

# 预应力锚索加固边坡基坑工程设计 回忆与思考

孙 凯 孙学毅

(海南海凯岩土工程有限公司 海口 570311)

**摘 要:**文中强调了压力型锚索的优越性,同时也分析了软土深基坑采用土锚与锚索组合支护的必要性。通过回忆以往设计,经过思考之后建议:边坡、基坑工程安全系数应采用 $k_{\text{上}}$ 、 $k_{\text{中}}$ 、 $k_{\text{下}}$ 三个阶段安全系数,其中 $k_{\text{下}} > k_{\text{中}} > k_{\text{上}}$ ,三者平均值满足规范 $k$ 值。文中还指出在某些条件下,设计时应考虑锚索整体稳定。热带地区岩体边坡中锚杆温度应力是不可忽略的。

**关键词:**预应力锚索 加固 边坡 基坑 安全系数

## 前言

近20年笔者参与60余项预应力锚索加固边坡、基坑工程设计与施工。起初胆量较大,之后胆量逐渐减小。这一过程的产生笔者认为主要是岩土介质的复杂性和所提供设计数据可靠性导致的结果。

十几年前由于规范不齐全设计时多靠经验和工程类比取值,设计时压力比较大。近7~8年规范基本齐全,有法可依。在此基础上设计质量有大幅度的提高。目前使用的商业软件紧跟规范编程,给设计者带来很多方便,同时由于某些方面理论前提不严谨,使设计结果偏差较大,这是今后必须克服的。

## 1 土钉支护

2006年海口淤泥质土基坑采用土钉支护设计。土体 $C=10\text{KPa}$ 、 $\phi=5^\circ$ 。按理正软件求得5m深基坑按1.0m排间距布置土钉,土钉长度为30m,也不能满足规范要求。

笔者采用复合地基加固土体的思路,对该基坑支护进行设计。施工结果证实笔者按加固土体提高土体 $C$ 、 $\phi$ 值的思路是可行的。

## 2 压力型锚索设计

2003年以后笔者在边坡、基坑工程加固设计时几乎不采用拉力型锚索。认为:

(1)从锚固体受力上分析,拉力型锚索锚固体受拉,水泥材料不耐拉。土体中拉力型锚索锚固体不可避免的会发生拉裂破坏。压力型锚索

锚固体受压,水泥材料耐压,使锚固体强度有较大提高。

(2)按规范锚索都设有自由段,自由段长度规定深入假想滑动面内1~2m。锚索长度等于自由段+锚固段,压力型锚索自由段与锚固段结构相同,自由段同样具有锚固作用。拉力型锚索自由段与锚固段结构不同,自由段不具有锚固作用。众所周知,滑动面是假想的,工程上并不一定存在。换言之压力型锚索自由段的锚固力是一种安全储备,而拉力型锚索不具备这种储备。

## (3) 压力型锚索设计应用举例

海口市某基坑深10m,采用钻孔桩护壁。基坑挖到底后停建,基坑被水淹没12年,护壁桩已腐,但基坑在淹水条件下未发生倒塌。12年之后决定重建,笔者承担该基坑加固设计。笔者认为基坑淹水条件的稳定是在水压力作用下处于平衡状态,至少大于极限平衡状态。假若给定与水压力同样大小的支撑力,基坑在抽水条件下仍会处于极限平衡状态。基于这一假定,设计2道压力型锚索未考虑自由长度,结果是成功的。

## 3 土锚与锚索组合支护

土层锚杆被改名为土钉之后又导演出土钉墙概念。一段时间,这些不确切的结构命名和概念搅扰着笔者。经过思考之后,笔者悟感到这些问题还是结合工程和从力学体系来分析。笔者认识过程是这样:对土钉墙而言,若土钉沿断面设计成上部长下部短,则墙体上部厚下部薄。上部

厚,下部薄的挡土墙从未见过。后来一些设计者沿断面等长布置土钉,这样土钉墙就成为上下等厚的墙。上下等厚的挡土墙在工程中也少见。根据笔者经历超过5m深的软土基坑单一采用土锚(土钉)支护结构不是很可靠。按朗肯土压力理论计算土压力,土压力分布是由上而下呈三角形分布,合力点位于基坑下部 $H/3$ 处。这就是说基坑下部需要比土钉更强大的支护体系。因此笔者近7~8年间软土深基坑中上部设计成土锚杆支护,中下部设计成压力型锚索支护。

从弹粘塑理论分析,基坑、边坡开挖工程是一个控制变形过程。从原理上,基坑、边坡开挖允许变形但必须把变形控制在允许范围之内。土锚支护是一种被动支护结构,只有土体变形时土锚约束土体变形起支护作用。锚索是一种主动支护结构,通过预应力张拉可以形成一个支护反力,能主动地控制土体变形。

土锚与锚索组合在基坑支护中的必要性还可以从深层次考虑。众所熟知的概念是土体中自重应力 $\sigma_z = \lambda H$ ,  $\sigma_x = \sigma_y = \lambda \gamma H$ 。淤泥质土强度很低且具有明显的流变特性,因此深基坑中下部土体很可能已经进入塑性状态。此时只有采用预应力锚索支护才是有效的支护结构,因为基坑壁的破坏决定于主应力差,壁面施加预应力 $P_1$ ,则 $\sigma_2 = P_1$ ,  $\sigma_1 = \gamma H$ ,  $\tau_1 = (\sigma_1 - \sigma_2) / 2$ ,无锚索支护状态 $\sigma_2 = 0$ ,  $\tau_0 = \sigma_1 / 2$ ,  $\tau_0 > \tau_1$ ,显然远离破坏。

#### 4 锚杆孔口处结构满足的条件

岩石和土层锚杆在边坡和基坑支护中设计模式为一段在滑动体内,另一段在稳定体内。设计认为稳定体内的锚固力要大于滑动力,通过滑体内锚杆段和孔口处锚杆结构锚定滑动体。

工程中滑动体内锚杆长度比稳定体内锚杆长度小得多,这就要求孔口处锚杆有一个限位装置,防止岩土体从锚杆周边剪移脱落。目前工程中多采用钢筋与锚杆外端焊接,之后喷射砼。这种结构不一定能满足要求,孔口端锚杆最好安装托板。

#### 5 温度应力影响

(1) 温度应力主要是变温引起的应力。河海大学傅作新教授分析得出:炎热天气边坡中的岩石锚杆孔口处锚杆固体与钢杆界面变温产生的应力可使界面发生剪移。变温影响区一般为

300~500m。根据这一研究结果笔者在国内外热带地区三个岩石边坡工程中设计了克服温度应力的岩石锚杆。这种锚杆孔口处0.5m长一段钢杆与锚固体之间无粘结。

(2) 变温影响对内撑结构影响是很大的。如20m基坑,  $\pm 10^\circ\text{C}$ 变温会引起25mm的内撑伸缩。这样一个伸缩量会影响内撑作用。

#### 6 考虑锚固系统稳定性设计锚索

粘性土坡或大吨位预应力锚索加固的岩体边坡往往会在锚索根部产生滑落破坏。基于这种情况,分析得出:

(1) 设计时中下部锚索比上部锚索要长,这有利于稳定。上部锚索设计比下部长是一种浪费,而且对整体稳定不利。

(2) 上部第一道锚索距地表深度不能超过 $H_0 = 2c / r (45^\circ + \phi / 2)$ 。当上部第一道锚索位置大于 $H_0$ 时,对整体稳定不利。

#### 7 安全系数

边坡和基坑的安全系数一般指工程的整体稳定度。笔者从事多年研究和设计生涯中对目前采用的整体稳定安全系数方法产生一种看法。笔者认为边坡工程和基坑工程稳定与否决定于中下部的稳定。对边坡和基坑而言,岩土中的应力主要是自重应力。大主应力 $\sigma_1 = \sigma_2 = \lambda H$ ,显然中下部的 $\sigma_1$ 大于中上部的 $\sigma_1$ 。在壁面处 $\sigma_3 = 0$ ,则 $\tau = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2 = \sigma_1 / 2$ 。这就是说边坡、基坑发生破坏时先从中下部边部开始。按目前整体安全系数法,边坡或基坑中上部偏于安全而中下部偏于不安全。对边坡、基坑工程而言,若中下部失稳了整体必然失稳。笔者认为边坡或基坑工程的安全系数应分为 $k_{上}$ 、 $k_{中}$ 、 $k_{下}$ 三部分安全系数进行设计。三者的平均值必须满足规范要求。例如某基坑整体稳定安全系数 $k = 1.5$ ,分三层开挖,一层安全系数设计成 $k_{上} = 1.2$ ,二层安全系数设计成 $k_{中} = 1.3$ ,三层安全系数设计成 $k_{下} = 2.0$ 。

产生这种看法除了下部的 $\sigma_1$ 大而外,还有一个控制变形的因素。边坡或基坑开挖过程支护体系是一个控制变形的过程。对支护体系的要求是允许开挖变形,但必须把变形控制在允许范围内。基于这样一种思路,笔者认为加强边坡或基坑中下部支护结构提高安全系数是必要的。