

文章编号:1003-4722(2007)S2-0127-03

高性能混凝土冬季施工强度的线性回归分析

邱训兵

(中铁大桥局集团第二工程有限公司,江苏 南京 210015)

摘要: 京津城际客运专线凉水河特大桥部分墩台需在冬季施工,结合工程实际通过对试验数据的线性回归分析,推导出高性能混凝土冬季施工强度的一元线性回归方程,以此指导施工。介绍回归方程的应用和适用条件。

关键词: 高性能混凝土;强度;线性回归分析

中图分类号: U445.57

文献标识码: A

Linear Regression Analysis of Strength of High Performance Concrete Constructed in Winter Season

QIU Xun-bing

(The 2nd Engineering Co., Ltd., China Zhongtie Major Bridge Engineering Group, Nanjing 210015, China)

Abstract: Part of the piers and abutments of Liangshui River Bridge on Beijing-Tianjin Inter-city Passenger Dedicated Railway have to be constructed in winter season. In this paper, with reference to the practical construction of the Bridge and through linear regression analysis of the relevant test data of high performance concrete, a one-variable linear regression equation for calculating the strength of the concrete constructed in winter season is deduced for guidance of construction, and the applications and applicable conditions of the equation are introduced as well.

Key words: high performance concrete; strength; linear regression analysis

1 概述

京津城际客运专线设计时速 350 km,作为控制工程之一的凉水河特大桥全长 21.56 km,共 667 个承台和墩台的 C30 高性能混凝土约 26 万 m^3 。根据工期安排,部分墩台需在冬季施工,在冬季施工过程中采取了相应的升温 and 保温措施,确保了混凝土的质量。由于工程量大、工期紧,为了加快模板的周转周期、降低成本,需要尽快确定墩台混凝土的实体强度,决定能否拆模,所以有必要掌握混凝土实体强度增长的规律。

2 线性回归分析

2.1 线性回归原理

在掌握大量试验数据的基础上,利用数理统计方法建立因变量与自变量之间的回归关系函数表达式称为回归分析法,当研究的因果关系只涉及因变量和 1 个自变量,且描述自变量与因变量之间因果关系的函数表达式是线性的,称为一元线性回归分析法。

设 x (在某个区间内)的每一个值有 $Y \sim N(a + bx, \sigma^2)$,其中 a 、 b 及 σ^2 都是不依赖于 x 的未知参数,记 $\epsilon = Y - (a + bx)$,对 Y 作这样的正态假设,相当于假设 $Y = a + bx + \epsilon$, $\epsilon \sim N(0, \sigma^2)$, x 与 Y 的这种关系称为一元线性回归模型, b 为回归系数^[1]。

2.2 混凝土强度增长的线性回归模型

混凝土强度的增长与养护的温度、湿度及时间

收稿日期:2007-07-11

作者简介:邱训兵(1974-),男,工程师,1998年毕业于西南交通大学桥梁与结构工程专业,工学学士,2004年毕业于中南大学工程管理专业,工程硕士。

有直接的因果关系,因为在混凝土达到抗冻强度以前,不拆除模板,混凝土利用自身的水份养护,可不考虑环境湿度对强度的影响,以养护温度和时间作为混凝土强度增长的影响因素即二元自变量。为了简化模型,将温度和时间二元自变量综合成一个物理量即温度·时间($^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$),混凝土强度作为因变量,假设混凝土实体强度的因变量 Y 与混凝土养护温度·时间的自变量 x 成线性关系,建立混凝土实体强度增长的一元线性回归模型: $Y=a+bx$ 。

3 试验数据

在凉水河特大桥冬季施工的墩台中任选 10 个,根据试验需要每个墩台各做 8 组同条件养护试件,试件放在保温棚内远离取暖设备的地方,随墩台一起做同条件养护,每隔 12 h 取一组混凝土试件做抗压强度试验,12 h 内每 6 h 记录一次保温棚内的养护温度,其平均温度作为此 12 h 的养护温度,连续记录混凝土试件强度和对应的养护温度共 96 h,筛选获得的数据见表 1。

表 1 混凝土试件同条件养护数据

序号	温度/ $^{\circ}\text{C}$	时间/h	温度·时间/ $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$	试件强度/MPa
1	12	12	144	2.3
2	13	24	312	4.7
3	13.5	36	486	7.0
4	13.25	48	636	8.1
5	13.1	60	786	10.5
6	13.58	72	978	13.1
7	13.36	84	1 122	14.7
8	12.5	96	1 200	15.7

4 混凝土实体强度的线性回归方程

4.1 求线性回归方程

以自变量温度·时间($^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$)为横坐标,因变量混凝土强度(MPa)为纵坐标建立坐标系,将表 1 中 8 组试验数据绘成图 1,可以看出数据点近似于一直线,运用 MATLAB 程序设计语言进行曲线拟合,求得回归方程 $Y=a+bx$ 中 $a=0.5947$, $b=0.0126$,即得混凝土实体强度的线性回归方程为 $Y=0.5947+0.0126x$ 。

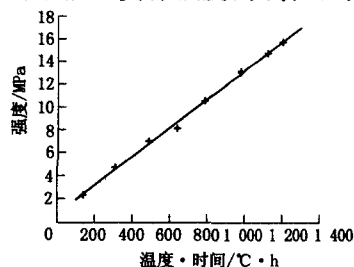


图 1 强度~温度·时间曲线

$$=0.5947+0.0126x^{[2]}。$$

4.2 回归精度分析

用回归方程近似计算混凝土强度的均方误差愈小,表明用回归函数法去研究随机变量 Y (试件强度)与 x (温度·时间)的关系就愈有效,所需计算数据见表 2。

表 2 回归精度分析计算数据

序号	x	Y	x^2	Y^2	xy
1	144	2.3	20 736	5.29	331.2
2	312	4.7	97 344	22.09	1 466.4
3	486	7.0	236 196	49.0	3 402
4	636	8.1	404 496	65.61	5 151.6
5	786	10.5	617 796	110.25	8 253
6	978	13.1	956 484	171.61	12 811.8
7	1 122	14.7	1 258 884	216.09	16 493.4
8	1 200	15.7	1 440 000	246.49	18 840
Σ	5 664	76.1	5 031 936	886.43	66 749.4

注: x 代表温度·时间,单位为 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$; Y 代表试件强度,单位为 MPa。

由表 2 数据可计算以下参数:

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 = 1 021 824$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i Y_i - \frac{1}{n} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right) = 12 870.6$$

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{1}{n} \cdot \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 = 162.5$$

根据拟合的线性回归方程得: $b=0.0126$

$$Q_e = S_{yy} - b \cdot S_{xy} = 0.3304$$

式中, Q_e 为残差平方和,是线性回归方程在 x 处的函数值与该处的观察值偏差的平方和。则均方误差:

$$\sigma^2 = Q_e / (n-2) = 0.055$$

因此所得回归方程能较好地拟合试验数据^[1]。

4.3 线性假设显著性检验

以上假定 Y 关于 x 的回归具有形式 $a+bx$,实际 Y 是否为 x 的线性函数,求得的线性回归方程是否具有实用价值,需要经过假设检验才能确定。

用 t 检验法进行检验,取 $\alpha=0.05$

$$\text{查表得 } t_{0.05/2}(n-2) = t_{0.05/2}(6) = 2.4469$$

$$|t| = \frac{|b|}{\sigma} \sqrt{S_{xx}} = 54.3 > 2.4469^{[1]}$$

故回归效果显著,混凝土实体强度 Y 与养护温度·时间 x 是一元线性函数,求得的线性回归方程有实用价值。

5 经验方程的应用

试验数据经线性回归分析,得出凉水河特大桥冬季施工墩台混凝土强度增长与养护温度·时间的

经验方程: $Y=0.594\ 7+0.012\ 6x$ 。一方面,据此方程可以由混凝土的实际养护温度和时间,推算出混凝土的实体强度,判断是否已达到抗冻强度,确定能否拆模。另一方面,目前客运专线工程量大、工期紧、大部分要冬季施工,为了在冬季施工中充分利用模板,增加模板的倒用次数,所以在确定了混凝土抗冻强度即拆模强度后,根据模板的倒用周期和混凝土强度增长的经验方程,可以计算出混凝土对应的养护温度,或在某一养护温度下,为达到抗冻强度需要养护的时间。

据统计,该项目冬季实际投入使用的墩身模板约 21 套,通过采取有效的加温和保温措施,依据拟合的混凝土强度线性回归方程和每个墩身实际养护温度,及时推算出不同时期混凝土实体强度,尽早确定了拆模时间。同时为了加快施工周期,在适当缩短养护时间的情况下,根据养护时间,推算出混凝土需要养护的温度。在近 100 d 的冬季施工期间共完成墩身 230 个,平均 1 套模板施工 1 个墩身仅需 9.1 d。

(上接第 121 页)

轮边减速器为德国力士乐(Rexroth Bosch) GFT34T2 减速器,主要技术参数见表 2。

表 2 减速器主要技术参数

输入转速	输入扭矩	减速比	输出转速	输出扭矩
$r \cdot \min^{-1}$	$N \cdot m$		$r \cdot \min^{-1}$	$N \cdot m$
最大 3 586	296.70	50.5	最大 71	最大 2 028 114 968.64

3.5.3 悬挂系统

全车有 34 个转向架,即共有 34 个悬挂油缸组成车辆的悬挂系统。

运梁台车左侧和右侧各前 8 个转向架平衡油缸,通过液压油管并联;运梁台车左侧后 9 个转向架油缸通过液压油管并联;运梁台车右侧后 9 个转向架油缸通过液压油管并联,形成运梁台车车架的三点支承结构。每个并联组内的悬挂油缸压力相等,相互补偿,以保证各转向架载荷均等。

悬挂油缸为单作用油缸,通过液压顶升车架,降

6 结 语

由于应用于回归分析的数据均为试验数据,为了使回归经验方程能真实反映客观规律,所以采用的数据必须真实准确,并且应有相当个数的数据。此外,该经验公式是以某种配合比的混凝土试验数据推导的,不同配合比的混凝土可根据此方法建立相应的经验方程。在本项目中根据每个墩身实际养护温度,通过应用拟合的线性回归方程,达到了在已有的模板条件和保证混凝土质量的条件下加快模板周转的目的。

参 考 文 献:

[1] 盛 骤,谢式千,潘承毅. 概率论与数理统计[M]. 北京:高等教育出版社,2001.
[2] 楼顺天. MATLAB 程序设计语言[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1997.

落靠车架重量使油缸回落。油缸内径 180 mm,行程 400 mm,系统设定压力 280 bar。

3.5.4 转向系统

本车转向为全轮转向,每个转向架都由 1 个液压油缸独立驱动。转向液压控制阀按转向动作要求控制开或关及控制阀芯开口大小,转向油缸按控制要求伸缩,使各转向架转动不同角度。转向油缸内径 110 mm,行程 940 mm。

3.6 电气系统

电力系统电压为 24 V,电器设备由以下部件组成:2 台三相交流发电机;2×2 组电瓶;1 个电瓶主开关;电力控制与分配设备(配电箱、接线盒、电缆等)。柴油发动机工作时,由 2 台三相交流发电机供电。柴油发动机启动时,由电瓶供电。柴油发动机停车时,电瓶可以继续为运梁台车供电。柴油发动机工作时,电瓶可以通过发电机充电。