

# 锚杆抗拔试验分析软件系统的开发

辛军霞<sup>1</sup> 周晓波<sup>1</sup> 任国家<sup>1</sup> 吴兴征<sup>2</sup> 通信作者

(1 北京市建筑工程研究院有限责任公司, 北京 100039)

(2 北京科技大学, 北京 100083) xingzhengwu@163.com [2231020028@qq.com](mailto:2231020028@qq.com)

Anchor 获得计算机软件著作权登记(2018SR080113) 北京市新技术新产品服务证书(证书编号: XFW2018FK0016) 北京建工集团有限责任公司 2018 年科技质量奖(创新类)三等奖

欢迎加入 QQ 群下载软件: 723276302 请注明 Duyuan 锚杆

或访问岩土论坛链接下载软件

<https://bbs.yantuchina.com/read.php?tid=280072&ds=1&page=1&toread=1#tpc>

可以分别适用于如下规范

- 1) CECS22-2005 岩土锚杆(索)技术规程
- 2) JGJ120 - 2012 建筑基坑支护技术规程
- 3) GB50330-2013 建筑边坡工程技术规范
- 4) GB50007-2011 建筑地基基础设计规范

**[摘要]** 锚杆抗拔试验在锚固工程中具有重要地位, 人工手算试验荷载并分析试验数据费时费力。针对锚杆试验加载过程和试验数据分析, 本文采用微软 Visual Basic 开发了锚杆抗拔试验分析系统。该系统可计算相关试验各级荷载值、锚杆理论弹性变形、分析试验数据并绘制相关技术规范要求的试验曲线图。系统具有界面友好, 快速可靠, 便于用户编制试验报告。

**[关键词]** 锚杆 基本试验 验收试验 蠕变试验 软件系统

## Software development of pullout tests of soil anchor

Jun-xia Xin<sup>1</sup> Xiao-bo Zhou<sup>1</sup> Guo-jia Ren<sup>1</sup> Xing-zheng Wu<sup>2</sup>

(1 Department of Geotechnical Engineering, Beijing Building Construction Research Institute, 100039

2 Department of Applied Mathematics, School of Applied Science, University of Science and Technology Beijing, Beijing, 100083)

**Abstract:** The pullout tests of soil anchor are playing an important role in a practical anchoring engineering. Handling with the testing data manually, for instance, drawing up load-displacement curves and analyzing the factor of safety or the allowable stress of an anchor rod, is time-consuming. In this paper, a software system of pullout tests of soil anchor is developed for plotting the multi-stage loading process curves, based on the Microsoft Visual Basic programming environments. The system permits us to calculate the loading values at all levels of related tests (including the basic, approval, and creep deformation test), and an elastic deformation of the anchor rod. The system also assists us to analyze experimental data and draw the curves required by the latest released technical specifications. The software system has a user-friendly and reliable interface.

**Key words:** soil anchor; basic test; approval test; creep deformation test; software

# 1 引言

锚杆在基坑和边坡支护工程运用日益广泛，与传统的桩、板、墙等支护方法相比，锚杆锚固技术具有造价低、工期短、占地空间少以及安全稳定性好等特点。锚杆的基本试验、验收试验和蠕变试验是检验设计的可行性及施工质量的主要手段<sup>[1, 2]</sup>。目前试验人员多采用人工手算或电子表格计算相关试验荷载并分析相关试验数据，这方面的工作量大且繁琐，并容易出现错误。

鉴于锚杆相关技术规范已经颁布实施<sup>[1]</sup>。本文基于微软面向对象程序设计语言 Visual Basic<sup>[3]</sup>开发锚杆拉拔试验分析系统，给定锚杆参数和试验数据可以迅速计算试验荷载并绘制成果曲线，这将为工程技术人员现场试验及撰写试验分析报告提供极大方便<sup>[4]</sup>。

## 2 系统总体设计和结构

锚杆拉拔试验分析系统采用模块化设计方法，主要包括荷载计算及锚杆基本参数、分项试验和帮助等模块，其中锚杆分项试验包括基本、验收和蠕变试验功能模块。系统主界面见图 1。系统中各模块相互独立，其中锚杆基本参数和帮助两个模块为该分析系统辅助模块，这方便用户清晰地了解系统结构和功能。在帮助模块中用户还可以调出相关文档以了解分析系统使用方法。以下着重介绍荷载计算和锚杆试验两个主要模块。



图 1 系统主界面

### 2.1 荷载计算

在进行锚杆的基本试验和验收试验过程中，多级试验荷载需通过液压千斤顶施加，本模块主要是方便工程人员确定基本试验

和验收试验各级荷载值的大小，以 kN 计，以及对应于千斤顶油压表的压力值，以 MPa 计，用户只需要输入锚杆承载力标准值及千斤顶标定系数，系统就可自动计算出基本试验和验收试验的荷载值。此外，用户在模块界面输入最大试验荷载及锚索各单元钢丝绳长度和根数，系统会根据补偿荷载计算公式得到锚索补偿荷载。

在锚杆弹性变形理论计算界面中输入工程信息（如工程名称、锚杆编号和计算荷载等）以及锚杆几何参数和力学参数，进而系统会计算每根锚杆弹性变形范围，即自由段变形的 80%，自由段与 1/2 锚杆段变形之和。同时将锚杆信息和计算结果更新显示在界面上。这里，杆体弹性变形计算公式  $s_1 = \frac{PL_f}{EA}$ 。

式中： $P$  为试验荷载， $E$  为杆体材料弹性模量， $A$  为杆体材料横截面积， $L_f$  为杆体自由段或锚固段长度。系统提供保存及读取数据功能，用户可保存计算结果或读取已分析的数据文件。

### 2.2 锚杆试验

#### (1) 基本试验

锚杆极限抗拔承载力试验采用多循环加载法，其加载分级和锚头位移观测时间应按表 1 确定<sup>[1]</sup>。

表 1 基本试验的加载分级与锚头位移观测时间

| 循环次数   | 分级加载与最大试验荷载的百分比 |    |    |     |    |    |    |
|--------|-----------------|----|----|-----|----|----|----|
|        | 初始荷载            | 加荷 |    |     | 卸载 |    |    |
| 1      | 10              | 20 | 40 | 50  | 40 | 20 | 10 |
| 2      | 10              | 30 | 50 | 60  | 50 | 30 | 10 |
| 3      | 10              | 40 | 60 | 70  | 60 | 40 | 10 |
| 4      | 10              | 50 | 70 | 80  | 70 | 50 | 10 |
| 5      | 10              | 60 | 80 | 90  | 80 | 60 | 10 |
| 6      | 10              | 70 | 90 | 100 | 90 | 70 | 10 |
| 时间/min | 5               | 5  | 5  | 5   | 5  | 5  | 5  |

锚杆极限抗拔承载力应符合式(1)的要求<sup>[1]</sup>：

$$\frac{R_k}{N_k} \geq K_t \quad (1)$$

式中： $K_i$ 为锚杆抗拔安全系数；安全等级为一级、二级、三级的支护结构， $K_i$ 分别不应小于 1.8、1.6、1.4； $N_k$ 为锚杆轴向拉力标准值(kN)； $R_k$ 为锚杆极限抗拔承载力标准值。关于 $N_k$ 和 $R_k$ 的取值可以参见文献[1]中 4.7.2 条说明。

在锚杆试验分析界面上，可以输入各级试验荷载下的锚杆实测变形，每根锚杆可一次输入多级试验数据，系统自动计算各级荷载下的平均变形和累计变形，系统会根据累计变形值计算锚杆弹性变形和塑性变形，做出直观的试验加载位移曲线图（参见图 2），同时确定锚杆基本承载力值。通过比较锚杆试验弹性变形值与规范要求的变形范围，可对锚杆设计的合理性及施工质量进行基本判定。

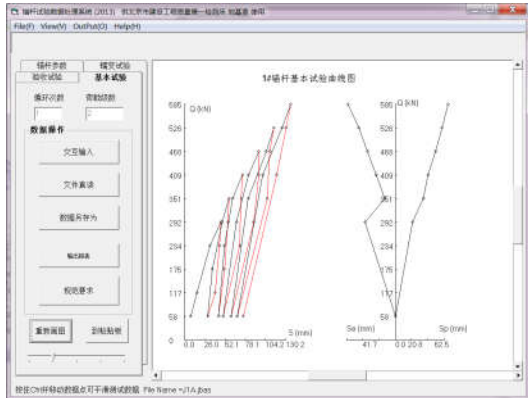


图 2 基本试验曲线绘制

基本试验数据也可以通过交互输入文本框进行更新，如图 3 所示。



图 3 基本试验数据输入

### (2) 蠕变试验

蠕变试验的加载分级及锚头位移观测时间应按表 2 确定<sup>[1]</sup>。

表 2 蠕变试验的加载分级与锚头位移观测时间

| 加载分级                | 0.50 $N_k$ | 0.75 $N_k$ | 1.00 $N_k$ | 1.20 $N_k$ | 1.50 $N_k$ |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 观测时间<br>$t_2$ (min) | 10         | 30         | 60         | 90         | 120        |
| 观测时间<br>$t_1$ (min) | 5          | 15         | 30         | 45         | 60         |

试验时应绘制每级荷载下锚杆的蠕变量-时间对数曲线，如图 4 所示，蠕变率 $k_c$ 应按式(2)计算<sup>[1]</sup>：

$$k_c = \frac{s_2 - s_1}{\lg t_2 - \lg t_1} \quad (2)$$

式中： $s_1$ 为 $t_1$ 时间测得的蠕变量(mm)； $s_2$ 为 $t_2$ 时间测得的蠕变量(mm)。

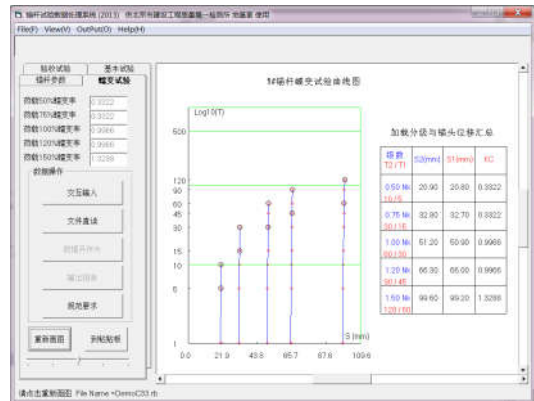


图 4 蠕变试验曲线绘制

同样地，蠕变试验数据可以通过交互输入并重新绘制曲线，如图 5 所示。



图 5 蠕变试验数据录入

### (3) 验收试验

锚杆抗拔承载力检测试验可采用单循环加载法，其加载分级和锚头位移观测时间按表 3 确定<sup>[1]</sup>。图 6 给出某锚杆的典型验收试

验曲线。

**表 3 单循环加载试验的加荷量及位移观测时间**

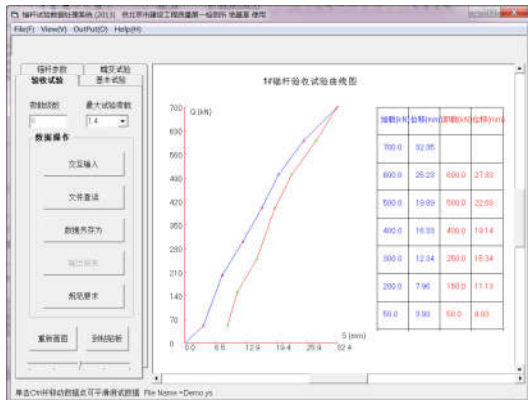
| 最大试验荷载    |    | 分级加载与锚杆轴向拉力<br>标准值 $N_k$ 的百分比 |    |    |    |     |     |     |
|-----------|----|-------------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|
|           |    | 10                            | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 |
| 1.4 $N_k$ | 加载 | 10                            | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 |
|           | 卸载 | 10                            | 30 | 50 | 80 | 100 | 120 | /   |
| 1.3 $N_k$ | 加载 | 10                            | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 130 |
|           | 卸载 | 10                            | 30 | 50 | 80 | 100 | 120 | /   |
| 1.2 $N_k$ | 加载 | 10                            | 40 | 60 | 80 | 100 | /   | 120 |
|           | 卸载 | 10                            | 30 | 50 | 80 | 100 | /   | /   |
| 时间/min    |    | 5                             | 5  | 5  | 5  | 5   | 5   | 5   |

抗拔承载力检测值应按表 4 确定<sup>[1]</sup>。

**表 4 锚杆的抗拔承载力检测值**

| 支护结构的安全等级 | 抗拔承载力检测值与轴向<br>拉力标准值的比值 |
|-----------|-------------------------|
| 一级        | $\geq 1.4$              |
| 二级        | $\geq 1.3$              |
| 三级        | $\geq 1.2$              |

检测试验中，符合下列要求的锚杆应判定合格：（1）在抗拔承载力检测值下，锚杆位移稳定或收敛；（2）在抗拔承载力检测值下测得的弹性位移量应大于杆体自由段长度理论弹性伸长量的 80%。

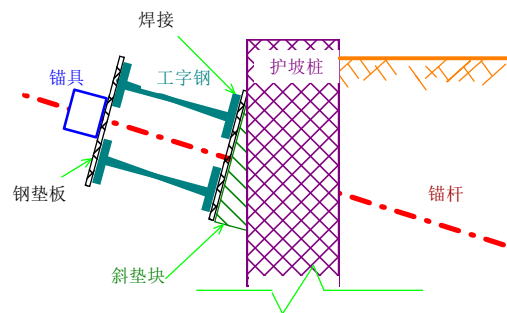


**图 6 验收试验曲线绘制**

### 3 工程应用

在锚杆弹性变形计算和锚杆试验分析界面上点击直读数据，可读入相关工程的数据文件。这里采用开发的锚杆拉拔试验分析系统，对北京市通州区万达广场工程东区边坡工程锚杆进行基本试验分析。图 7 给出该边坡工程锚杆抗拔试验的示意图。本次试验锚

杆数量为 9 根，编号分别为 WD218A、WD218B、WD218C、WD218D、WD218E、WD218F、WD218G、WD425 和 WD454，锚杆锚固层为砂质粘土层，边坡坡度为 1:0.5，锚孔直径为 1.10mm，锚杆倾角水平向下 25°，锚杆杆体钢筋为  $\Phi 25$  三级钢，三根锚杆均为全粘结拉力型锚杆。其中 WD218A 和 WD425 两根锚杆锚固段长度为 14.8m，自由段长度为 0m，最大试验荷载为 27.0kN，而 WD454 锚杆锚固段长度为 9m，自由段长度为 0m，最大试验荷载为 100kN。该计算成果与委托单位给出的结论基本一致。



**图 7 通州万达广场边坡工程锚杆抗拔试验示意**

最后将绘制出的曲线图粘贴到 Word 文档中，技术人员在较短的时间内便完成了该项工程的检测任务，并提交了咨询报告。

### 4 结论

采用可视化开发工具，系统具有界面直观，实用性和操作性较强。采用文件直接读入数据或交互输入等模式，这使得该系统具有很好的可移植性，便于在类似工程中推广应用。工程人员将系统分析的结果用于撰写试验报告，可以避免人为的失误，也可技术人员处理观测数据节省了大量时间。系统中锚杆的计算方法和试验数据的分析方法符合最新的相关规范要求，可以为工程技术人员提供可靠的成果。

#### 参考文献

- [1] JGJ120-2012. 建筑基坑支护技术规程 [B]. 中华人民共和国行业标准. 中国建筑工业出版社.
- [2] CECS22-2005. 岩土锚杆(索)技术规程 [B]. 中国工程建设标准化协会标准. 中冶

集团建筑研究总院.

[3] Petroustos E. Visual Basic 6 从入门到精通[M] 北京: 电子工业出版社, 1999.

[4] 钟贵荣. 锚杆(索)拉拔试验分析系统的开发与应用[J]. 福建建筑. 2011(4): 69-71.