

# 线性回归分析在预应力筋张拉施工中的应用

文/刘志远

**唐**曹高速公路申立村枢纽互通式立交K35+526.502跨线桥,跨径为 $(4 \times 30)+(4 \times 31)+(24.922+32+3 \times 35+26.042)+(5 \times 30)+(4 \times 30)$ 米,共5联,分左、右两幅,为等高度预应力混凝土连续箱梁,桥梁起讫点桩号K35+186.580—K35+896.544,全桥长709.964米。在预应力筋张拉施工前对千斤顶和油表通过国家认可的第三方检测单位进行检验,并出具了检验报告。为了保证工程质量和安全施工,需要对

检测数据进行回归分析后,计算出线性回归校正方程,对已出具回归方程的进行复核。

## 回归分析

回归分析在公路工程应用十分广泛,在实验检测数据的一般处理、线性公式的求得、因素分析、质量控制等诸多方面,回归分析往往是一种非常有用的工具。

变量按性质可分为三种。第一

种,两个变量均为非随机变量,如欧姆定律: $I=V/R$ ,变量之间有某种确定的关系;第二种,一个变量是非随机变量,另一个变量,是随机变量,如千斤顶的张拉力和油缸的油压之间的关系;水灰比与混凝土抗压强度关系;第三种,二个变量均为随机变量,如混凝土快速强度与标准强度之间的关系。严格地说,有关第一种情况,不是数理统计问题,是数学分析中的函数问题;有关第二、三种情况是数理统计学的问

将千斤顶打压,顶住梁底,观察百分表读数的变化,百分表开始有规律的转动,记录初读数。控制梁的顶升速度,每顶升2mm为一个程序,每个顶升程序完毕,由监控人员统一完成读数,对起顶不均匀造成相邻两主梁间的位移变化量超过0.1mm的进行局部顶压调整,调整完成后进行下一过程的顶升,直到全部顶升到位,支座可顺利取出。整个顶升过程均须对主梁、桥面及附属设施进行认真观察,如有异常立即停止顶升。

●顶升到位后,统一在梁底安放预先准备的楔形枕木及预制钢板进行临时支垫,支垫要求牢固可靠,支垫过程不可放松千斤顶。

●支垫完成取出旧支座后,先认真清除原梁底不锈钢板上的锈迹及污垢,涂上一层润滑油脂,然后用水准尺检查支座下垫石表面是否平整,能否满足安装要求,对垫石表面的油污及浮浆表面要打磨清除干净。在安放新支座前,

还需在原支座位置及新支座表面进行十字定位,以确保支座更换后位置准确。

●对于由于梁体安装不当或梁底表面不平整所造成的支座偏压,可采用结构胶进行脱空部位的局部填充,以保证支座全截面受压。

●在安装前将四氟板支座中的四氟板表面的储油槽内的硅脂充满,保证四氟板表面和不锈钢表面的洁净,不得有损伤、拉毛现象;同时按要求安装支座防尘罩。

●支座更换完毕主梁就位时,也应分布进行,先将梁底临时支撑解除,然后顺序下落梁体就位。注意要交叉放松千斤顶,不能同时放松,以防桥面损坏或压坏个别千斤顶。

## 支座更换施工注意事项

●对不同形式的桥梁应采用不同的顶升方式。对于由T梁或工字梁组成的截面形式,一般可在梁体下安放垫板直接用千斤顶顶升的方法进行;但顶升空

心板、箱梁时,则必须注意顶升部位,避免直接顶升梁体底部,而易选在两肋及箱梁腹板部位,防止对梁体的损坏。

●由于边梁本身自重及桥面附属设施(如护栏、分联处连接件)的影响,与中梁在顶升力上差异较大,在顶升时一定要压力与行程双控制,并以行程为最终控制。避免由于起顶不均匀而造成桥面的剪切破坏。

●严格控制梁体的顶升高度,避免顶升高度过高造成桥面及附属设施的损坏。

## 结论

采用扁千斤顶技术进行支座更换,不仅成功地完成了对桥梁支座的现场处置,而且整个施工过程始终处于受控状态。当前大量桥梁支座存在较严重的病害,需要进行处置,否则会影响桥梁本身的结构安全。总之,这套适用的支座更换处置方法及控制技术有着广阔的应用前景。●

作者单位:邢台市邢衡高速管理处

题。一般把处理第二种的问题叫做回归分析，把处理第三种的问题叫做相关分析。为了简化，这里把第二、三种的问题统称为回归分析。

## 回归方程的求法

一元线性回归是经常遇到的配直线的问题，即两个变量千斤顶的作用力T和油缸的油压P的关系是线性关系，通过试验得到的数据，找到二者之间的线性校正公式。

根据唐曹高速公路申立村枢纽互通式立交跨线桥，由第三方试验检测单位，得到11组千斤顶的作用力t (KN)和油缸的油压p (MP)的数据见表-1。求千斤顶的作用力和油缸的油压的关系。考虑活塞和油缸之间的摩擦力后，它们的关系可以表示为：

$$T = A \times P + B \quad (1)$$

●式称为T对P的回归方程，式中B为常数项，A为回归系数。如果凭经验直接画线或是采用内插法，人为误差较大。

被估计值T可以近似地用某种数学模型来描述其变化规律，这就是回归法。回归法即是曲线拟合法。它是根据n组试验数据来建立其数学关系的一种方法。一般是先假定一个数学模型，然后求出其中的待定系数，最后通过相关分析来检验其拟合的程度。

最常用的回归法是最小二乘法，它的目标函数是试验数据残差的平方和。当残差的平方和为最小时（最小二乘）便可求出待定系数。可利用千斤顶标定结果测得的作用力和油压（ $t_1, p_1$ ）、（ $t_2, p_2$ ）、……、（ $t_n, p_n$ ）对（1-2）进行线性回归，利用最小二乘原理求式（2）的回归值：

$$T' = A' \times P + B' \quad (2)$$

式中：

$$A' = L_{pt} / L_{pp} \quad B' = T - A' \times P \quad (3)$$

$$P = 1/n \sum_{i=1}^n P_i$$

$$T = 1/n \sum_{i=1}^n T_i$$

$$L_{pp} = \sum_{i=1}^n P_i^2 - 1/n (\sum_{i=1}^n P_i)^2$$

$$L_{pt} = \sum_{i=1}^n P_i T_i - 1/n (\sum_{i=1}^n P_i T_i)$$

$$L_{tt} = \sum_{i=1}^n T_i^2 - 1/n (\sum_{i=1}^n T_i)^2$$

P'、T'为平均值

$L_{pp}$ 、 $L_{tt}$ —方差

$L_{pt}$ —协方差

## 回归系数计算及确立回归方程

为了能核校其计算结果的正确性，我们采用Excel工作表列表计算，参照唐曹高速公路工程，依据《公路桥涵施工技术规范》和设计图纸及顶配套校验数据，并编制公式计算A'、B'值。

$$T = 1/n \sum_{i=1}^n T_i = 104.4727273$$

$$P = 1/n \sum_{i=1}^n P_i = 20.0000$$

$$(\sum T)^2 = 1320660.6400$$

$$(\sum P)^2 = 48400.00$$

$$(\sum T)(\sum P) = 252824.00$$

$$L_{tt} = \sum_{i=1}^n T_i^2 - 1/n (\sum_{i=1}^n P_i)^2 = 48124.4818182$$

$$L_{pp} = \sum_{i=1}^n P_i^2 - 1/n (\sum_{i=1}^n P_i)^2 = 1760.0000$$

$$L_{pt} = \sum_{i=1}^n P_i T_i - 1/n (\sum_{i=1}^n P_i T_i) = 9200.0000$$

$$A = L_{pt} / L_{pp} = 5.22727$$

$$B = T - A \times P = -0.073$$

$$\text{则： } T = A \times P + B = 5.2273 \times P - 0.073$$

上式为YCN-25千斤顶标定后得到的校正方程，式中P的单位为MPa，T的单位为KN，利用上式可以通过油压P对张拉力T进行控制。

## 相关系数计算及其检验

任何两个变量P和T的一组试验数据，都可以按上述方法配出一条直线。但是，只有当P和T存在线性相关时，所配直线才有意义。相关系数就是描述

回归直线线性相关的密切程度的指标，用r表示。为了计算相关系数r，还应通过Excel工作表列表计算出 $L_{tt}$ 值。

$$r = L_{pt} / \sqrt{L_{pp} \times L_{tt}}$$

r值在-1<r<1之间，r的绝对值越接近1，说明P和T的线性相关越密切；接近于0，说明没有线性关系，这时P和T可能不相关，也可能是非线性相关。只有当|r|值大于相关系数检验表中的值数时，才能考虑用直线来描述P和T之间的关系。

本例实测 $r = L_{pt} / \sqrt{L_{pp} \times L_{tt}} = 0.99965$

## 相关系数检验

查表法判断，当 $f_{0.01} = 11$ ， $r_{0.01}(11) = 0.684$ ；实测 $r = 0.9997 > 0.684$ ，可以判断相关极显著。

## 适用范围

线性回归虽然简单，但在公路工程管理应用十分普遍，一个曲线在取值范围很小时，可近似地看作直线，因此有很多问题，只要取值适当，都可以采用线性回归。需注意的是，回归方程只适用于原来的试验检测数据范围内，不能随意把范围扩大。

## 结语

为了保证工程质量和安全生产的要求，并根据笔者实践经验，建议张拉设备一定要选用大的品牌厂家的产品，张拉油表要选择精度高的，张拉设备进行外送检验时，应首先校好油表后，再进行油表和千斤顶共同校验，这样检测出来的数据才能准确，计算的线性回归校正方程能够满足要求。

采用EXCEL表进行辅助计算，数据精确，方法简便，在多条高速公路上得到了广泛的应用，均取得了良好的效果，作为经验应继续推广，为今后预应力筋的张拉施工控制提供了简便的计算和校验方法，为提高公路工程质量奠定了基础。

作者单位：秦皇岛保神交通建设监理有限公司