

# 预应力锚索锚固力拉拔试验分析

韩 侃, 李登科, 吴冠仲

(中铁西北科学研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000)

**摘 要:** 以某高速公路边坡锚索为例, 介绍了已切割钢绞线的既有锚固工程锚索实现再次张拉试验获得锚索设计力学参数的试验方法、操作步骤以及锚索失效准则, 对获得的试验数据及在役边坡锚固工程锚索张拉破坏的几种情况分类进行了分析计算, 说明了利用现场拉拔试验成果确定预应力锚索有关地层设计参数的方法, 并对不同地层预应力锚索张拉破坏时的极限抗拔力进行了比较, 对每孔锚索实际自由端伸长量与理论伸长量进行对比分析, 系统分析了影响预应力锚索张拉变形破坏的各项因素, 得出了一些类似预应力锚索工程设计、施工可以借鉴的结论。

**关键词:** 预应力锚索; 锚固力; 拉拔试验

中图分类号: TU47 文献标识码: A 文章编号: 1000 - 4548(2011)S1 - 0385 - 03

**作者简介:** 韩侃(1981 - ), 男, 甘肃白银人, 工程师, 主要从事岩土工程方面的检测及监测工作。E-mail: hk2005aq@163.com。

## Pull-out tests on anchoring force of prestressed anchor cables

HAN Kan, LI Deng-ke, WU Guan-zhong

(Northwest Research Institute Co., Ltd. Of CREC, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** A highway slope anchor is taken as an example. The methods failure criteria and procedures of the existing anchoring construction anchors are introduced. The experimental process and the acquired experimental data in the practical project are offered. The achieved experimental data and several cases of a serving anchoring project anchor stretch-draw damage are analyzed and calculated. It illustrates how to use field drawing experimental results to determine the design parameters of the relevant strata prestressed anchors. The ultimate pullout capacity of different prestressed anchors are compared. The practical free end elongation and theoretical elongation of anchors are compared and analyzed. The factors which affects tension deformation and damage of prestressed anchors are discussed combining with the test process of a practical project. Finally, some conclusions are drawn.

**Key words:** prestressed anchor cable; anchoring force; pull-out test

## 0 引 言

预应力锚索技术以其强大的锚固力已被广泛应用。锚索所能提供的锚固力是关系工程成败的关键, 是锚索设计的关键内容, 在完整硬质岩层中其值主要取决于锚固介质对锚杆的握裹力, 而在软岩、风化岩层或煤层中则受水泥浆与孔壁的黏结力控制<sup>[1-2]</sup>。锚索锚固力的大小决定了锚索的布置及数量, 本文对锚固力测试的方法和步骤进行了说明, 结合示例对锚索张拉过程中出现的情况进行了归类总结。

## 1 试验概况

为了研究边坡锚固工程锚索锚固性能, 检验边坡预应力锚索的抗拔能力是否满足设计要求。结合现场的实际情况, 选出不同边坡、不同地层的拉拔试验资

料分析了锚固工程中锚索的受力状态。

### 1.1 试验设备

在拉拔试验过程中, 有些边坡部分锚索已封锚完成, 预留在混凝土构件外面的钢绞线只有 10 cm 左右, 要进行常规的拉拔试验需破坏混凝土受力构件, 对坡体的整体浇筑效果不利, 为了进行无损试验, 我院通过计算研究及现场试验在原来预留的基础上再接长钢绞线的办法, 对常规张拉系统进行了改进见图 1。

### 1.2 试验方法

试验采取分级加载, 逐级测量锚索钢绞线变形的方式进行。锚索钢绞线上还存在原施工单位施加的荷载, 这些荷载通过工作锚夹片压迫着工作锚和混凝土构件, 要进行锚索张拉试验需进行一道卸荷程序, 取出工作锚夹片使钢绞线处于自然状态后方可进行。其

方法：①在工作锚外部依次安装承载套筒和千斤顶；②先使千斤顶空走 30~40 mm 的油缸行程，然后安装单根的工具锚和夹片；③千斤顶升压，将已回缩的钢绞线拉出一定长度后稳压，挑出工作锚的工作夹片；④千斤顶卸荷。如此反复操作，可取出工作锚中的全部夹片；⑤开始拉拔试验，先进行预加载张拉至设计荷载的 20%，然后按 10%~20% 的设计荷载分级加载，直至 150% 的设计荷载。拉拔过程均由控制计算机自动记录拉拔荷载和对应位移值，位移采集设备采用多通道位移测试仪，采样间隔为 30 s。

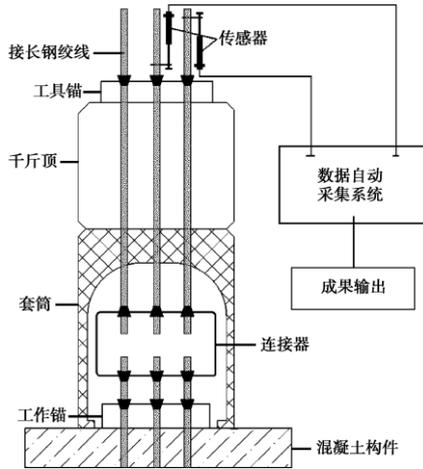


图1 锚索试验装置

Fig. 1 Device of anchor experiment

### 1.3 试验破坏准则<sup>[3-4]</sup>

试验中锚索的破坏准则按如下标准确定：①后一级荷载产生的锚头位移增量达到或超过前一级荷载产生的位移增量的 2 倍，即荷载 - 位移曲线出现明显的拐点；②油压表读数突然回落，锚头位移持续增长；③油压表指针瞬间严重摆动，锚索钢绞线断裂；④锚索承载体混凝土结构发生破坏。

## 2 试验孔选择及有关试验参数

本次试验锚索是由  $\varphi^{S15.24}$  mm 高强度、低松弛的钢绞线组成（其中 S-1 和 S-2 为 5 束锚索，S-3 和 S-4 为 6 束锚索），其公称截面积  $A=140 \text{ mm}^2$ ，弹性模量  $E=2 \times 10^5 \text{ MPa}$ ，抗拉强度标准值  $f_{ptk}=1860 \text{ MPa}$ 。试验孔位的选择是由设计方、监理单位和施工方一起在现场随机指定，试验锚索参数及锚索编号见表 1。

## 3 试验结果分析<sup>[5]</sup>

### 3.1 锚索 S-1

S-1 锚索锚头位移与张拉荷载的关系见图 2，从图 2 我们可以看出张拉到设计荷载的 150%，即 900 kN，锚索变形为非线性的弹性变形，未出现破坏性突变。依据锚索钢绞线的出厂弹性模量和截面积等数据，计算出各级张拉荷载所对应的钢绞线理论伸长位移，以

便进行比较验证。自由段长度理论伸长量计算： $\Delta L_0 = \Delta P L_0 / 5AE = (1.5N_t - 0.2N_t)$ ， $L_0 / 5AE = 0.078 \text{ m}$ 。自由

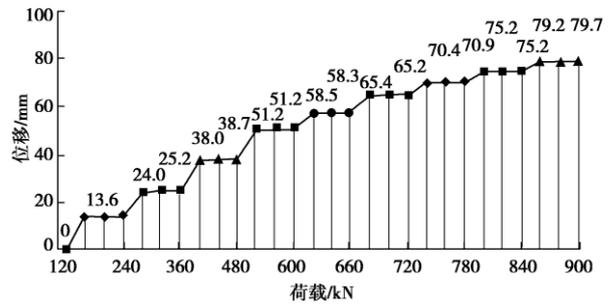


图2 S-1 锚索荷载 - 位移关系曲线

Fig. 2 Relation between load of S-1 anchor and displacement

表1 锚索规格参数

Table 1 Anchor's parameter norms

锚索编号	成孔直径/mm	锚固段长度/m	自由段长度/m	设计荷载/kN	围岩地层
S-1	130	10	14	600	砂岩
S-2	130	10	14	600	砂岩
S-3	130	10	11	660	泥岩
S-4	130	10	20	660	泥岩

段与 1/2 锚固段长度之和的理论弹性伸长值计算： $L_n = 21 \text{ m}$ ， $\Delta L_n = P_{max} L_n / 5AE = 1.5N_t L_n / 5AE = 0.135 \text{ m}$ 。式中，张拉自由段长度  $L_0 = \text{孔深} - \text{锚固段长度} + \text{垫座混凝土构件长度} + \text{张拉机具长度} = 14.0 \text{ m}$ ， $N_t$  为设计荷载。0.2 $N_t$ ~1.5 $N_t$  测得的锚头位移变化量  $\Delta L = 0.0797 \text{ m}$ 。试验结论  $\Delta L > 0.8\Delta L_0$  且  $\Delta L < \Delta L_n$ ，满足规范要求，试验合格。

### 3.2 锚索 S-2

S-2 锚索锚头位移与张拉荷载的关系见图 3，在张拉到 600 kN 时，油表读数有回落趋势，锚索的变形随着时间的增长而增长，符合前面所述锚索破坏准则。

锚索破坏时的张拉荷载为 600 kN，破坏形式为锚头位移长时间不收敛。孔周边提供黏结力的计算： $\tau_1 = P / (\pi DL) = 147 \text{ kN/m}^2$ ；依据设计数据推算黏结力： $\tau_2 = KT / (\pi DL) = 367 \text{ kN/m}^2$ 。式中， $P$  为试验最大拉力值，即破坏荷载 (kN)， $D$  为成孔直径 (m)， $L$  为锚固段长度 (m)， $K$  为锚索设计安全系数， $T$  为锚索设计荷载 (kN)。

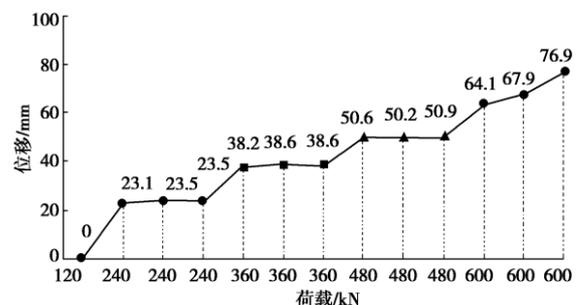


图3 S-2 锚索荷载 - 位移关系曲线

Fig. 3 Relation between load of S-2 anchor and displacement

理论计算结果显示， $\tau_1$  远远小于  $\tau_2$ ，说明 S-2 锚索的极限抗拔力不足。破坏时锚索的拉应力也远远小于钢绞线的非比例延伸力 ( $F_{P0.2} = 1170 \text{ kN}$ )，钢绞线仍处

于弹性状态。计算当前应力下自由段的理论伸长量为 48 mm, 而锚索破坏时的总变形为 76.9 mm, 说明张拉过程中锚固段有相对位移或塑性位移发生。

### 3.3 锚索 S-3

S-3 锚索锚头位移与张拉荷载的关系见图 4, 在张拉到 858 kN 持荷时, 油表跳动剧烈随后迅速回落, 两束钢绞线夹片松动, 无法继续张拉。锚索破坏时的张拉荷载为 858 kN, 破坏形式为钢绞线钢丝断裂。计算当前应力下自由段的理论伸长量为 47.5 mm, 而锚索破坏时的总变形为 33.8 mm, 说明自由段弹性位移未完全发生。

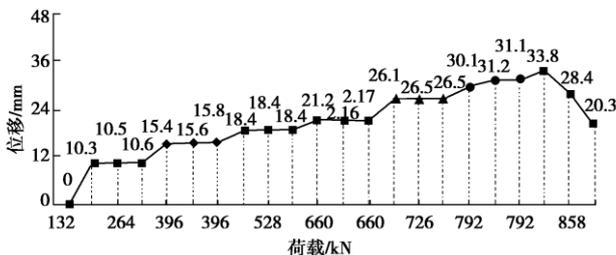


图 4 S-3 锚索荷载 - 位移关系曲线

Fig. 4 Relation between load of S-3 anchor and displacement

### 3.4 锚索 S-4

S-4 锚索锚头位移与张拉荷载的关系见图 5, 在张拉到 792 kN 时, 地梁工作面出现拉裂, 位移长时间不收敛, 油压加不上去, 无法继续张拉。锚索破坏时的张拉荷载为 792 kN, 破坏形式为地梁破坏。

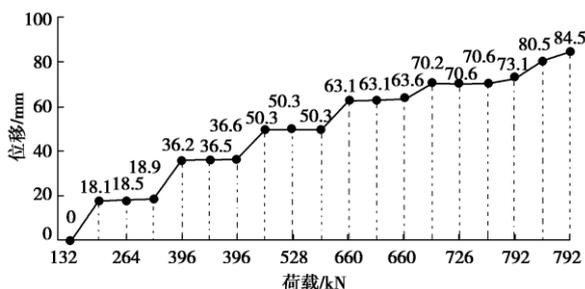


图 5 S-4 锚索荷载 - 位移关系曲线

Fig. 5 Relation between load of S-4 anchor and displacement

## 4 结 论

(1) 张拉过程以荷载 - 位移曲线曲率突变点为界, 可分为非线性弹性变形阶段和峰后的残余变形阶段, 在非线弹性阶段, 如曲线有斜率突变, 可说明钢绞线有局部断丝、浆体破坏或反力结构有无异常等。若实测位移量大于理论伸长量, 且锚索未破坏, 说明锚固段有相对位移或塑性位移发生, 如锚索 S-1; 如实测位移量大于理论伸长量, 锚索被破坏, 就要看锚索破坏的形式来分析, 如锚索 S-2、S-3。若实测位移量小于理论伸长量, 说明内锚固段可能塌孔、漏浆或锚索被卡死, 致使自由段短, 实际伸长量较小。如锚索 S-3。

(2) 通过计算公式可以看出锚索锚固力是注浆体

强度、围岩特性以及两者之间黏结力和锚固段长度的函数。由于锚索体在岩层中的受力比较复杂, 锚固力的大小还与锚索的破坏形式有关。实践验证说明黏结力是决定锚固力大小的关键因素, 如锚索 S-2。

(3) 不同围岩中, 锚索的黏结力差异性较大, 黏结力的确定可作为设计参数采用并计算锚固段长度。如在泥岩中的锚索 S-3 锚固长度为 11 m, 锚固段就有足够的锚固力以至于锚索钢绞线断裂而不松动。

(4) 在锚索拉拔试验时, 所施加的锚固力是在被加固体 (混凝土构件) 表面同时施加反向压力来实现的, 说明混凝土构件的强度至关重要, 如锚索 S-4, 所以设计还是施工要引起重视。

(5) 锚索试验时, 锚索荷载的传递和破坏通常是渐进式的, 前面破坏发生, 承载力并不会消失, 可能会达到更高一点的荷载值, 因为锚索破坏时不仅受注浆体和围岩之间的黏结力的作用, 而且受他们之间摩擦力的作用。所以拉拔试验所测得的极限抗拔力应比正常偏高一些。

### 参考文献:

- [1] 陈良奎, 范景伦, 韩 军, 等. 岩土锚固[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003. (CHENG Liang-kui, FAN Jing-lun, HAN Jun, et al. Anchoring in rock soil[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2003. (in Chinese))
- [2] 丁秀丽, 盛 谦. 预应力锚索锚固机理的数值模拟试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(7): 980 - 988. (DING Xiu-li, SHENG Qian. Numerical simulation testing study on reinforcement mechanism of prestressed anchorage cable[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(7): 980 - 988. (in Chinese))
- [3] 李 铀, 白世伟, 方昭茹, 等. 预应力锚索锚固体破坏与锚固力传递模式研究[J]. 岩土力学, 2003, 24(5): 686 - 690. (LI You, BAI Shi-wei, FANG Zhao-ru, et al. Research on failure mechanism and anchoring force transmission of prestressed cable[J]. Rock and Soil Mechanics, 2003, 24(5): 686 - 690. (in Chinese))
- [4] 张发明, 陈祖煜, 刘 宁. 岩体与锚固体间黏结强度的确定[J]. 岩土力学, 2001, 22(4): 470 - 473. (ZHANG Fa-ming, CHEN Zu-yu, LIU Ning. Determination of cohesive strength between rock mass and anchors[J]. Rock and Soil Mechanics, 2001, 22(4): 470 - 473. (in Chinese))
- [5] 陈安敏, 顾金才, 沈 俊. 预应力锚索的长度与预应力值对其加固效果的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(6): 848 - 852. (CHEN An-min, GU Jin-cai, SHEN Jun. Impact of length and prestress value of anchor cable on its reinforcement effect[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics

and Engineering, 2002, **21**(6): 848 - 852. (in Chinese)

(本文责编 胡海霞)