

# 预应力锚索在边坡工程治理应用中的思考

孙学毅 甘国荣

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

**摘要:**针对边坡滑塌的成因、边坡预应力加固的机理进行分析,提出治坡先治水,以及合理使用组合加固方法等构思,并着重阐述压剪筒压力型锚索、让压锚索和锚索防腐蚀防锈蚀等新技术在治理工程中的应用。

**关键词:**边坡加固 岩土 预应力 锚索 剪应力

**DOI:** 10.13211/j.cnki.pstech.2016.05.004

## 引言

最近几年主流媒体曾多次报导大气降雨引起的边坡滑塌,给社会造成了重大的生命财产损失,究其成因主要是由于水体下渗致使边坡岩土体的 $c$ 、 $\phi$ 值急剧下降而引起的。通常的处治方法是削坡减载和堆土。由于边坡加固是一项系统工程,选择任何加固方案都要遵循可靠、可行的条件下的造价较低的方案。如能首先对发生或可能发生地质灾害的地区、地段进行地质调查,根据调查的资料制定治理方案,则治理方案更具科学性、合理性、经济性。经分析比较,采用压剪筒压力分散型预应力锚索与钢筋砼挡墙组合结构加固边坡在众多的加固方法中具有显著的优势而成为很多加固方案的首选。

## 1 边坡加固的思考

边坡工程治理至少遵循两个原则:

- (1) 宜未雨而绸缪
- (2) 工欲善其事,必先利其器

在此基础上进行设计构思,施工治理。

### 1.1 宜未雨而绸缪

(1) 除公路边坡以外边坡工程一般不必削坡减载。重点加固边坡下部,这是因为边坡下部岩土体应力最大。一般而言边坡岩土体的应力是自重,即 $\sigma=\gamma h$ ,式中 $\gamma$ 为岩土体容重, $h$ 为岩土所处深度,显然边坡下部 $\sigma$ 值最大。

(2) 某一边坡在它未发生滑塌之前安全系数至少等于或大于1,经分析研究之后判定它的安全系数未达到规范要求的数值,按未雨绸缪的原则,需要对其加固。

(3) 加固边坡有多种手段可实施,如削坡减载、修筑挡土墙、抗滑桩,提高岩土体自身强度(如注浆)、施加预应力、排水等。

(4) 本文提出的预应力加固边坡的机理与以往预应力锚索向欲滑动体提供抗力的思维是有区别的。

按岩土体破坏机理,向岩土体施加预应力可使岩土体应力远离破坏应力,使之不发生破坏。岩土体破坏机理是岩土体内的剪应力达到破坏值( $\tau_{\text{临}}$ )时发生的剪切破坏,土体的强度一般用摩尔—库伦公式表达:

$$\tau = \sigma \cdot \text{tg} \phi + c \quad (1)$$

式中:  $\phi$ —岩土体内摩擦角;

$c$ —岩土体粘聚力。

(1)式可表成

$$\tau = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2 \quad (2)$$

式中:  $\sigma_1$ —最大主应力,  $\sigma_1 = \gamma h$

$\sigma_3$ —最小主应力。

(2)式表明岩土体破坏是由主应力差决定的。当主应力差值达到剪切破坏( $\tau_{\text{临}}$ )时,岩土体就发生破坏。

当边坡高度确定时,边坡下部的最大主应力 $\sigma_1$ 就确定了,而边坡表面的 $\sigma_3=0$ ,因此边坡的破坏首先从表面开始向深层发展。如果我们向岩土体施加预应力( $\sigma_3$ )使岩土体的主应力差远离破坏剪应力( $\tau_{\text{临}}$ ),岩土体就不会发生破坏,边坡自然稳定。

(5) 上述分析初步揭示了边坡预应力加固的机理。由于岩土体并不是单一的固体,特别是

土体是由固体颗粒、水和空气组成,岩体是多裂缝体。从近年来公开报道的边坡滑塌事故来看,90%以上的滑坡灾害是由大气降雨引起的。水的作用使土体的 $c$ 、 $\phi$ 值急剧降低,由摩尔-库伦公式可知边坡发生滑塌是必然的。

孔隙水压力对岩土体的稳定有很大影响,因此边坡工程治理还需考虑排水、导水的问题。

### 1.2 工欲善其事,必先利其器

近年来边坡工程加固趋向采用几种组合加固的手段,这体现了对自然规律认识的进步,本文简单介绍二种组合加固手段。

#### (1) 挡土墙与预应力锚索组合

目前一般的施工顺序是先施工挡墙后施工预应力锚索,锚索采用拉力型预应力锚索。

#### (2) 抗滑桩与预应力锚索的组合

施工顺序通常是先施工抗滑桩后施工预应力锚索,锚索采用拉力型预应力锚索。

分析认为以上两种组合属同一个加固思路。向欲滑体提供抗滑力,这两种组合由于施工程序上的不合理,传递给岩土体的预应力必须先克服桩或墙的变形抗力,然后才能将预应力传递给岩土体,这样就使得预应力效果大打折扣。

另外一个问题是拉力型预应力锚索本身存在缺陷。拉力型预应力锚索的原理是锚索有一个自由段(水泥芯柱与自由段钢绞线无粘结),施加预应力之后非自由段水泥芯柱与岩土体孔壁剪应力平衡钢绞线的轴向力。

当钢绞线轴向力大于孔壁与水泥芯柱之间的抗剪强度时,水泥芯柱与孔壁间发生剪移,这种渐进式破坏逐渐向锚索深处发展,其结果使预应力降低(锚索发生松弛)。

近年来现场监测表明拉力型预应力锚索在土体中、岩体中都发生过锚索松弛现象。理论分析表明,在一定条件下拉力型预应力锚索发生松弛是必然。这是因为拉力型预应力锚索水泥芯柱受拉,水泥这种材料抗拉强度远远小于抗压强度。

基于上述分析,采用压剪筒压力分散型预应力锚索与钢筋砼挡墙组合结构加固边坡在众多治理方案中具有显著优势。

## 2 压剪筒式压力分散型预应力锚索简介

加固岩土体的预应力锚索作用原理是在岩土体内部稳定区构筑内锚体,通过钢绞线向岩土体表面施加预应力,然后用锚索外锚头保持这种预应力。

前面已经介绍了多年来在工程中大量应用的拉力型预应力锚索,它的主要缺点是过大的预应力使水泥芯柱与孔壁发生剪移,至此之后由于水泥芯柱与钢绞线的变形模量相差甚远,必然导致水泥芯柱拉断。这种渐进式破坏使锚索“自由段”增长,其结果必然使一部分预应力失效。

压剪筒式压力分散型预应力锚索内锚体增加一个钢制的压剪筒,它的作用有两个:其一,增加抗压强度,因为钢材的强度远远大于水泥的强度;其二,分散受压端孔壁与压剪筒之间的剪应力。这方面的理论分析在有关文章中已经讨论过,这里仅用在软土中桩基的实例来说明这个问题,软土中桩为什么能将应力沿桩壁传递很深,就是因为柱身的变形模量远远大于软土的变形模量。

## 3 边坡加固方案

本文所讲边坡为山地边坡,近年来公开报道的边坡滑塌均属此类。这些山地边坡滑塌均由大气降雨直接引起,因此边坡加固设计之前首先进行现场调查(包括古滑坡调查),在此基础上提出加固方案。方案设计思路如下:

(1) 首先加固边坡底部、下部。向边坡体下部施工压剪筒压力型锚索向岩土体施加一个预应力( $\sigma_3$ ),使边坡下部岩土体的剪应力远离破坏剪应力( $\tau_{\text{临}}$ ),锚索施工完成后,施工水平预应力锚梁将锚索连成整体。锚索张拉,完成预应力施工。

#### (2) 边坡底部、下部构筑钢筋砼挡墙

钢筋砼挡墙作用有二:其一增加边坡体下部抗剪能力,其二保护锚索的外露端,这点从工程角度看非常重要。锚索外锚端锈蚀是一个很严重的问题,但以往对这一问题不够重视。

## 4 锚索防腐蚀防锈蚀

边坡加固工程从规范角度看属于无服务上限

的永久工程。边坡加固用的锚索不象斜拉索桥那样可以换索,因此它的防腐蚀、防锈蚀就显得非常重要。

这里防腐蚀指应力腐蚀,可通过降低应力水平解决。锚索防锈蚀分三部分,分别是内锚体、外锚头和钢绞线的防锈蚀。外锚头、钢绞线这两部分应按相关国家规范和行业标准由专业厂家生产。内锚体应采用得到授权的专利结构(如OVM生产的专用塑料波纹管)。

## 5 考虑岩土蠕变和膨胀特性的锚索结构

室内实验和现场观测表明锚索施工后半年到一年半时间内预应力会增高,这是岩土蠕变或由于岩土体中的蒙脱石遇水膨胀所致,这种现象同样会导致锚索失效。1992年OVM公司与冶金部马鞍山矿山研究院研制一种可塑(液压)锚索,这种可塑性锚成功应用到南京梅山铁矿二期工程地下碎矿主硐室,在此基础上OVM公司又研制出一种让压分散锚索,能够有效解决锚索失效的问题。

## 6 水的治理及安全监测

除此之外,水的治理对边坡稳定而言也是重中之重。水的治理有两方面:其一,坡面植被。

其二,设置排水沟、导水管。这里特别指出的是导水管应定期清理疏导,这点在以往的设计中未被重视。目前,对于水的安全监测有相关规范可依,按章行事即可。

## 7 结论

通过对边坡岩土体破坏机理和预应力加固原理的分析研究,处治边坡地质灾害除应加强导水系统的建设外,有效应用预应力组合加固技术是主要的防治手段。而且,采用具有良好防护性能的锚索,如压剪筒式压力分散型预应力锚索和让压锚索等新型加固技术能提高预应力锚索加固的有效性和耐久性,也是维护边坡长期稳定性的重要保障。

### 参考文献

- [1] 徐芝伦. 弹性力学[M]. 中国人民教育出版社, 1980.
- [2] 苏自约, 陈谦, 徐祯祥, 刘璇. 锚固技术在岩土工程中的应用[M]. 人民交通出版社, 2006.
- [3] 罗强, 朱国平, 王德龙, 关彪. 岩土锚固新技术的工程应用[M]. 人民交通出版社, 2014.
- [4] 田裕甲. 压力分散型锚索与拉力型锚索的比较[J]. 岩土锚固工程, 2002(3)
- [5] 李海光. 新型支挡结构设计工程实例[M]. 人民交通出版社, 2004.
- [6] 刘宁, 高大水. 岩土预应力锚固技术应用及研究[M]. 湖北科学技术出版社, 2002.
- [7] MochulS, BassemA. Seismic repair of RC bridge piers using shape memory alloys[C]. Proceedings of the 2011 Structures Congress. ASCE. LasVegas, Nevada: American Concrete Institute, 2011:2056-2065
- [8] 郭子雄, 张杰, 李传林. 预应力钢板箍加固高轴压比框架柱抗震性能研究[J]. 土木工程学报, 2009, 42(12):112-117  
GuoZixiong, ZhangJie, LiChuanlin. Seismic strengthening of rectangular RC columns using prestressing steel jackets[J]. China Civil Engineering Journal, 2009, 42(12):112-117
- [9] 郭子雄, 张杰, 杨勇. 设置外包预应力钢板箍RC短柱抗震性能研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 1(1):140-144  
GuoZixiong, ZhangJie, YangYong. Study on the seismic performance of RC column confined by prestressed steel plate hoops[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2006, 1(1):140-144
- [10] 邓宗才, 郭俊平, 肖锐. 一种预应力钢绞线加固混凝土柱体的张拉锚固系统: 中国, 201010152467. X[P]. 2010-08-25
- [11] 吕志涛, 石平府, 周燕勤等. 圆形、环形截面钢筋混凝土构件抗剪承载力的试验研究[J]. 建筑结构学报, 1995, 16(3):13-20

(上接第24页)

composite partial interaction test[J]. Journal of Structure Engineering, ASCE, 2003, 129(9):1183-1190

- [3] 叶列平, 赵树红, 李全旺. 碳纤维布加固混凝土柱的斜截面受剪承载力计算[J]. 建筑结构学报, 2000, 21(2):59-67  
YeLieping, ZhaoShuhong, LiQuanwang. Calculation of shear strength of concrete column strengthened with carbon fiber reinforced plasticsheet[J]. Journal of Building Structures, 2000, 21(2):5967
- [4] 陈亮. 高强不锈钢绞线网用于钢筋混凝土柱抗震加固的试验研究[D]. 北京:清华大学, 2004  
ChenLiang. Experimental study of the seismic behavior of RC column strengthened with high strength steel wire[D]. Beijing: Tsinghua University, 2004
- [5] SaatciogluM, YalcinC. External prestressing concrete columns for improved shear resistance[J]. Journal of Structure Engineering, ASCE, 2003, 129(8):1057-1070
- [6] HasanA, Moghaddam. Seismic retrofit of large-scale reinforced concrete columns by prestressed high-strength metal strips [C]. Proceedings of the 2009 Structures Congress, ASCE. Austin, Texas: American Concrete Institute, 2009:2863-2872