

质量能力指标在发动机生产线上的应用

提到质量能力指标，大家首先想到的就是过程能力指数 C_p 或 C_{pk} 以及性能指数 P_p 或 P_{pk} 。在《生产件批准程序PPAP》（第四版）中提出，“在提交由顾客或供方指定的所有特殊特性之前必须确定初始过程能力或性能水平是可以接受的”，同时给出了稳定过程的能力指数 C_{pk} 或性能指数 P_{pk} ，这一要求慢慢演变成反映生产线过程能力的指标之一。在金属切削加工生产线应用能力指数 C_{pk} 或性能指数 P_{pk} ，作为反映生产线质量能力的指标已是很普遍的现象。从国外引进的金属切削加工生产线，其 C_{pk} 或 P_{pk} 常能达到2.0以上，即使某些薄弱环节也能达到1.33，让人感觉质量能力很强。

C_{pk} 或 P_{pk} 与一次合格率的关系

高的 C_{pk} 或 P_{pk} 不一定能保证生产线下线成品具有高的一次合格率，以下是某连杆生产线 C_{pk} 值及下线一次不合格率统计。该连杆生产线共有五台机加工生产设备，全部从德国进口，设备的自动化程度很高，精度也很高，其中第五台机床加工项目中含有关键尺寸进行SPC（统计过程控制）控制并统计 C_{pk} ，表1为该生产线一段时间内不合格率统计，表2为该生产线关键设备过程能力统计，从两张表中可看出该生产线不合格率较高，但关键设备过程能力指数也很高。

表1中，大小头孔轴线平行度不合格、换刀调试致

表1 某连杆生产线不合格率统计

生产日期	班产量 /件	不合格项及数量/件							不合格 数	不合格率 (%)
		大小头孔轴线 平行度不合格	卡料 致废	小头孔 镗偏	涨断面 崩口过大	换刀调试 致废	大头孔 有划痕	其他		
9月3日	1940	85	3	—	4	4	—	—	96	4.7
9月4日	1940	106	2	—	4	4	2	—	118	5.7
9月5日	1940	171	2	—	5	4	—	—	182	8.6
9月6日	1940	282	1	3	4	4	—	—	294	13.2
9月7日	1940	202	—	2	2	4	3	—	213	9.9
9月8日	1940	110	2	3	3	4	—	—	122	5.9
9月10日	1940	183	—	2	—	2	3	—	190	8.9
9月11日	1940	179	—	2	2	4	3	1	191	9.0
9月12日	1940	116	—	1	3	—	—	6	126	6.1
9月13日	1940	75	—	2	—	4	5	1	87	4.3
9月14日	1940	112	—	3	2	4	2	—	123	6.0
合计	21340	1621	10	18	29	20	18	8	1742	7.5

表2 某连杆生产线关键设备机加工项目过程能力指数统计

测量项目	测量部位	6月		7月		8月		9月	
		C_p	C_{pk}	C_p	C_{pk}	C_p	C_{pk}	C_p	C_{pk}
小头孔直径（轴A）	截面1，X方向	3.30	2.74	2.69	2.49	3.43	3.20	4.15	3.54
小头孔直径（轴A）	截面1，Y方向	4.56	4.41	2.84	2.63	2.70	1.73	2.39	1.69
小头孔直径（轴A）	截面2，X方向	4.06	3.76	4.04	3.71	2.29	1.83	2.75	2.48
小头孔直径（轴A）	截面2，Y方向	2.95	2.36	2.60	2.27	2.67	2.06	2.23	1.87
大头孔直径（轴A）	截面1，X方向	2.54	2.24	4.12	3.63	2.55	2.15	2.47	2.04
大头孔直径（轴A）	截面1，Y方向	2.92	2.57	2.94	2.81	2.98	2.12	2.53	2.33
大头孔直径（轴A）	截面2，X方向	2.90	2.06	3.47	3.06	3.69	2.85	2.74	2.36
大头孔直径（轴A）	截面2，Y方向	3.15	2.64	2.46	2.16	2.73	1.81	2.38	2.10
大小头孔中心距（轴A）	—	5.53	3.57	6.88	4.92	6.01	4.32	6.98	4.11
小头孔直径（轴B）	截面1，X方向	2.93	2.82	3.13	2.98	3.01	2.41	3.67	2.83
小头孔直径（轴B）	截面1，Y方向	4.19	4.07	2.92	2.55	2.38	2.11	2.12	1.87
小头孔直径（轴B）	截面2，X方向	3.84	3.62	3.90	3.49	2.56	2.26	3.02	2.94
小头孔直径（轴B）	截面2，Y方向	2.87	2.44	2.52	2.21	2.52	2.17	1.81	1.55
大头孔直径（轴B）	截面1，X方向	2.15	1.35	3.72	3.29	2.47	2.28	2.62	2.37
大头孔直径（轴B）	截面1，Y方向	2.81	1.87	2.88	2.84	3.51	2.66	2.00	1.82
大头孔直径（轴B）	截面2，X方向	2.79	1.74	3.43	3.04	2.37	1.63	2.80	2.02
大头孔直径（轴B）	截面2，Y方向	2.16	1.70	2.48	2.09	3.12	2.47	2.17	2.09
大小头孔中心距	—	5.05	2.99	6.52	5.35	5.37	3.86	8.08	6.29

废（大/小头孔直径超差）、大头孔有划痕等三项不合格均由第五台机床（关键设备）造成，占总不合格件数的95.24%。由于对该生产线考核指标设定为 $C_{pk} \geq 1.33$ ，尽管一次不合格率较高，但因为可对不合格品进行返修，并且给了较高的工废率指标，造成生产线没有对过程进行改善的压力和动力。

C_{pk} 或 P_{pk} 的使用局限性

根据SPC理论，当 C_{pk} 或 P_{pk} 等于1时其对应的不合格率为0.27%；当 C_{pk} 或 P_{pk} 等于1.33时其对应的不合格率为67ppm（1ppm=10⁻⁶）；当 C_{pk} 或 P_{pk} 等于1.67时其对应的不合格率为0.67ppm；当 C_{pk} 或 P_{pk} 等于2时其对应的不合格率将小于1.0×10⁻⁶。因此众多机加工生产线都使用能力指数 C_{pk} 或性能指数 P_{pk} ，并力图获取更大数值的 C_{pk} 或

P_{pk} ，但表1和表2已说明即使计算出了很高的 C_{pk} 或 P_{pk} ，在实际生产中很难达到理论上极低的不合格率，因为这两个指标是有使用局限性的，主要有以下几点：

- 1) 需做大量的测量工作，人员劳动强度大。有些参数很难测量或测量很不经济或是破坏性试验而无法大量测量，这些无法测量数据计算 C_{pk} 或 P_{pk} 的项目很可能因其他缺陷而不合格。
- 2) 取样时需从已稳定生产一段时间后的生产件中抽取样品，开机首件、换刀首件、冷机状态加工件、设备维修调试后首件等基本被排除在抽样范围之外，而实际上这段不稳定加工时间在每班生产过程都存在，也是易产生不合格品的高危期。
- 3) 计算能力指数 C_{pk} 或性能指数 P_{pk} 时允许剔除某些“不良”数据，造成计算结果变得很“好看”，给

人以过程很稳定、能力很强的假象。

一次通过率DR和一次通过损失率DRL

以一次通过率DR和一次通过损失率DRL作为生产线质量能力指标更具有实际意义。一次通过率DR是指产品在生产制造过程中无需返修、返工就可以流入下道工序的比例(DIRECT RUN)。根据DR的定义, $DR \leq 1$, 且为正数。统计并控制一次通过率DR的目的和意义在于分析、改进影响产品生产制造过程中产出效率的因素, 从而提升产出效率。

假设生产线有A、B、C、D、E五道生产工序或五个测量点, 则整条生产线总的一次通过率为:

$$DR = DR_A \times DR_B \times DR_C \times DR_D \times DR_E$$

一次通过损失率DRL是指产品在生产制造过程中发现的缺陷数对产量的比例(DIRECT RUN LOSS)。根据DRL的定义, $DRL \geq 0$ 。统计并控制一次通过损失率DRL的目的和意义在于降低返工/返修比例和返修成本。

假设生产线有A、B、C、D、E五道生产工序或五个测量点, 则整条生产线总的一次通过损失率为:

$$DRL = DRL_A + DRL_B + DRL_C + DRL_D + DRL_E$$

通过上述DR和DRL的定义可知, 整条生产线不论哪个工序或环节出现问题而造成不合格或产品缺陷都将使整条生产线的一次通过率下降且一次通过损失率上升, 科学合理地规定DR和DRL指标, 将促使整条生产线全部相关人员都行动起来查找影响产品质量的因素并进行改善, 避免了计算 C_{pk} 或 P_{pk} 独特的数据采集和处理方式给人们造成的生产线过程能力充足的假象, DR和DRL能暴露隐含的质量成本, 可对生产过程进行全面掌控, 是真正能正确表征生产线质量能力的科学指标, 图1是该指标的示例。

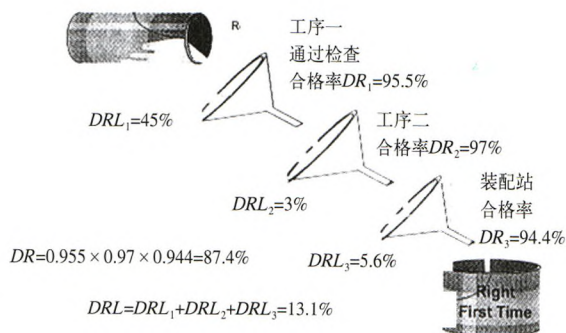


图1 DR、DRL示例

DR与DRL应用实例

某发动机厂装配线确定以DR/DRL作为过程质量能力监控指标, DR/DRL统计方案为六点: 凸轮轴回转力矩检测; 曲轴轴向间隙检测; 曲轴回转力矩检测; 水油道密封检测; 冷试台架检测; 热试台架检测。同时确定DR/DRL指标: 点1~4要求DR99%, DRL1%; 点5、6要求DR98%, DRL2%, 故整条生产线要求DR92%, DRL8%。监控数据要求按日统计, 每周汇总报出。图2是某发动机装配线DR/DRL的周统计图。

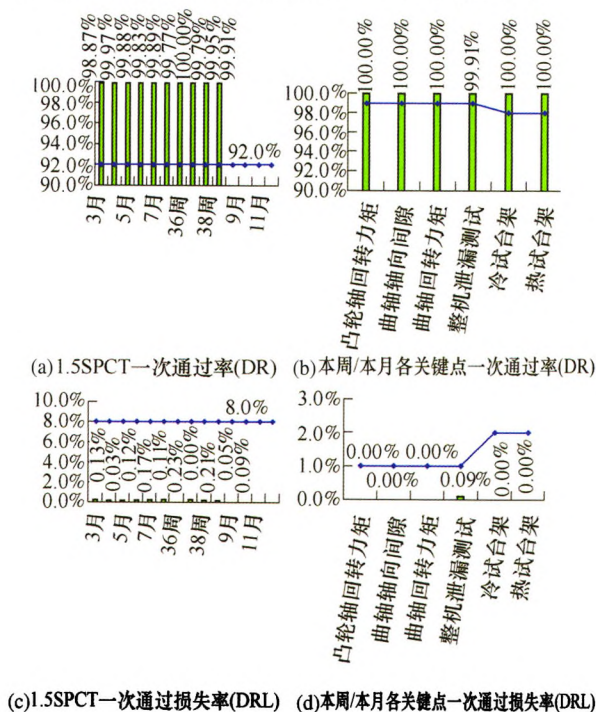


图2 某发动机统计

结语

配对使用一次通过率DR和一次通过损失率DRL, 可快速、准确地发现整条生产线质量异常情况, 作为生产线质量能力指标, 在统计计算时不能只统计计算“好数据”, 剔除“坏数据”, 使得整条生产线相关人员对影响产品质量的人、机、料、法、环、测、贮存以及转运等全部因素均采取严格的控制措施, 同时鞭策人们对各种过程中的变差因素主动采取改善措施。这两个指标作为生产线质量能力指标, 对提高产品质量及降低成本具有实际意义。

关键词:

质量能力指标 C_{pk} P_{pk} 发动机生产线

(收稿日期20130505)