

# 压力分散型锚索的验收试验分析与检验标准研究

闫贵海, 王宪章, 杨志银, 于会来, 邓 岩  
(中国京冶工程技术有限公司深圳分公司, 广东 深圳 518054)

**摘要:**在当前压力分散型预应力锚索(杆)的验收试验相关规程中,对总位移量控制范围没有明确规定,使得实际施工验收无所适从。通过对等位移和等荷载2种张拉法的比较,对压力分散型预应力锚索在验收试验中的总位移量的控制范围进行了研究,并结合实际锚索验收试验给出控制范围的建议值,供该类型锚索验收试验相关研究及规范取值参考。

**关键词:**压力分散型锚索;等位移张拉法;等荷载张拉法;验收试验

**中图分类号:**U418.5<sup>+</sup>2;TV554<sup>+</sup>.12 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)07-0080-05

**Analysis on Acceptance Test of Pressure-dispersive Anchor and the Study on Related Test Standards/YAN Gui-hai, WANG Xian-zhang, YANG Zhi-yin, YU Hui-lai, DENG Yan** (Shenzhen Branch of China Jingye Engineering Co., Ltd., Shenzhen Guangdong 518054, China)

**Abstract:** The control range of total displacement is not clearly stipulated in the present correlative regulations about the acceptance test of pressure-dispersive. By comparing the tension methods of equal displacement and equal load, the study is made on the control range of total displacement of pressure-dispersive anchor in acceptance test, and some suggested values of the control range are put forward according to the practical acceptance test, which can be reference to related studies on the similar anchor acceptance tests and values determined for standard.

**Key words:** pressure-dispersive anchor; equal displacement tension method; equal load tension method; acceptance test

## 0 引言

目前,锚索技术在岩土锚固领域有着广泛的应用,有学者统计,当前科研人员研发的预应力锚索结构达百余种<sup>[1]</sup>(有学者统计为600种<sup>[2]</sup>)。而自20世纪80年代以来研发推广的压力分散型锚索<sup>[3]</sup>,充分利用了内锚固段水泥砂浆注浆体的抗压强度远大于其抗拉强度的特点,大大提高了承载力。程良奎和李象范<sup>[4]</sup>、李海民<sup>[5]</sup>、顾金才<sup>[6]</sup>等广大学者对压力分散型锚索的力学性能、锚固荷载、应力分布等进行了大量研究,并取得了一定的成就,但在验收试验方面,现有研究深度相对不足。当前锚索检验主要参照的是《岩土锚杆(索)技术规程》(CECS 22:2005)<sup>[7]</sup>,但该规程并未对压力分散型预应力锚索验收试验位移量的控制范围做出规定,而目前岩土工程界的分束张拉试验工艺也没有普及,因此,对压力分散型预应力锚索的验收试验位移量的确定还存有疑问,致使压力分散型预应力锚索施工验收处于尴尬境地。

本文结合该技术规程对等位移及等荷载2种验

收试验的张拉方式进行分析,其中等荷载张拉又分为分束等荷载张拉和对各单元锚杆分别预加荷载再同时分级张拉2种张拉法,通过3种方法的特点分析,给出相应验收试验总位移量的控制范围,供压力分散型预应力锚索的验收试验研究和相关标准制定参考。

## 1 等位移张拉法分析

### 1.1 验收试验位移量控制范围

等位移张拉法进行压力分散型预应力锚索验收试验的张拉示意图如图1所示。其中 $\Delta L$ 是验收试验的总位移量, $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 分别是承载体1、承载体2和承载体3的钢绞线长度, $L$ 是相邻承载体间距。

在等位移张拉过程中,压力分散型预应力锚索的各个承载体上的钢绞线的位移量 $\Delta L$ 是相同的,而每个承载体的钢绞线长度不同,因此,所承受的拉力是不相等的,由弹性力学有如下关系式:

$$\text{承载体 1: } \Delta L = P_1 L_1 / (E_s A_s) \quad (1)$$

$$\text{承载体 2: } \Delta L = P_2 L_2 / (E_s A_s) \quad (2)$$

收稿日期:2014-02-19;修回日期:2014-05-26

作者简介:闫贵海(1985-),男(满族),辽宁人,中国京冶工程技术有限公司深圳分公司助理工程师,岩土工程专业,硕士,从事基坑支护及地基处理工作,广东省深圳市南山区后海大道后海办公楼6楼,ygh2041@sina.com。

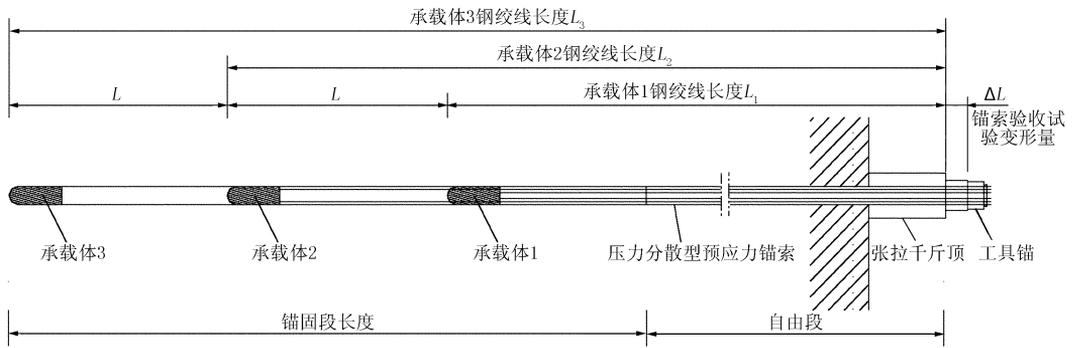


图 1 等位移张拉法示意图

$$\text{承载体 3: } \Delta L = P_3 L_3 / (E_s A_s) \quad (3)$$

$$\text{整理后得: } P_1 = [(L_1 + L) / L_1] P_2 = [(L_1 + 2L) / L_1] P_3 \quad (4)$$

$$P_2 = [L_1 / (L_1 + L)] P_1 \quad (5)$$

$$P_3 = [L_1 / (L_1 + 2L)] P_1 \quad (6)$$

则有:

$$P_n = \{L_1 / [L_1 + (n - 1)L]\} P_1 \quad (n \geq 1) \quad (7)$$

式中:  $L_i$ ——承载体  $i$  的钢绞线长度, mm,  $i = 1, 2, 3 \dots n$ ;  $P_i$ ——承载体  $i$  的钢绞线承受的拉力, N,  $i = 1, 2, 3 \dots n$ ;  $E_s$ ——钢绞线弹性模量, MPa;  $A_s$ ——钢绞线截面积,  $\text{mm}^2$ 。

由公式(4)~(7)有如下关系式:

$$P_1 > P_2 > P_3 > \dots > P_n \quad (8)$$

由式(8)看出,在等位移张拉法中,承载体 1 承受的拉力最大,即在最大试验荷载作用下承载体 1 最先达到极限。因此承载体 1 锚筋长度的理论伸长值即为整体张拉验收试验的总位移量  $\Delta L$  的上限值,设为  $S_{\max}$ ,而根据规程<sup>[7]</sup>要求,验收试验的总位移量的下限值取为  $0.8S_{\max}$ 。

由此有等位移张拉法进行压力分散型预应力锚索验收试验总位移量控制范围公式:

$$0.8S_{\max} < \Delta L < S_{\max} \quad (9)$$

$$S_{\max} = K_p N_i L_1 / (E_s A_s) \quad (10)$$

式中:  $S_{\max}$ ——承载体 1 锚筋长度在  $K_p N_i$  极限荷载作用下的理论伸长值, mm;  $K_p$ ——单元锚杆锚固段注浆体的局部抗压安全系数;  $N_i$ ——单元锚杆的轴向拉力设计值, N。

### 1.2 算例分析

根据规程<sup>[7]</sup>要求,验收试验不能破坏锚索结构,即在千斤顶作用力达到 1.5 倍(临时性锚索 1.2 倍)  $nN_i$  时,锚杆不能发生破坏,此时  $P_1$  达到最大值,设为  $F_{\max}$ 。

整理公式有:

$$P_1 + P_2 + \dots + P_n = 1.5nN_i \quad (11)$$

$$F_{\max} = 1.5nN_i / \{1 + L_1 / (L_1 + L) + \dots + L_1 / [L_1 + (n - 1)L]\} \quad (12)$$

由规程<sup>[7]</sup>7.4.2 知:

$$F_{\max} \leq K_p N_i \quad (K_p = 2) \quad (13)$$

将实际工程常用  $L_1, L$  长度参数带入公式(12)计算各承载体所受拉力见表 1。

表 1 不同单元锚索锚筋拉力计算值

| 锚索类型   |       | $L_1 = 10 \text{ m}$ |                   |                   | $L_1 = 12 \text{ m}$ |                   |                   |
|--------|-------|----------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
|        |       | $L = 3 \text{ m}$    | $L = 4 \text{ m}$ | $L = 5 \text{ m}$ | $L = 3 \text{ m}$    | $L = 4 \text{ m}$ | $L = 5 \text{ m}$ |
| 2 单元锚索 | $P_1$ | 1.70                 | 1.75              | 1.80              | 1.67                 | 1.71              | 1.76              |
|        | $P_2$ | 1.30                 | 1.25              | 1.20              | 1.34                 | 1.29              | 1.24              |
| 3 单元锚索 | $P_1$ | 1.88                 | 1.98              | 2.08              | 1.82                 | 1.91              | 2.00              |
|        | $P_2$ | 1.45                 | 1.41              | 1.39              | 1.46                 | 1.43              | 1.41              |
|        | $P_3$ | 1.18                 | 1.10              | 1.04              | 1.21                 | 1.15              | 1.10              |
| 4 单元锚索 | $P_1$ | 2.05                 | 2.20              | 2.34              | 1.97                 | 2.11              | 2.23              |
|        | $P_2$ | 1.58                 | 1.57              | 1.56              | 1.58                 | 1.58              | 1.57              |
|        | $P_3$ | 1.28                 | 1.22              | 1.17              | 1.31                 | 1.27              | 1.22              |
|        | $P_4$ | 1.08                 | 1.00              | 0.94              | 1.13                 | 1.06              | 1.00              |

注:  $P_i$  为承载体  $i$  的锚筋拉力值,表中数值为  $P_i$  与  $N_i$  的比值,  $i = 1, 2, 3, 4$ 。

由表 1 可见,在不同  $n$  值下,各承载体拉力值关系为  $P_1 > P_2 > P_3 > P_4$ ;在  $L_1$  长度相同条件下,  $L$  值越大,  $P_1$  值越大;在  $L$  值相同条件下,  $L_1$  越大,  $P_1$  值越小。

考虑到各承载体以  $2.0N_i$  为拉力极限,则当  $1 < n \leq 3$  时,锚杆的承载体 1 基本安全,但  $L_1 = 10 \text{ m}$  时,  $L$  不得超过  $5 \text{ m}$ ,否则应考虑增大  $L_1$  长度;当  $n > 3$  时,承载体 1 的单元锚杆多已超极限值,只有在  $L_1$  较大且  $L$  较小的组合下才满足极限要求。因此,等位移张拉法在承载体个数超过 3 个时要慎重使用。

### 2 等荷载分束张拉法分析

图 2 为等荷载分束张拉法进行压力分散型预应力锚索的验收试验的千斤顶布置示意图。根据规程<sup>[7]</sup>9.4.2 条,其最大荷载应是单元锚杆设计荷载  $N_i$  的 1.5 倍(临时锚杆为 1.2 倍  $N_i$ ),同时该规程规定拉力型锚杆在最大试验荷载下所测得的总位移量,应超

过该荷载下杆体自由段长度理论弹性伸长量的80%,且小于杆体自由段长度与1/2锚固段长度之和的理论弹性伸长值。对于压力分散型预应力锚索来说,其锚固段和自由段的钢绞线锚筋并不与注浆体粘结,张拉时锚筋的整个长度都处于自由伸长状态。因此,总位移量控制范围如何确定需要探讨。

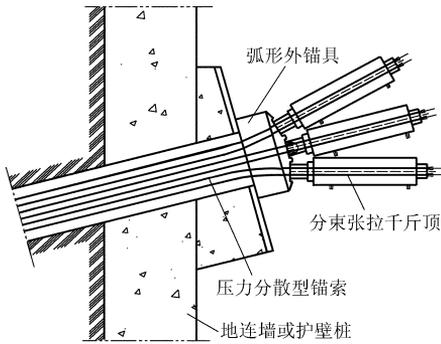


图2 分束张拉千斤顶布置示意图

笔者分析认为,总位移量下限值可以借鉴规程<sup>[7]</sup>9.4.6.1条规定,对各个单元锚杆(承载体)单独验收,即每个单元锚杆在其最大试验荷载下所测得的总位移量应超过该荷载下杆体自由段长度理论弹性伸长量的80%。而上限值确定比较复杂,因为没有1/2锚固段长度的伸长量的参考,可以整个锚筋长度的理论弹性伸长值作为总位移量的上限。同时考虑到试验基座的压缩变形、接触变形以及承载体的蠕变等因素,根据不同的地质条件确定一个经验系数进行修正,其取值范围可定为1.05~1.10,砂层取较小值,淤泥质地层取较大值。用该经验系数乘以上述理论弹性伸长值,即为验收试验总位移

量的上限值。

公式表示如下:

$$0.8S_{iz} \leq S_y \leq k_j S_i \quad (14)$$

式中: $S_{iz}$ ——第*i*个单元锚杆在其最大试验荷载作用下自由段锚筋长度的理论弹性伸长值,mm; $S_y$ ——第*i*单元锚杆在验收试验时所测得的总位移量,mm; $S_i$ ——第*i*单元锚杆在其最大试验荷载作用下的锚筋长度的理论弹性伸长值,mm; $k_j$ ——经验系数,1.05~1.10。

因为每个承载体都是单独张拉,因此按照上述方法进行压力分散型预应力锚索的施工验收效果比较直观。但是,该方法的张拉操作比较复杂,仅分束张拉千斤顶设备和弧形锚具对大多数施工或验收试验队伍来说还有难度;再者,分束千斤顶的布置困难,钢绞线在弧形锚具处存在弯曲现象,其摩擦力的计算也比较复杂。因此,目前在实际锚索工程中较难以推广应用。

### 3 各单元锚杆分级预加荷载张拉法分析

#### 3.1 验收试验位移量控制范围

各单元锚杆分级预加荷载张拉法近似于等荷载张拉法。不同的是通过张拉过程控制预先对各单元锚杆施加荷载,然后再整体张拉,可参考规程<sup>[7]</sup>8.5.3的张拉步骤进行张拉(注意规程<sup>[7]</sup>承载体的标注序列数与本文相反)。图3为张拉示意图。 $\Delta L$ 是验收试验总位移量, $S_2$ 和 $S_3$ 分别是预加荷载后的位移量。

在整个张拉过程中,除承载体1外的各承载体

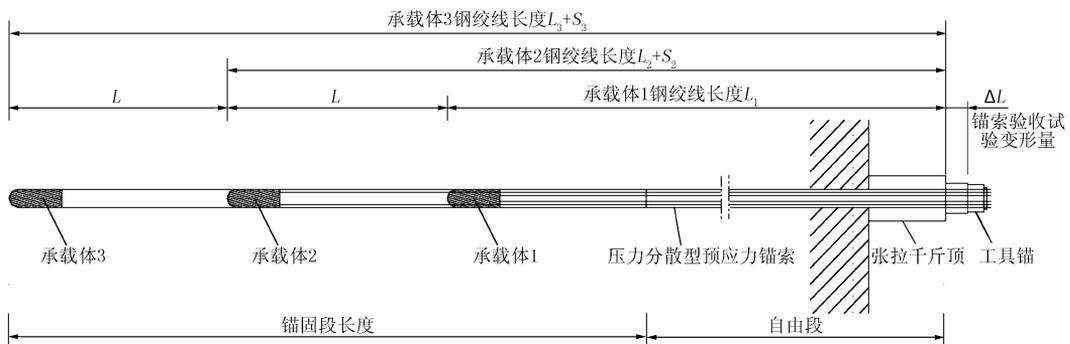


图3 分级预加荷载张拉法示意图

的钢绞线都按照规程<sup>[7]</sup>8.5.3预加了荷载,其位移量分别是 $S_2$ 和 $S_3$ 。然后将最短承载体1安装锚夹片后再整体继续进行张拉,此时所有承载体的新增位移量是相同的,该位移量可称之为张拉有效位移量( $S_y$ ),其值为最终测得的总位移量减去 $S_2$ 和 $S_3$ 。

笔者对某边坡支护锚索验收试验的实测数据进

行了分析,并结合规程<sup>[7]</sup>9.4.6.1条规定,认为应以最短锚筋的承载体在其最大试验荷载作用下自由段锚筋长度的理论弹性伸长值的80%作为位移量下限控制值;而位移量上限值则取最长锚筋的承载体在其最大试验荷载作用下锚筋长度的理论弹性伸长值;这样即保证了最短钢绞线单元锚杆的安全,又检

验了锚索的整体质量。以公式表示如下:

$$0.8S_d \leq S_y \leq S_e \quad (15)$$

式中:  $S_d$ ——最短单元锚杆在其最大试验荷载作用下自由段锚筋长度的理论弹性伸长值, mm;  $S_y$ ——锚杆在验收试验时所测得的有效位移量, mm;  $S_e$ ——最长单元锚杆在其最大试验荷载作用下锚筋长度的理论弹性伸长值, mm。

### 3.2 工程实例分析

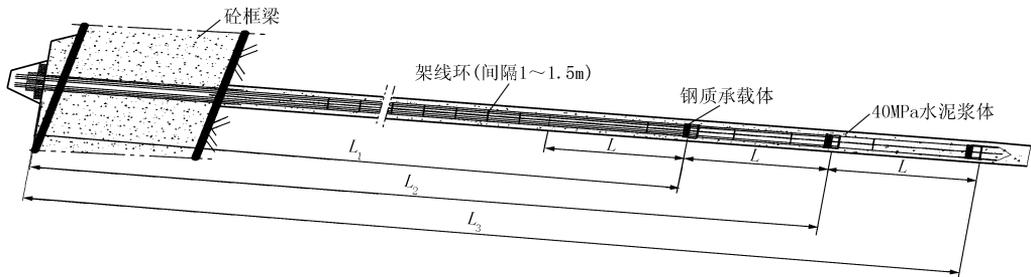


图4 压力分散型预应力锚索结构图

最大验收试验荷载为设计轴向拉力的 1.5 倍; 张拉千斤顶是 YCW70B-100。张拉方法是先将整体加载至最大试验荷载的 15%, 将钢绞线拉直, 然后卸载松开。先安装最长单元的钢绞线的工具锚夹片并加载至对应荷载(差异荷载  $\Delta P_1$ ), 然后再安装中间单元钢绞线的夹片同时加载至对应荷载(差异荷载  $\Delta P_1 + \Delta P_2$ ), 最后安装最短单元钢绞线的夹片; 再按照规程进行分级加荷载张拉, 荷值分别为拉力设计值的 0.5、0.75、1.0、1.2、1.33 和 1.5 倍。

采用公式(15)计算的位移量控制范围如下: 20、23、25 m 长锚索计算位移量控制范围分别为 24.2~54.9、30.8~63.2、35.2~68.7 mm。按上述位移量控制范围与现场实测有效位移量对照发现: 在荷载符合设计要求的情况下, 20 m 长的锚杆共计 23 根, 下限全部满足, 其中 4 根位移量超上限, 最小超限是 4.3 mm, 最大超限是 7.2 mm, 平均超限 5.5 mm; 23 m 长的锚杆共计 15 根, 位移量全部在控制范围; 25 m 长的锚杆共计 68 根, 位移量全部在控制范围。说明按公式(15)计算的分散型预应力锚索(杆)位移量控制范围比较符合工程实际。至于 4 根锚索超限问题, 应结合规程<sup>[7]</sup>9.4.6 的第二款评判锚索是否合格。

公式(15)中位移量下限值取最短单元锚杆在其最大试验荷载作用下自由段锚筋长度的理论弹性伸长值的 80%, 与现有规程规定相一致; 位移量上限值取最长单元锚杆在其最大试验荷载作用下锚筋长度的理论弹性伸长值, 主要是考虑锚索验收试验

采用各锚杆分级预加荷载张拉法对深圳市某边坡锚固工程压力分散型预应力锚索进行验收试验, 锚筋由无粘结钢绞线制作, 由 3 个单元锚索组成, 每个单元锚索由 2 根无粘结钢绞线内锚于钢质载体组成。锚索长度分别为 20、23、25 m; 其锚固段长度均为 9 m(3+3+3 m), 自由段长度分别为 11、14、16 m; 设计承载力  $N_i$  均为 300 kN。锚索结构如图 4。

时的其他因素所导致的附加位移量, 如锚固段蠕变、试验台座的变形以及其他的接触变形; 总体来说, 给定的位移量控制范围是有扩大之嫌, 但这有利于实际验收试验的现场操作, 不影响锚杆的安全性。

### 4 分析及结论

根据 3 种张拉法的荷载-位移关系总结有图 5 示意图, 由图 5 可知: 对等位移张拉法, 张拉试验主要受最短的载体 1 控制, 在张拉过程极易发生锚杆单元 1 破坏而其它单元体未张拉够的情况, 同时若要保证载体 1 安全, 又必然造成其它载体的浪费, 锚杆单元越多浪费越严重; 对等荷载分束张拉法, 可以分别考虑各锚杆单元的张拉情况, 因而张拉效果最理想, 是理论上最适合的张拉方式; 对分级预加荷载张拉法, 通过预加荷载的方式, 较好的解决了各单元锚杆因为长度不同带来的变形量的差异问题, 实现了锚固材料的充分利用。

综上所述, 压力分散型预应力锚索(杆)3 种验收试验方法的优劣分析如下。

(1) 等位移张拉法存在明显危害锚杆安全的缺陷, 锚固验收试验中不宜采用。

(2) 等荷载分束张拉法虽然可以分别对各个单元锚杆进行验收试验, 但该方法比较复杂, 仅分束张拉千斤顶设备和弧形锚具对大多数施工或验收试验队伍来说还有难度; 再者, 分束千斤顶的布置困难, 钢绞线在弧形锚具处存在弯曲现象, 其摩擦力的计算也比较复杂。因此, 在工程中也较难以推广应用。

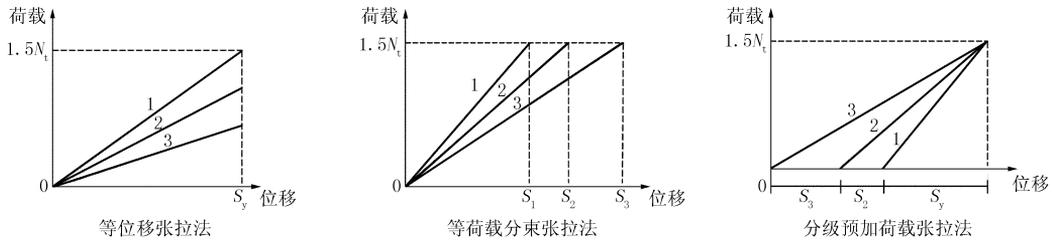


图5 不同张拉法荷载—位移关系示意图

注:1,2,3 分别代表承载体1、承载体2、承载体3 张拉荷载与位移曲线

(3)各单元锚杆分级预加荷载张拉法较符合实际工程验收的要求;并且张拉设备和工艺也较成熟;同时也符合规程<sup>[7]</sup>的张拉试验要求。因此,在工程中推荐使用公式(15)作为总位移量控制范围。

另外,本文之所以推荐分级预加荷载张拉法进行压力分散型预应力锚索验收试验,主要是考虑公式(15)能较全面地反映锚杆的实际锚固质量,并得到实际工程的初步检验且安全可靠。至于是否合适,还有待业内专家进一步探讨及论证。

#### 参考文献:

[1] 沈俊,顾金才,张向阳,等. 拉力型和压力型自由式锚索现场拉

拔试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2012,31(S1):3291-3297.

[2] 卢灿东. 柔性注浆锚杆结构参数与锚固性能分析研究[D]. 山东青岛:青岛科技大学,2007.1-2.

[3] 刘鸿,周德培,王志斌. 压力分散型锚索锚固机制模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2012,31(S1):3075-3081.

[4] 程良奎,李象斌. 岩土锚固·土钉·喷射混凝土——原理、设计与应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.1-136.

[5] 李海民,刘成洲,李鑫,等. 大吨位压力分散型锚索的设计与应用研究[J]. 岩石力学与工程学报,2002,21(S1):2284-2289.

[6] 顾金才,沈俊,陈安敏,等. 锚索预应力在岩体内引起的应变状态模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2000,19(S1):917-921.

[7] CECS 22:2005,岩土锚杆(索)技术规程[S].

#### (上接第79页)

拟建期和改建期勘察资料从理论角度进行对比分析,同时结合工程实例进行研究,从经济科学合理的角度分析探讨拟建期资料的时效性,在充分利用拟建期资料的基础上,合理布置改造期的工作量,达到节约工期和降低勘察成本的目的。对于道路改造项目,拟建期的勘察资料的利用应主要考虑以下几点:

(1)场地地形地貌和地层,应在充分了解建设前后现场变化的基础上确定;

(2)地下水和岩土物理力学性质,应考虑气候的变化和当地工程地质条件和水文条件的变化;

(3)对于路基破坏为主的路段,应以现场勘察为主,而以路面网裂破坏为主,则可以充分利用拟建期资料;

(4)对于以砂土为主的地区,4 m以内为主要影响深度范围,超出该深度范围,砂土层密实性变化不大;

(5)勘察工作量布置时,利用拟建期勘察资料时,应考虑新旧规范的差异。

#### 参考文献:

[1] CJJ 56-2012,市政工程勘察规范[S].

[2] GB 50021-2001,岩土工程勘察规范[S].

[3] JTG C 20-2011,公路工程地质勘察规范[S].

[4] 程业洪,李鼎强. 城市岩土工程勘察资料的时效性分析[J]. 黑龙江科技信息,2008,(16):55.

[5] 陈政治. 岩土工程勘察技术标准与相关问题案例分析研究[J]. 工程勘察,2013,(S1):11-15.

[6] 韦臣. 某市政工程高边坡滑坡勘察分析及处理综述[J]. 山西建筑,2009,35(17):85.

[7] 彭文. 长平高速公路 K73+200~K73+500 段路面塌陷勘察评价及治理研究[D]. 吉林长春:吉林大学,2011.

[8] 潘广灿,张金来. 对岩土工程勘察与地基设计若干问题的认识[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(9):20-21,24.

[9] CJJ 37-90,城市道路设计规范[S].

[10] CJJ 194-2013,城市道路路基设计规范[S].

[11] 张建根,徐鹏道,刘国权,等. 市政工程勘察中常见问题浅析[J]. 城市道桥与防洪,2010,(10):162-163.

[12] 谭东林,段永强. 市政道路工程地质勘察探讨[J]. 岩土工程界,2009,11(10):79-80.

[13] CJJ 56-94,市政工程勘察规范[S].

[14] JTG E 40-2007,公路土工试验规程[S].

[15] JTG D 63-2007,公路桥涵地基与基础设计规范[S].

[16] 林宗元. 岩土工程试验监测手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.