（QSPLS等）之外，还可使用限位开关发送信号的无线计数法（QSPFH等）。



计数查错器最多可连接四个扭力扳手。
在无线条件下，需要使用I/O-FH256。

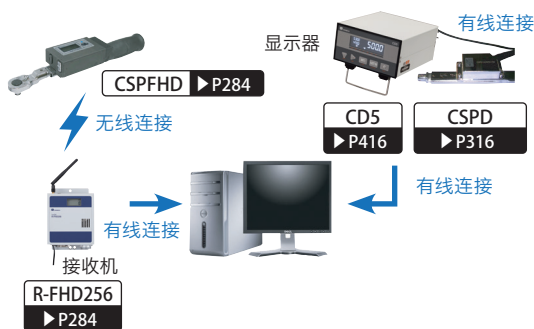
从精简型客户端（PC）使用FH接收机RS-232C输出的ID识别示例。

这是用于紧固一个工件的两个位置时使用的无线防错（Pokayoke）系统。从PLC（可编程控制器）收到机号的指示时，该工具即可进行紧固。在A部分，用扭力扳手A紧固三个螺栓。紧固完毕后，将会显示B部分的紧固螺栓，并可进行紧固。使用扭力扳手B，紧固这两个螺栓，并且当紧固作业完成后会向PLC发送OK信号。如果在A部分使用扭力扳手B，会发生错误，并且显示屏变为红色，指示错误检查警告，以确保使用正确的扭力扳手紧固螺栓。同时会输出给信号灯一个NG信号。此外，由于A部分的紧固完成后才能进行B部分的紧固，故紧固作业的步骤也保持不变。使用精简型客户端，可为每个机号存储和处理数据。



监视法

除检查紧固个数外，还会显示实际的紧固扭矩，可判断扭矩是否在标准范围之内，并储存数据。增加了紧固的可靠性。分为有线系统（CSPD + CD5）和无线系统（CSPFHD）。还可用于动力式工具的数据备份。



从精简型客户端（PC）使用CSPFHD接收机RS-232C输出的ID识别示例。



标记法

当紧固扭矩达到设定值时会做紧固确认标记。以前的系统曾发生问题，例如向套筒内放入装满油墨的海绵的方法，因为对扳手进行简单的设定即可做标记，所以这并不代表已进行紧固确认。此外，对于使用标记笔做标记的方法，做标记本身变成了一项作业，而且即使未进行紧固也可以做标记，这也不符合标记系统的要求。

为解决此问题，可使用标记扭力扳手，只有当使用扭力扳手，并确实施加了紧固扭矩时，才可做标记，可同时防止紧固遗漏和误操作；此种类型的扳手包括用于六角螺栓的MPQL型号和带六角孔螺栓的CMQSP型号。



4-5 人为错误

(2) 如何使用扭矩仪器

1. 选择附件时的注意事项

- 六角套筒、万向接头和柔性接头可能会对紧固精度产生不利影响。
- 延长杆和扭杆可能会对扭矩仪器产生不利影响。
- 套筒、刀头和转接头等请在强度范围内使用。
- 使用与螺丝尺寸匹配的套筒和刀头。


如选用不同的套筒和延长杆等附件，可能会对紧固精度和仪器耐久性产生不利影响。选择附件时请注意。

2. 开始作业时的检查事项

- 确认使用扭矩。
对于预置型产品，确认刻度值是否设定为正确使用扭矩。
对于单功能型，确认扭矩值是否设定正确。
- 检查本体是否有划痕或生锈。
- 确认本体有无变形。
- 确认部件是否缺失。（特别注意棘轮部分是否损坏。）
- 检查套筒和刀头是否有磨损。

快速检测部件的老化和损坏状况，使用正常的设备进行紧固作业。

3. 手动式扭力工具的施力方法

-  向标示“ONLY”的方向施力。（如何使用参照P.320）
- 在有效长度线施力。（如何使用参照P.320）
- 水平方向（推动）施力。（如何使用参照P.320）
- 垂直方向施力。（如何使用参照P.320）
- 请勿施力过猛。
- 施力时请勿将身体的重量施加于物体上。
- 听到“咔嗒”的声音或感觉到紧固已完成，迅速停止施力。
- 请勿对相同螺栓重复进行两到三次操作。

作业姿势不当，将可能无法正确使用扭力工具。务必确认施力的作业环境。

4. 使用手动式扭力工具的注意事项

- 注意请勿让工具进灰或进水。
- 请勿掉落或触碰其他物体。
- 请勿施加过载扭矩。
- 请勿用于螺栓拧松操作。
- 使用带延长手柄的工具。（QLE2、CLE2）
- 请勿在手柄后加管以延长其长度使用。
- 请勿在刻度范围外使用。

5. 保管时的注意事项

- 保管扭力工具时，将刻度调低。（预置型）
- 保管在温差变化不大的低湿度场所。
- 如果工具长时间不用，定期进行检查。

6. 使用动力式扭力工具的注意事项

- 用调节器调整使用压力（出气口气压）。
- 确保使用压力不发生变化。
- 使用规定直径的空气软管。
- 请勿使用超出所需长度的空气软管。
- 注意请勿让设备进灰或进水。
- 第一次连接时，向空气软管吹气后再连接。
- 适用润滑油（ISO VG32（涡轮机油 #90））。
- 使用三件套装（调压器、过滤器、注油器）。
- 设备超过一周或更长时间不使用时，将润滑油直接滴入进气口（约10滴），轻轻转动一下，然后再妥善保管。
- 继续拉起动杆直到紧固完成。（自动停止或自动反转）
- 请勿对相同螺栓重复进行两到三次操作。

4-6

螺栓坚固的可靠性和螺栓

螺栓坚固的可靠性和螺栓

为保证“螺栓坚固的可靠性”，必须首先保证螺栓本身的可靠性。

按照指定扭矩紧固螺栓时，初始轴力需控制为不超过标准化或设计所指定的范围。因为扭矩系数会随支承面和螺纹部件的摩擦而发生变化，所以务必对螺纹进行润滑、表面硬度和表面处理等。类似建筑用高强度螺栓，可用轴力计测量扭矩系数，检验其是否在指定的变化范围内，进一步提高螺栓坚固的可靠性。此时，需要抽取一定数量的样本确定扭矩系数的变化范围。

螺栓连接件包括螺栓、螺母和接头。因此，当向接头添加润滑油或对接头进行表面处理时请注意操作，特别是使用石蜡基油或铅基润滑油时。扭矩系数会变小，并且初始轴力会大幅增加。

另外，接合面的变化、平行度、中间的垫圈或涂层，都会对夹紧力产生影响。“卡死”或“放置不当”也会影响螺栓的可靠性。最近已开发出一种轴力稳定剂（Fcon），可通过稳定扭矩系数从而稳定轴力，这对于改善上述问题非常有效。



Fcon ▶ P438



4-7

构建紧固的可靠性系统

构建紧固的可靠性系统

如P.47图所示，有诸多影响“螺栓紧固可靠性”的因素。如要完全排除这些因素，必须进行整体的系统性考量。

如果不能对设计、紧固作业、螺栓以及工作场所的可靠性在各个阶段分别加以充分协调的话，就可能减少螺栓紧固错误。

首先，必须确认设计是否合理，并确定其前提条件。例如对扭矩方法而言，需要设计、紧固作业和检查人员对紧固扭矩、公差、扭矩系数和离差幅度、使用紧固力和检查方法等达成一致共识。

因此，最好能通过标准化实现系统化。构建“螺栓紧固的可靠性”系统，必须要排除“设备错误”和“人为错误”。为保持可靠性已提出了各种方法，但其有效范围各不相同。（表4-2）比较理想的做法是根据所需的可靠性，从这些方法中选择几种方法同时使用，一边用最小成本和时间全面排除所有不利因素。即使构建了昂贵的系统，但如果缺少了某个方面，也不能保证其可靠性。螺栓紧固的标准化

可使售后服务变得更加简单。即使已在工厂成功采用了特殊紧固方法，但如果不能在工作场所重现相同紧固的话，可靠性也会大打折扣。广义上“螺栓紧固的可靠性”系统必须包括维护在内。

因为螺栓较易产生较大的夹紧力，所以大量应用于产品装配，但因为螺栓紧固有许多不确定因素，会影响产品乃至整个系统的可靠性。

表4-2.确认螺栓可靠性的方法

方法	设备错误	人为错误	螺栓的可靠性	
			目测检查	非目测检查
1) 100%加拧检查	◎	◎	×	◎
2) 二步紧固（双重检查）	◎	◎	×	◎
3) 抽样加拧检查	◎	×	×	○
4) 定期检查紧固工具	◎	×	×	×
5) 紧固操作人员目测检查	×	○	◎	×
6) 标记法（套筒）	×	○	×	○
7) 通过标记确认紧固完成	×	◎	×	◎
8) 通过计数确认紧固完成	×	◎		×
9) 通过紧固扭矩控制数据合格与否判断	○	◎		×
10) 通过保存的紧固扭矩控制数据确认	○	◎		×
11) 紧固扭矩监视（独立）	◎	◎		○
12) 紧固扭矩角度监视	○	◎		◎
13) 夹紧力测量（伸长率、超声波）	◎	◎		◎
14) 抽样检测扭矩系数	×	×		○
15) 抽样检测产品	◎	×		○

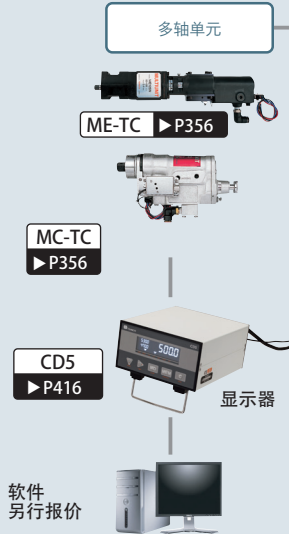
◎:有效, ○:略微有效, ×:无效,

4-8

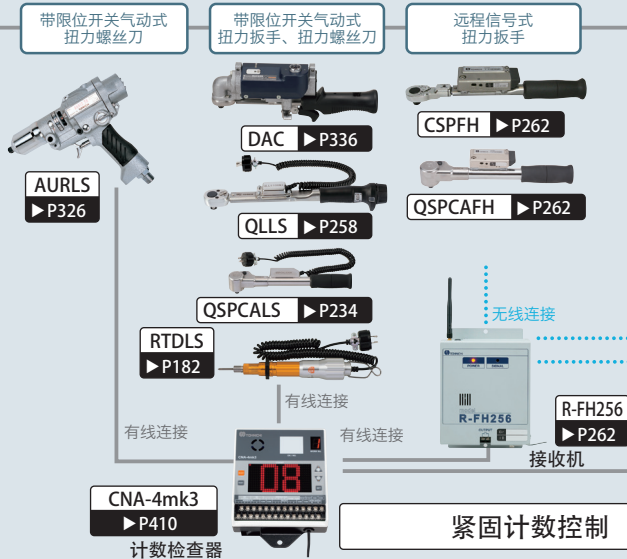
从扭矩控制到紧固保证系统

(1) 东日紧固保证系统

气动式紧固数据管理系统



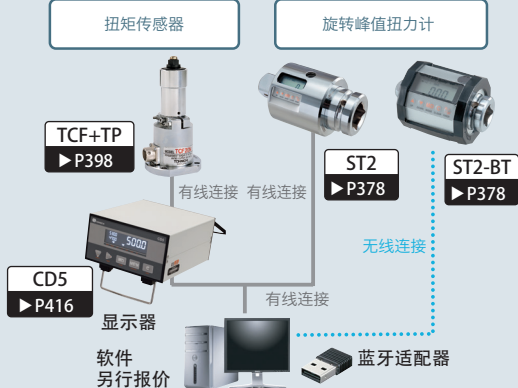
Pokayoke、防错系统



气动式工具用工具管理系统

定期校准

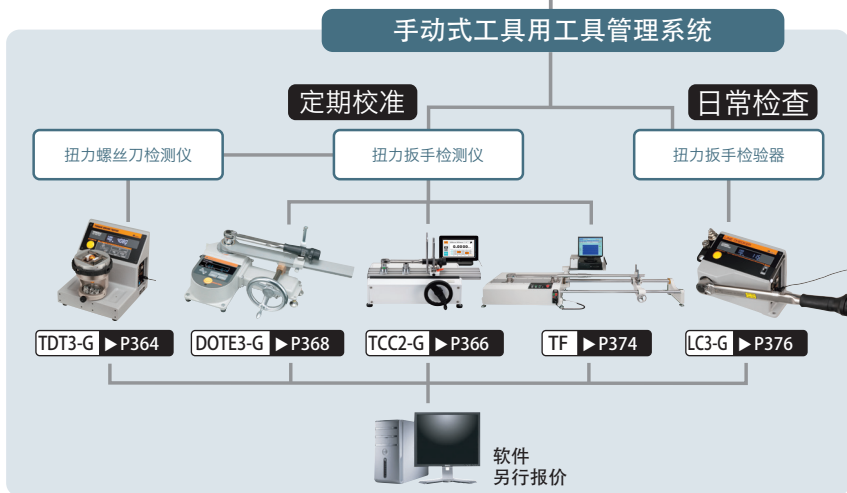
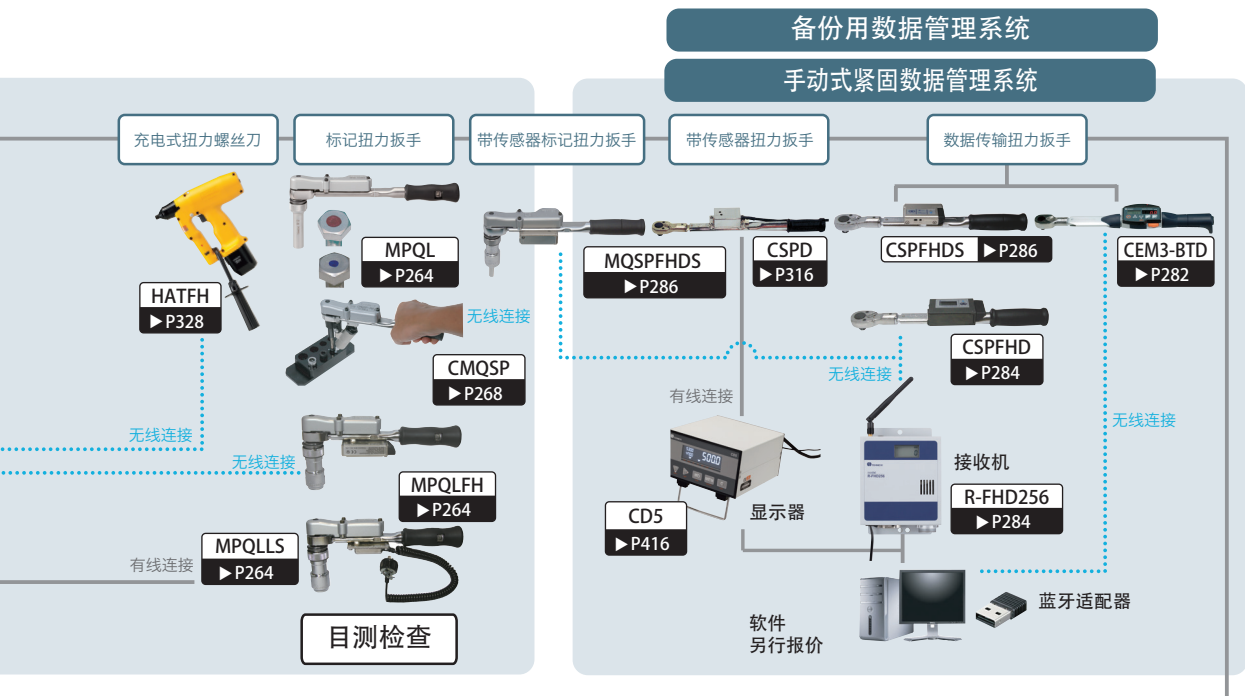
日常检查



检查数据管理系统



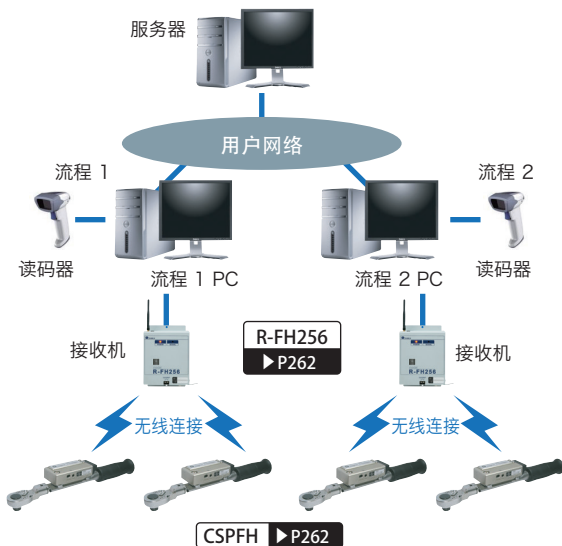
东日紧固保证系统建议用户如何正确紧固螺栓以及如何排除螺栓紧固作业期间发生的各种错误。



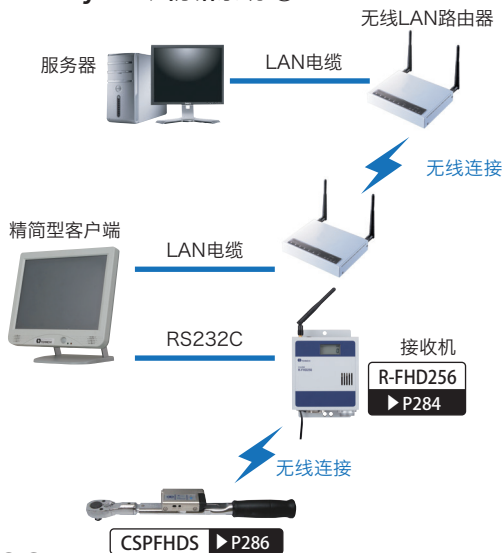
4-8 从扭矩控制到紧固保证系统

(2) 系统结构示例

■ Pokayoke、防错系统 ①



■ Pokayoke、防错系统 ②



防错系统

以带无线ID识别功能的FH型号脱跳式扭力扳手为例

每个流程的紧固场所会显示在PC上，并且系统会提供声音操作指示。

首先，操作人员用读码器检查紧固作业，并按照PC的指示进行紧固。此外，紧固数据通过网络保存到服务器上。紧固作业可溯源。

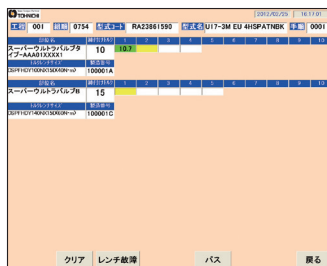


防错+监视系统

以带无线数据传输功能的FHD型号脱跳式扭力扳手为例

系统可用于管理实际施加扭矩值的数据，防止紧固遗漏。

操作人员根据来自PC的指令进行紧固作业。根据上下限紧固扭矩值判断合格与否。判断结果保存到服务器并且紧固作业可溯源。



■ Pokayoke、防错系统 ③



防错+监视+标记系统

以带无线数据传输功能的MQSPFHDS型号标记扭力扳手为例

除防止紧固遗漏和管理实际施加扭矩值，还可在螺栓头上做标记。

这种方法可有效防止和确认人为错误，如目测检查出现紧固遗漏。

此先进系统用于控制紧固螺栓数和实际施加扭矩值。所有数据保存到服务器并且紧固作业可溯源。



■ Pokayoke、防错系统 ④

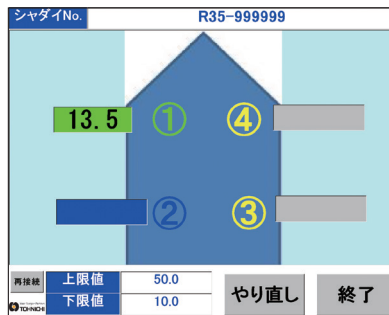


防错+监视系统

以带无线数据传输功能的CEM3-BTD型号数字式扭力扳手为例

非常适用于在单元生产方式下管理紧固数据。可双向通信通过PC设定上/下限。

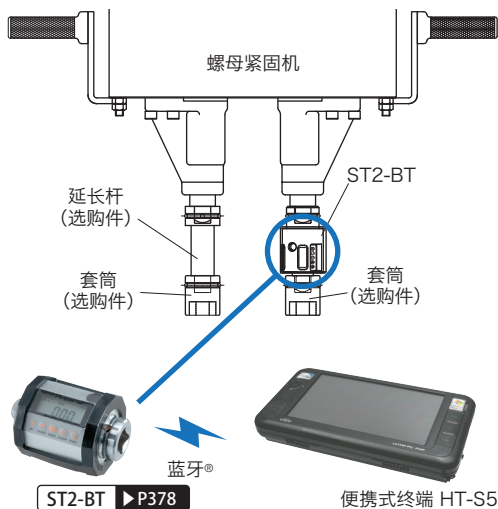
所有数据保存到服务器并且紧固作业可溯源。



4-8 从扭矩控制到紧固保证系统

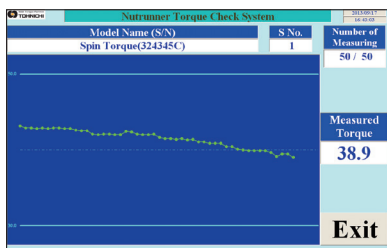
螺母紧固机检查系统

示例: Spintork / ST2-BT



螺母紧固机扭矩检查可通过ST2-BT与便携式终端进行高精度、易操作的实时作业。通过无线通信传输数据。

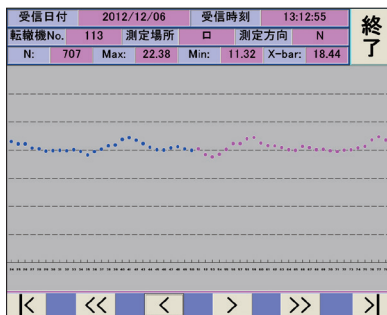
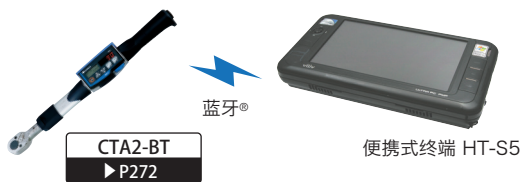
便携式终端HT-S5拥有卓越的便携移动性。早期检测可基于便携式终端的信息进行操作。大部分错误可在统计检查数据的过程中避免。紧固数据通过网络保存到服务器并且紧固作业可溯源。



对角度控制螺栓进行紧固，测量扭矩和角度，并显示在便携式终端上。扭矩和角度之间的关系可以用图表说明。可实时分析。

扭矩角度测量系统

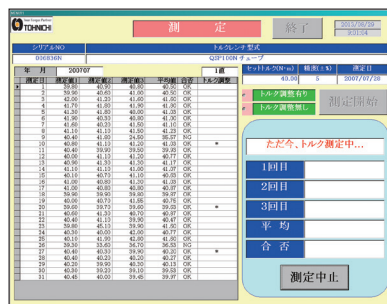
示例: 数字式角度扭力扳手 / CTA2-BT



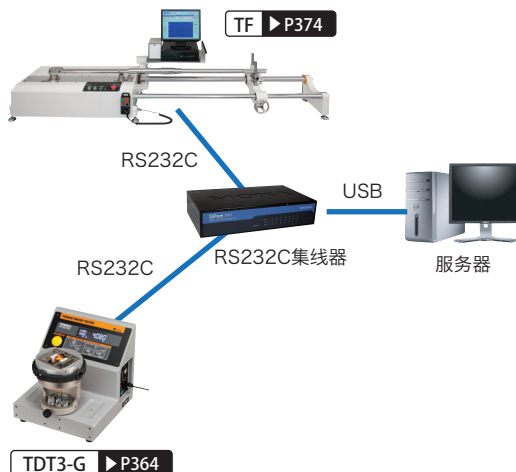
■ 扭力扳手日常检查系统 示例:扭力扳手检验器 / LC3-G



紧固作业前后进行扭力扳手的日常检查，将发生问题的风险降到最低。由LC3-G测量的数据被保存到服务器，并可通过统计数据预先避免发送错误。从而使预防性维修保养成为可能。



■ 扭力扳手定期校准系统 示例:扭力扳手检测仪/TF



此系统可通过PC对扭力扳手和扭力螺丝刀的定期校准数据进行管理。将所有数据保存到服务器时系统生成如下功能。

- 从开始到结束跟踪完整的记录
- 控制校准周期
- 校准期间发布警告通知
- 出具校准证书
- 通过序列号和其他进行精度管理

