

深圳龙视传媒有限公司	文 档 编 号	LVM_BIS_P_003
	版本号	V1.0
文档名称	度量分析指南	

度量分析指南

拟制	佟芳	日期	2012-8-20
审核	何萍	日期	2012-8-30
批准	易睿	日期	2012-8-30

修订记录

日期	修订版本	修改描述	作者	评审成员
2012-8-20	V1.0	新建	佟芳	流程质量部

目录

1	目的	4
2	范围	4
3	度量数据检验方法	4
3.1	活动说明	4
3.2	验证真实性	4
3.3	验证有效性	4
3.4	验证一致性	4
3.5	验证同步性	5
4	度量数据分析方法	5
4.1	活动说明	5
4.2	分析的时机与要点	5
4.3	度量表达工具-趋势图、柱状图和饼图	5
4.4	度量分析工具-挣值图和 XmR 图	8
4.4.1	挣值图	8
4.4.2	XmR 图	10
4.5	集成化的分析模型	14

1 目的

本指南的目的在于对基础度量数据的检验和分析提供具体方法。

2 范围

本指南适用于本公司的所有项目。

3 度量数据检验方法

3.1 活动说明

通过对数据的真实性、有效性、一致性和同步性四个方面的检查来检验。发现任何数据问题或不一致应该通过项目中的数据提供者进行交流来解决。遗漏的数据、值的重大变更或数据结构的变化应在项目组内进行讨论。

3.2 验证真实性

对照每个度量元的定义检查：

- a) 是否具有正确的类型；
- b) 是否具有正确的格式；
- c) 是否在规定值域内；
- d) 是否完整；
- e) 在数学上是否正确。

3.3 验证有效性

验证采集的数据是否真实地反映对应的度量：

- a) 检查该数据的采集过程是否符合在项目中对应度量元的定义；
- b) 数据是否是最新的；
- c) 计划值和实际值是否发生了变更并作了记录。

3.4 验证一致性

即只有证实一个值的定义与同类的其他记录值的定义一致时，才能将它们保存到一起并进行比较分析。在检查数据时，验证人应对过去的记录有充分的了解，以及时发现异常数据。异常数据可能反映一个具体的问题，也可能是由于这个项目的过程和工种发生了变化，导致此度量的定义也发生了变化。这时，应把新的定义在这个项目的度量元中记录下来。同时，这个值不能与同类的其他记录值进行比较，除非能够换算达成一致。要对以下方面验证定义是否与过去一致：

- a) 度量刻度（仅用于基本度量）
- b) 度量所属阶段（仅用于基本度量）
- c) 度量所属工种（仅用于基本度量）
- d) 度量单位（适用于基本度量和派生度量）
- e) 度量函数（仅用于派生度量）

3.5 验证同步性

即计算多个在时间上同步并相互关联的度量得到新的派生度量时，应该验证其时间框架是否匹配。比如生产率的计算公式为产出规模与工作量的比值，需要检验在这个时间段上，这个规模的产出是否是全部在这个工作量的时间段中完成的。如果两者的时间段不同步，则计算得到的生产率是没有意义的。

4 度量数据分析方法

4.1 活动说明

- 1) 度量的表达：通过统一的图表工具来观察数据的关联、分布和趋势以及协助分析。数据的表达工具主要包含 6 种：散点图、趋势图、因果图、直方图、柱状图、帕累托排列图。本指南主要介绍最常用的趋势图和柱状图，另外也介绍在实践中常用的饼图。
- 2) 度量的分析：通过将实际数据与期望值（期望值可以是计划值、历史平均值、导出的界限或阈值）之间的差距与预期的差距进行比较和分析；数据的分析工具有很多，经常使用的是挣值图和控制图，也可以使用集成化的分析模型。其中，控制图主要包含：X 图和 R 图、X 图和 S 图、XmR 图、c 图、u 图、Z 图。本指南主要介绍挣值图和控制图中最常用的 XmR 图，并对集成化分析模型作简单的介绍。

4.2 分析的时机与要点

度量分析的时机有多种，可能是计划或定期的，也可能是事件驱动的。

- 1) 计划或定期的度量分析：
 - a) 项目经理负责编制项目里程碑报告和项目总结报告，是必须的度量分析活动；
 - b) 项目组策划或客户提出要求的定期的度量分析活动，比如缺陷密度的定期分析等；
 - c) 公司每半年的性能基线分析活动，由 EPG 执行。
- 2) 事件驱动的度量分析：
 - a) 单点异常：跟踪的数据出现超出控制限的情况时需要进行度量分析。比如：
 - 与计划值偏离过大；
 - 与历史平均值不符；
 - 超出阈值；
 - 超出自动计算的控制限。
 - b) 模式异常：跟踪的数据所形成的图表出现模式异常时需要进行度量分析。比如：
 - 趋势图或挣值图中出现背离趋势的突变；
 - 控制图中出现短周期的重复模式、或明显的单一趋势、或数据突然呈现持续的一侧分布等。

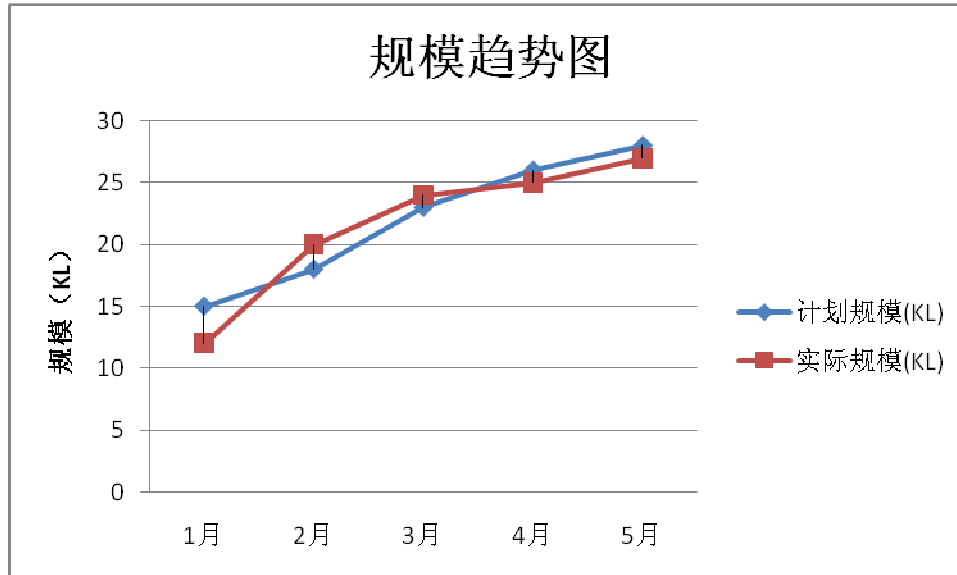
4.3 度量表达工具-趋势图、柱状图和饼图

1) 趋势图

趋势图是按照时间顺序将每个数据绘制在直角坐标系中。趋势图可以用来监控一个过程，观察其趋势以及是否存在一定的行为方式。趋势图适用于表达以下随时间推移变化的度量值：比如产品规模、缺陷数目、工作量等。在趋势图中，无须对数值间的偏差进行深入的分析或解释。但是，可以将趋势图中数据的突然变化与特定事件联系起来考虑。趋势图通常应该显示经历的时间、度量的频率和度量的单位。在必要的情况下可使用中线（平均值）帮助观察。

趋势图的例子如下图所示：

规模趋势	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
计划规模(KL)	15	18	23	26	28
实际规模(KL)	12	20	24	25	27
完成百分比	80.0%	111.1%	104.3%	96.2%	96.4%



通过 Excel 可以方便地实现一个趋势图，具体操作如下：

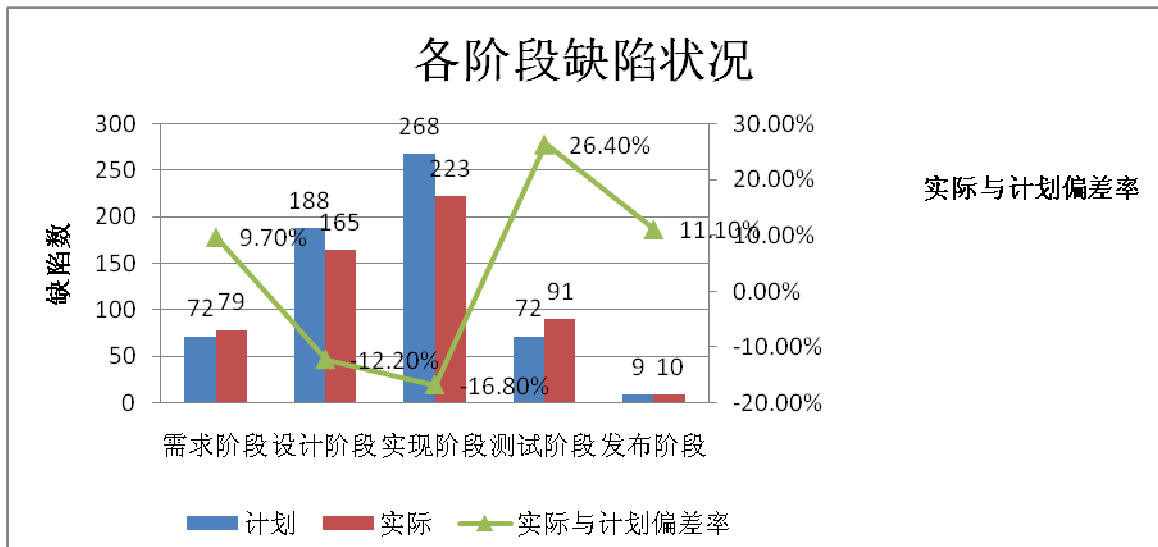
选中需要产生趋势图的表格的所有范围→点击“插入”→点击“图表”→选择“折线图”中带单点的图例→填写或选择适当的图表说明→插入现有表格或新建表格→完成。

2) 柱状图

柱状图是用来研究离散数据的集合形状的，用来显示若干个不同定义的值集合。柱状图适用于表达以下随定义或阶段不同的值的不同状态：比如需求、设计、编码和测试的计划值与实际值的对比的排列。在柱状图中，主要可以观察一个值的不同状态之间的差异（计划与实际、发现与排除等）。在柱状图中，还可以采取有双纵坐标的表达方式，将每个值的状态之间的偏差率在另一个纵坐标中表示出来。对偏差率可以进行适当的分析。

柱状图的例子如下图所示：

阶段	计划缺陷数	实际缺陷数	实际与计划偏差率
需求阶段	72	79	9.70%
设计阶段	188	165	-12.20%
实现阶段	268	223	-16.80%
测试阶段	72	91	26.40%



通过 Excel 可以方便地实现一个柱状图，具体操作如下：

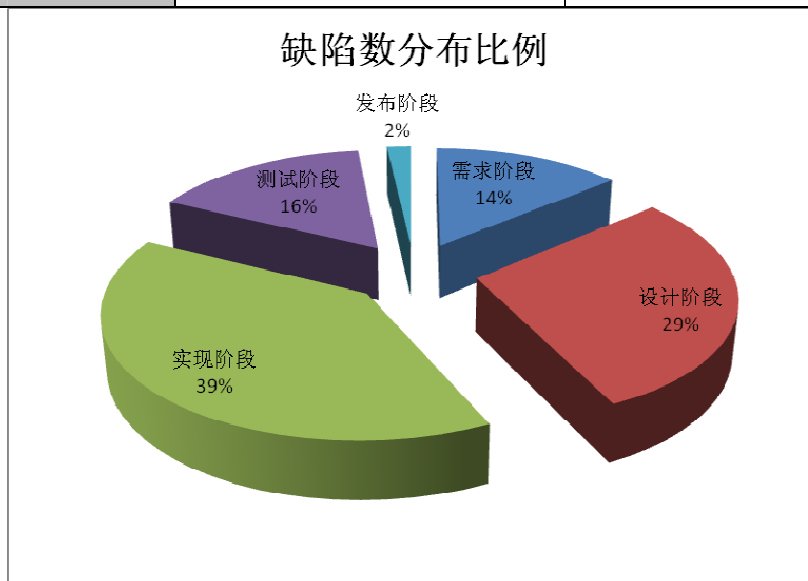
选中需要产生柱状图的表格的所有范围→点击“插入”→点击“图表”→选择“柱形图”的第一个图例（如果需要如上例所示的次 Y 轴，则选择第二页的“两轴线-柱图”→填写或选择适当的图表说明→插入现有表格或新建表格→完成。

3) 饼图

饼图是用来描述数据组成比例的。饼图适用于表达组成数据的类型的分布，比如缺陷种类的分布比例、工作量在各阶段的分布比例等。在饼图中，主要是通过图形来直观地了解数据分布的特点。

饼图的例子如下图所示：

阶段	实际缺陷数	分布比例
需求阶段	79	13.91%
设计阶段	165	29.05%
实现阶段	223	39.26%
测试阶段	91	16.02%
发布阶段	10	1.76%



通过 Excel 可以方便地实现一个柱状图，具体操作如下：

选中需要产生饼图的表格的所有范围→点击“插入”→点击“图表”→选择“饼图”的合适图例→填写或选择适当的图表说明→插入现有表格或新建表格→完成。

4.4 度量分析工具-挣值图和 XmR 图

4.4.1 挣值图

Earned Value Analysis (EVA) 挣值分析法，也称为赢得值、获得值。是一种项目跟踪和项目状态评估的方法。挣值图将工作进度转化为预算，将实际工作进展转化为成本，通过将执行工作的预算和实际成本与计划的工作的预算成本进行比较，来评估挣值的性能信息。通过挣值图，避免了在项目持续时间段内凭借主观估计该任务完成情况的问题。

1) 挣值图

挣值图有三个关键值需要计算：

- 计划值(PV)：在规定时间内工作上将要花费的获得批准的成本预算；
- 实际成本(AC)：在规定时间内工作上所花费的实际成本；
- 挣值(EV)：实际完成的工作的价值。即实际完成的工作按计划应该分配到的预算，是工作量与工作单元成本预算值的乘积。

PV、AC 和 EV 通常被放到一起，组成最基本的挣值图，可以直接地观察到的计划成本、实际成本和挣值（即完成的工作的价值）。

一个简单的挣值图例子如下所示：

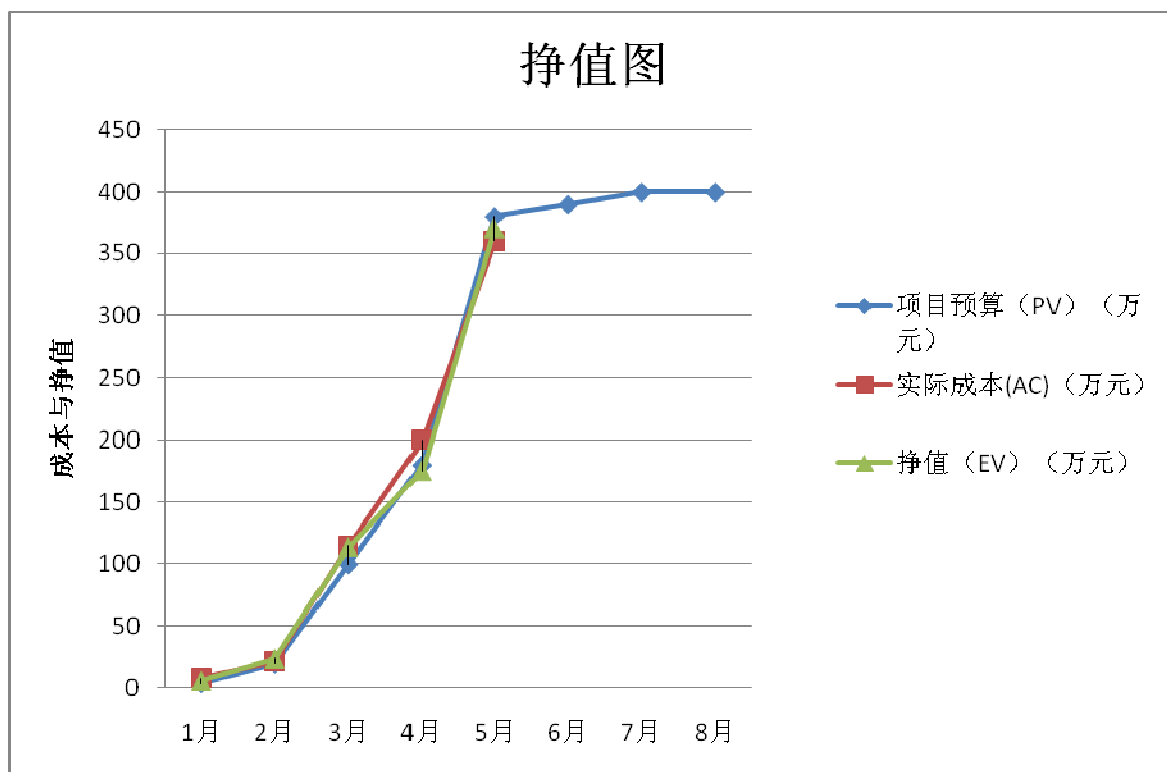
某项目组编码规模 200KL，预算单价为 2 万元/KL。该项目的总额度为 400 万元，计划 8 个月完成，每个月的计划值和第 1 个月到第 5 个月的完成情况如下表所示：

单价（万元/KL）	2							
关键值/月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月
项目预算（PV）（万元）	4	20	100	180	380	390	400	400
实际成本(AC)（万元）	8	22	115	200	360			
挣值（EV）（万元）	6	24	114	175	370			
计划完成(KL)	2	10	50	90	190	195	200	200
实际完成(KL)	3	12	57	123	185			

说明：实际成本是记录下来的实际值，不是通过公式计算的；

项目预算是通过单价与计划规模的乘积计算得到；

挣值是通过单价与实际完成规模的乘积计算得到。



从图中可以看到每个月预算成本、实际成本和挣值的对比关系。

2) 挣值性能图

通过以上三个值得计算，可以得到以下两个性能指标：

a) 进度性能指标 (SPI) = $(EV - PV) / PV$;

b) 成本性能指标 (CPI) = $(EV - AC) / AC$ 。

SPI 和 CPI 应该接近于 0。

SPI 为正，说明进度提前；反之为进度延迟。CPI 为正，说明成本低于预算；反之为超出预算。

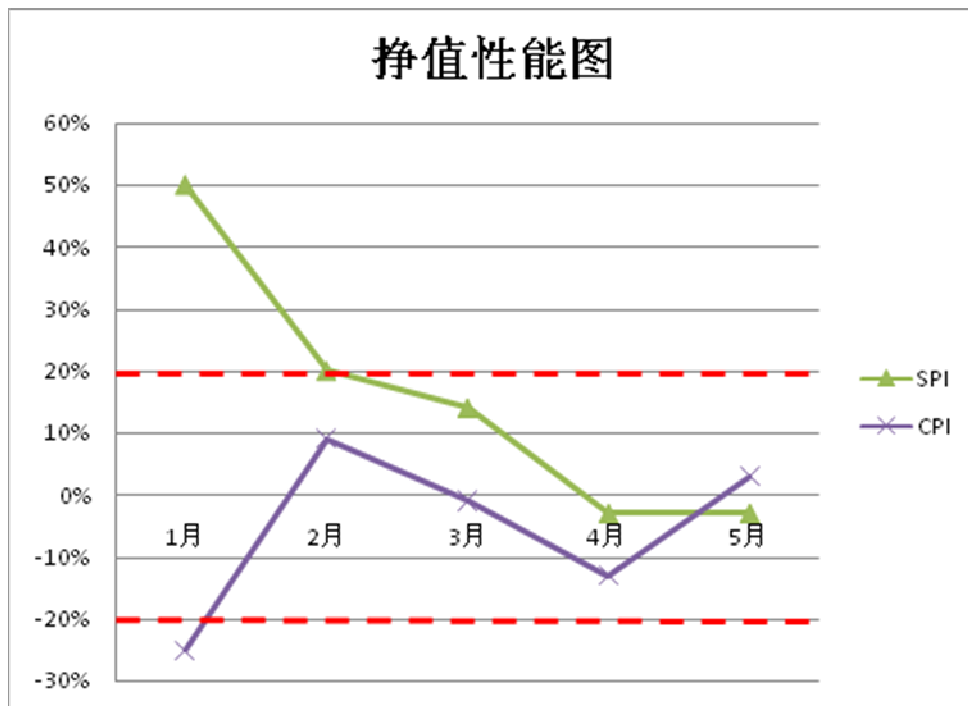
CPI 被广泛用于预测完工时的项目成本。SPI 有时与 CPI 一起被用于预测项目完工估算。

一个简单的挣值性能图例子如下所示：

仍然是上文的例子，根据公式计算出进度性能指标 (SPI) 和成本性能指标 (CPI) 的变化趋势。

如果项目事先计划了这两个指标的偏离控制限，比如规定上下偏差不能超过 $\pm 20\%$ ，则可以看到项目挣值的性能变化。

关键值/月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
项目预算 (PV) (万元)	4	20	100	180	380
实际成本 (AC) (万元)	8	22	115	200	360
挣值 (EV) (万元)	6	24	114	175	370
SPI	50%	20%	14%	-3%	-3%
CPI	-25%	9%	-1%	-13%	3%



上图告诉项目经理，进度在前三个月一直都提前，到了第4个月后比计划稍有延迟；项目成本在第1个月出现超支且超出了控制限，而在第2个月出现低于预算、第3个月成本与预算持平，在第4个月又出现了超支现象，直到第5个月出现了好转。对于超出控制限的点，比如项目进度在第一个月提前40%以上，成本超出20%以上，应该进行合理的原因分析。

4.4.2 XmR 图

如果希望根据产品和过程的度量来预测未来的结果，或者把它们作为过程改进的基础，必须首先保证过程是稳定的。一个过程是否稳定，可以通过随时间分布的度量值的控制图来分析。另外，如果需要根据度量的结果来分析过程的性能，在必要的时候采取纠正或者预防措施，也可以通过控制图来完成。

1) 过程稳定性与控制图

判断一个过程的稳定性，可以通过在一段时间内，在不同的时间点上或在不同的条件下对某个度量值进行采样若干个的方法来搜集信息。多次采样获得多组数据。当组内度量值和组间的变化在某个合理的范围内时，我们认为这个过程是稳定的。需要了解两方面的情况：

- 该度量值在采样小组组内的变化；
- 该度量值在采样小组组间的变化。

通常可以将一段时间内所有的度量值按照一定的条件分组（例如把时间作为条件分组，在同一个时间点或某个短的时间段上获得的某度量值的7个样本，将之分成一组、在此后的一段时间内又进行了5次这样的度量，则共分了6组，每个组的规模为7），使得相似因素或相同条件影响下的单点值分到一组。这样，将不同组的度量值的特征（比如每组的平均值以及每组的度量值的值域）通过一定图表的形式表达出来，就可以观察到在不同条件下度量值的变化情况。由于分组是基于相似的条件，所以可以将组内的差异看成是“公共原因造成的偏差”，而主要关注组之间的变化——这可能会使我们发现形成现有过程性能的“可归属的原因”。这样的变化，通常和分组时假设的条件相关，如果想了解某个因素是否对度量值产生影响，则可将此因素作为条件进行分组，通过比较各组的平均值和值域的变化，可能发现此因素对过程稳定性的影响。但是在没有经验的情况下，可能无法对度量进行合理的分组，这时，我们常常采用 XmR 图，它将该度量的每个单点值作为一组，使得我们只需要关注单点

值的变化；它将点和点之间的偏差作为值域——也就是移动值域。对于 XmR 图来说，因为没有数据按条件分组，所有超出控制限的现象都可以看成是存在异常，即可以找到可归属的原因。

所有传统的控制图通常有两种图，一个是连续单点值图，一个是值域图。单点值图通常都有一条中心线，在两侧有上、下控制限（比如 X 图、c 图、u 图和 Z 图）；值域图通常也有一个中心线和上控制限（比如 R 图、mR 图），有的值域图也有下控制限（比如 S 图）。而 XmR 图，其实就是 X 图和 mR 图的组合。

中心线和控制限都是通过计算某一个时间段内过程运行时的一组度量值得出的，揭示了过程的性能水平，不是任意的。通常来讲，控制限可以通过以下方式得到：

- a) 传统的控制限是 $\pm 3\sigma$ （ σ 是控制图上度量值得标准偏差）；如果计算得到的值域不符现实，则省略，比如工作量只保留正值的缺陷数目。
- b) XmR 的控制限是通过公式计算。
- c) 可以通过研究经验数据后，直接指定合适的控制限（这时通常还要指定警戒值）。

一般来讲，通过传统计算得到控制限的目的通常是用来判断过程是否稳定、如果稳定的话过程能力是否满足业务要求；而直接指定控制限的目的通常是用来判断实际过程的性能能否接受、是否要采取纠正或预防措施。

2) 变量数据和属性数据的定义

a) 变量/离散数据——多为基本度量。包括连续现象的观测值或描述规模和状态的计数（比如工作量、需求总数、代码总行数；变量/离散数据应该主要用于工作量、进度、成果的统计的列举、反映和趋势预测）；

b) 属性数据——多为派生度量。这里的“属性”，应该是指过程的属性。（比如在模块间进行缺陷率的比较，而不是缺陷数的比较；属性数据应该主要用于产品质量、工作效率方面的分析）。

3) 过程不稳定和失控的判断

a) 当使用 $\pm 3\sigma$ 作为上下控制限时，只要存在以下一个或者多个情况就预示着过程的不稳定性，存在着可归属的原因。这四个情况是：

- 模式 1：一个点落在 3σ 控制限之外；
- 模式 2：三个相继的点中至少两个点落在中心线的同一侧，并且距离中心线有两个以上的单位；
- 模式 3：五个相继的点中至少有四个点落在中心线的同一侧，并且距离中心线有一个以上的单位；
- 模式 4：至少八个相继的点落在中心线的同一侧。

b) 当使用 XmR 图的控制限计算方法时；对于 XmR 图，可以使用模式 1 来判断，这时的控制限就是计算得到的上限控制限；但不宜使用上述的模式 2、3 和 4 进行判断。

c) 当直接设定控制限时，应该同时设定警戒值；当度量值超过警戒值，就认为过程出现不稳定。

4) XmR 控制图的具体使用方法

控制图主要针对两种数据（变量/离散数据，属性数据）来划分。不同的控制图，对中心线（CL）、上下控制限（UCL 和 LCL）的定义和计算方法是不同的。从 XmR 图开始，就对实际数据的计算引入了纠正系数。它的具体计算如下：

a) k 个连续度量值提供 k-1 个移动值域的值；

b) 第 i 个移动值域 $= mR_i = |X_{i+1} - X_i|$ ， $1 \leq i \leq k-1$ ；

c) 平均移动值域 $= mR$ 的平均值 $= \sum mR_i * 1 / (k-1)$ ，i 从 1 到 k-1；

- d) 中线 $CL_x = \bar{X}$ 的平均值 $= \sum X_i \cdot 1/k$, i 从 1 到 k ;
- e) 自然过程上限 $= UCL = \bar{X}$ 的平均值 $+ 2.660 \cdot \bar{mR}$ 的平均值;
- f) 自然过程下限 $= LCL = \bar{X}$ 的平均值 $- 2.660 \cdot \bar{mR}$ 的平均值;
- g) 平均移动值域的中心线 $= CL_R = \bar{mR}$ 的平均值;
- h) 移动值域的上控制限 $= UCL_R = 3.268 \cdot \bar{mR}$ 的平均值。

其中, 2.660 和 3.268 是纠正系数。在 XmR 这样通过计算两个相邻度量值的差来获得值域的做法中, 自然过程上下限的纠正系数就是 2.660; 移动值域的上控制限的纠正系数就是 3.268。在通过其他方式来计算值域时, 这个系数是不同的。具体的参数请参考相关统计工具书。

在过程完全稳定前, 还不能完全确定控制限, 但可以在某度量获得 25 个数据之前就计算控制限, 称为试验界限, 虽然这个界限暂时还不稳定, 但是有助于较早地发现可归属的原因。在过程稳定以后, 如果使用 XmR 图进行分析, 则数据最少在 40 到 45 个以上。因为更多的数据有助于减少极端数据对界限值的影响, 并提高控制限的可靠度。

XmR 图在最初是通过趋势图表现的, 可以尽早定出试验界限, 但是在数据在少于 30 个时, 对结果进行解释或分析时必须十分谨慎。并且在每次分析出可归属原因后, 应该重新计算上下控制限。这时, 应该将新增的数据纳入计算, 且对过去的异常点的值忽略不计。试验界限重新计算后, 可能还会继续出现超出界限的点, 在这种情况下, 应该不断地舍弃、再计算, 直到所有的数据点都在控制限之内。对于那些被舍弃的点, 由于此时的控制限还不成熟, 所以最好是主要分析这些数据点的模式, 而不是去判定每个失控点失控的原因。如果可以找到这些失控点的共性, 就可以采取直接迅速的措施来稳定过程。

但是当过程稳定以后, 就不能轻易修改控制限了。只有当过程已经偏移或者要对过程进行改动时, 才能再次计算控制限, 并且不能再使用过去采集的数据。

如果希望缩紧控制限的区间, 可以考虑用使用对数据分组的控制图 (比如 \bar{X} 图和 R 图、 \bar{X} 图和 S 图) 或者采用中值值域的 XmR 图。具体计算方式请参考相关统计工具书。

XmR 图示例:

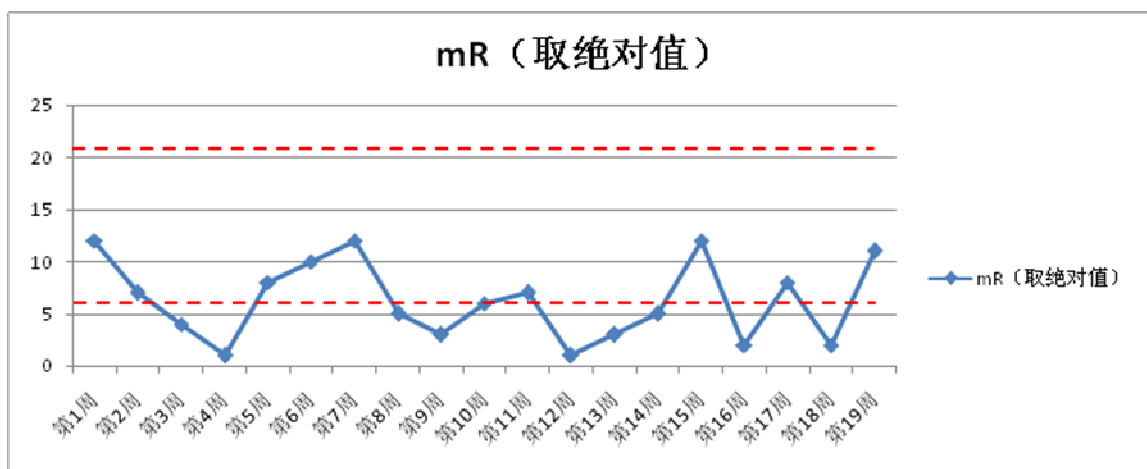
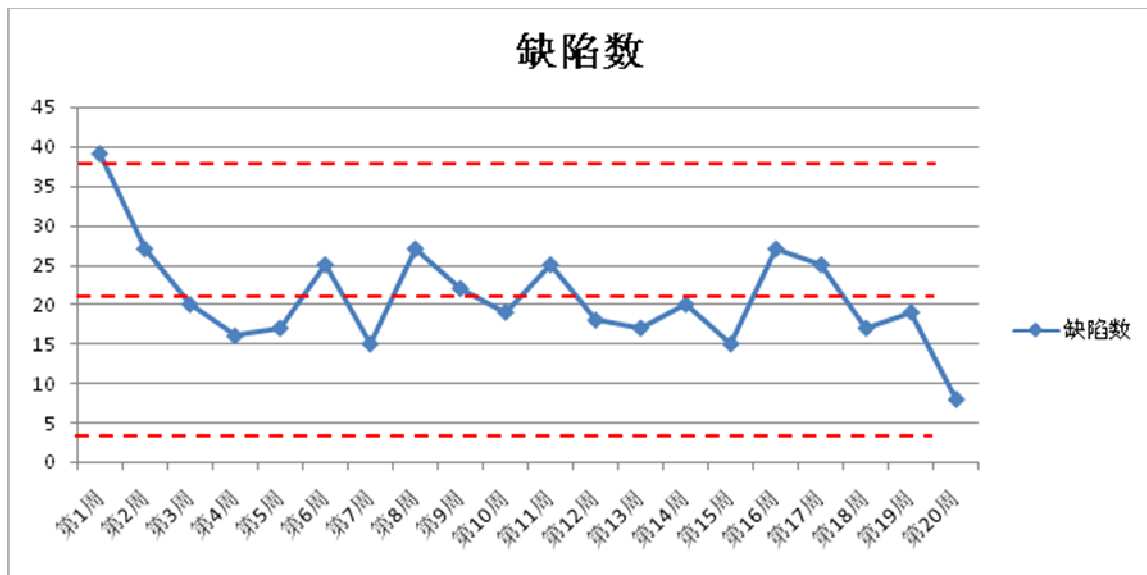
下图表现的是某项目组向客户交付产品后一段时间内缺陷的数目变化的情况:

周	第 1 周	第 2 周	第 3 周	第 4 周	第 5 周	第 6 周	第 7 周	第 8 周	第 9 周	第 10 周
缺陷数	39	27	20	16	17	25	15	27	22	19
周	第 1 周	第 2 周	第 3 周	第 4 周	第 5 周	第 6 周	第 7 周	第 8 周	第 9 周	第 10 周
mR (取绝对值)	12	7	4	1	8	10	12	5	3	6
周	第 11 周	第 12 周	第 13 周	第 14 周	第 15 周	第 16 周	第 17 周	第 18 周	第 19 周	第 20 周
缺陷数	25	18	17	20	15	27	25	17	19	8
周	第 11 周	第 12 周	第 13 周	第 14 周	第 15 周	第 16 周	第 17 周	第 18 周	第 19 周	第 20 周
mR (取绝对值)	7	1	3	5	12	2	8	2	11	

根据公式计算得到：

X 平均值	mR 平均值	UCL	LCL	UCLr
20.9	6.26	37.56	4.24	20.47

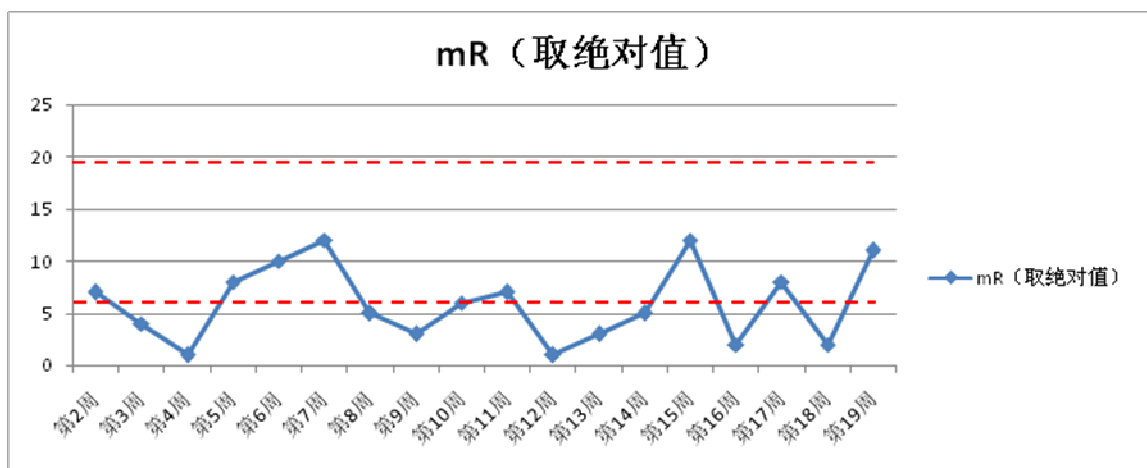
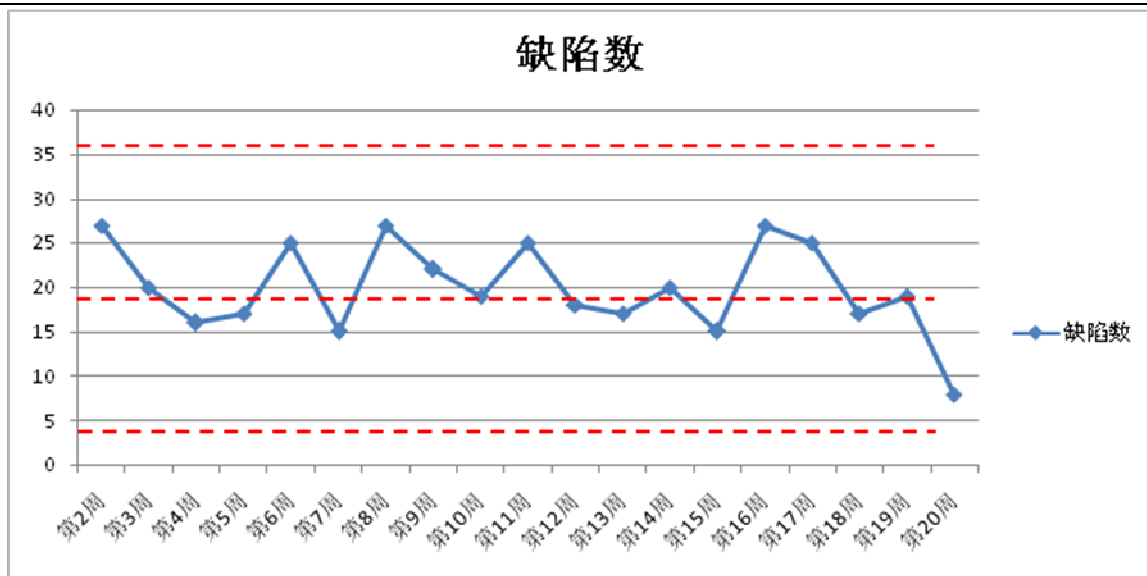
用 Excel 表中趋势图的生成方式产生 X 图和 mR 图的基本内容，通过手工的方式，将中心线、上下控制限用红色的虚线标出来。如下图：



通过观察可以发现，X 图中第一个点超出了上控制限，其他的点在范围之内；mR 图所有的点都没有超过上控制限。所以在 X 图的第一个点，一定存在一个可归属的原因。由于目前的数据还少于 30 个，所以上下控制限还是试验界限。因此，还有必要进行控制限的调整。对此可归属原因分析后，可以将此点除去。去除第一个点，经过重新计算得到如下结果：

X 平均值	mR 平均值	UCL	LCL	UCLr
19.95	5.94	35.76	4.14	19.43

可以发现，X 图上下控制限的区间和 mR 图上控制限与中线的区间都变窄了。产生的 XmR 控制图如下：



这时，所有的点都落到了控制限范围内。在数据点不充分的情况下，在下一个异常点出现之前，可以继续使用此控制界限。一旦获得足够多的数据点后（通常在 40-45 个点以上），除非过程发生变化，否则不可轻易修改控制限。更加细化的控制分析方法，请参见相关统计工具书。

4.5 集成化的分析模型

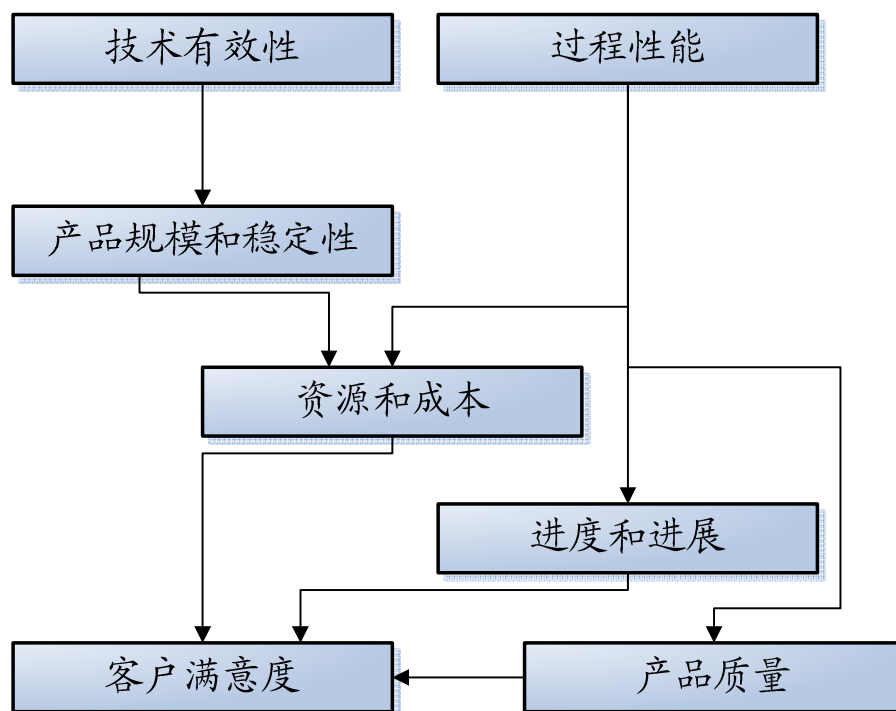
度量信息之间不是孤立的，比如当进度和进展发生明显突变时，产品质量也会受到影响。

在使用了基本和常用的统计分析工具对单一的数据进行个别分析后，可以通过建立集成化的分析模型，来预测或证实各种度量信息之间的相互影响关系、上下游关系或因果关系，从而分析出问题的上游原因和可能对下游产生的影响。通过提前主动地消除或监控这些原因或影响，来预防问题的出现。

一个集成化分析模型的样例如下图所示，该模型将度量信息需求的七个类别的关系通过箭头连成网状。

通过不断地分析和改进，可以在模型中补充、修改和添加度量信息点和信息之间的关系，以适应项目或者整个组织的需要。

（下图的箭头的起点表示上游、箭头的终点表示下游；上游会对下游产生影响。）



从这个初步的模型可以看出以下关系：

- a) 技术有效性影响产品规模和稳定性；
- b) 过程性能影响三个因素：资源和成本、进度和进展、产品质量；
- c) 产品规模和稳定性影响资源和成本；
- d) 客户满意度受三个因素的影响：资源和成本、进度和进展、产品质量；
- e) 客户满意度从根本上受两个因素的影响：技术有效性和过程性能。

通过集成化分析模型，可以将度量信息需求、也就是项目的几个关键因素联系起来分析，从根本上找到问题出现的源头，帮助公司和项目组采取彻底的措施预防和纠正问题，避免治标不治本。