

DOI: 10.11779/CJGE2022S1025

# 膨胀土高边坡险情原因分析及除险加固处理措施

任佳丽, 胡胜刚, 程永辉, 张楠

(长江科学院水利部岩土力学与工程重点实验室, 湖北 武汉 430010)

**摘要:** 南水北调工程膨胀土高边坡的持续变形直接影响输水渠道的运行安全, 开展除险加固势在必行。伞型锚技术是一种新型预应力锚固技术, 能够快速有效进行边坡工程除险加固。以南水北调中线淅川段膨胀土高渠坡加固工程为背景, 分析了渠坡失稳状况及原因, 推测了变形体滑裂面位置和滑动方向, 介绍了渠坡除险加固设计方案和施工技术要求, 并对加固后的渠坡稳定性进行了安全监测。工程实践表明: 伞型锚技术能够快速有效加固膨胀土高边坡, 加固效果良好; 综合分析伞型锚加固后的实测数据、施工工期等, 验证了伞型锚技术在膨胀土高边坡加固工程中技术优势。  
**关键词:** 伞型锚技术; 膨胀土高边坡; 加固; 安全监测

中图分类号: TU43

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2022)S1-0138-05

**作者简介:** 任佳丽(1983—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事地基处理与边坡支护相关的科学研究和设计咨询工作。

E-mail: 23670689@qq.com。

## Causes and reinforcement measures for expansive soil dangerous situations of high slopes

REN Jia-li, HU Sheng-gang, CHENG Yong-hui, ZHANG Nan

(Key Laboratory of Geotechnical Mechanics and Engineering of Ministry of Water Resources, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

**Abstract:** The continuous deformation of high expansive soil slopes of the South-to-North Water Diversion Project directly affects the operation safety of the water conveyance channels, so it is imperative to carry out danger removal and reinforcement measures. The umbrella-type anchor technology is a new type of prestressed anchor technology that is quick and efficient. Based on the embankment reinforcement project of high channel slope of expansive soils in Xichuan section of the Middle Route of South-to-North Water Diversion Project, the in stability situations and reasons of canal slopes are analyzed, and the deformation location of sliding surface and the sliding direction are predicted. The reinforcement design and construction technology for slope disasters are introduced, and the slope stability is monitored after the reinforcement. The engineering practice shows that the umbrella-type anchor technology can strengthen the channel slopes quickly, and the reinforcement effects are good. After the comprehensive analysis of the monitoring data and construction time, the technical advantage of the umbrella-type anchor technology in the reinforcement of high expansive soil slopes is verified.

**Key words:** umbrella-type anchor technology; expansive soil slope; reinforcement; safety monitoring

## 0 引言

中国是世界上膨胀土分布面积最广的国家之一, 膨胀土分布面积超过  $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 在膨胀土地区进行工程建设常常遇到“逢堑必滑, 无堤不塌”的问题, 对工程的危害是极大的, 因此, 进行膨胀土高边坡加固对确保工程安全稳定至关重要<sup>[1-2]</sup>。目前, 国内外对膨胀土边坡的加固措施进行了深入的研究, 常用的措施有边坡压脚、坡面防护、抗滑桩、挡墙、锚杆(索)、土钉等, 针对不同的破坏特征和破坏模式, 选用对应的加固措施是行之有效的, 然而传统的加固方法也有

在一定的不足, 如抗滑桩加固方案工程造价高、圬工量大、施工周期长、施工场地大; 锚(杆)索、预应力锚索等加固方案受注浆体或外部结构物凝期要求, 施工工期长, 质量不易保证; 土钉(锚)等存在加固深度有限、锚固力不宜控制等问题。

针对膨胀土高边坡传统加固方法的不足, 本文以南水北调中线工程淅川段膨胀土高渠坡抢险加固工程为背景, 对滑坡失稳情况和原因进行分析, 对变形体滑裂面位置和方向进行了推测; 根据滑裂面的变形特

征, 提出采用新型伞型锚技术快速加固该滑坡的设计方案和施工技术要求, 并通过伞型锚加固后的安全监测、加固工期等, 验证了伞型锚技术在该滑坡除险加固工程中的技术优势。

1 新型伞型锚技术

新型伞型锚主要由锚头、连接杆、锁定装置和承压板组成, 见图 1 所示, 其中锚头是伞型锚的核心部件, 主要组成部件包括锚板、击入头、滑移连杆、承压板等, 见图 2 所示。其加固原理<sup>[3-4]</sup>为钻机成孔后将伞型锚的锚头下至孔底, 通过张拉设备施加张拉力进行张拉, 通过系列装置使锚钉板呈伞形打开并嵌入两侧土体, 达到张开角度要求后, 通过限位装置使得锚头与两侧土体形成整体, 以提供足够的锚固力, 伞型锚锚力增长过程典型曲线见图 3 所示。

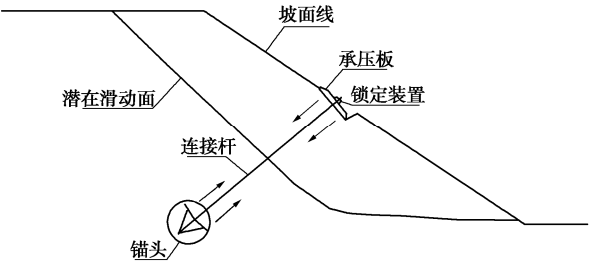


图 1 伞型锚固技术原理图

Fig. 1 Schematic diagram of umbrella-type anchor technology

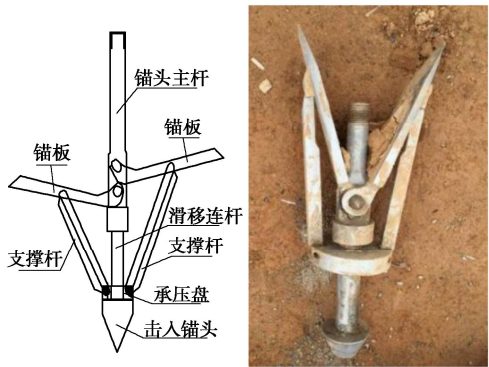


图 2 伞型锚锚头结构示意图及实物图

Fig. 2 Schematic diagram and photo of umbrella-type anchor head structure

由图 3 可知: 伞型锚是一种预应力锚, 锚力增长经过了锚固力聚集、锚固力急剧积累和锚固力调整积累 3 个阶段。与传统的锚杆锚固技术相比, 具有锚固力大、可即时提供锚力、不需注浆(永久加固时可通过注浆进行防腐处理)、施工简单快速、对环境影响小等优点。

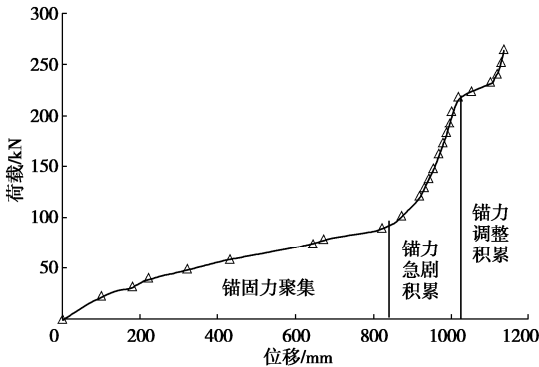


图 3 伞型锚锚力增长过程典型曲线

Fig. 3 Typical curve of growth process of anchor force

2 项目概况及滑坡原因分析

2.1 渠坡概况

该边坡为南水北调中线工程淅川段挖方膨胀土渠坡, 最大坡高 35.0 m, 主要地层为第四系中更新统(al-plQ<sub>2</sub>)粉质黏土、黏土以及钙质结核粉质黏土组成。渠道原设计方案: 第一级渠坡(过水断面)坡比 1:3.0, 一级马道宽 5 m 为检修平台, 一级马道以上每隔 6 m 设置一级马道, 马道宽为 2 m, 二至四级渠坡坡比为 1:2.5, 渠坡典型断面及地质分层情况见图 4 所示, 该段渠坡最上面两级边坡自 2016 年 7 月开始出现裂缝、变形。

2.2 滑坡变形情况分析

为确定边坡裂缝深度及边坡渗水情况, 在渠坡坡顶、四级边坡 1/3 坡高及二、三级马道近坡脚位置进行了探槽开挖, 探槽情况见表 1 所示。

表 1 探坑情况表

Table 1 Situations of exploring pits

| 编号  | 位置            | 描述                     |
|-----|---------------|------------------------|
| WK1 | 距坡肩 10 m      | 无裂缝, 土体潮湿, 无明水         |
| WK2 | 距坡肩 5 m       | 有裂缝, 延伸至坑底 23 cm, 坑内干燥 |
| WK3 | 距 3 级马道 2.5 m | 有裂缝, 延伸至坑底 10 cm, 坑底潮湿 |
| WK4 | 4 级边坡坡脚       | 无裂缝, 无明显滑动迹象, 有渗水      |
| WK5 | 3 级边坡坡脚       | 坑内无裂缝, 坑底有少量渗水         |

现场查勘和探槽发现: 渠坡二级马道土体下沉, 压顶板与土体脱空, 二级马道排水沟内侧沟壁与底板出现脱空现象, 排水沟壁持续缩窄, 缩窄速率为 1 cm/月, 目测有向渠道内位移迹象; 坡顶距坡肩 5 m 位置和三级渠坡坡脚裂缝发育, 且裂缝长度和宽度呈增大趋势, 三级边坡坡脚有水渗出。

加固前的测斜发现: 一级马道处渠坡深层水平位移几乎为零; 二级马道渠坡深层水平位移值较小, 加固前最大值为 2.2 mm, 拐点发生在坡面下 1~2 m; 三级马道渠坡深层水平位移值较大, 加固前最大值达

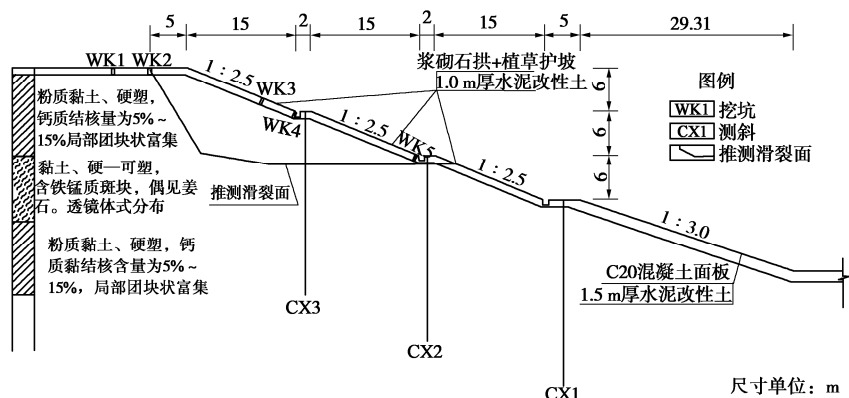


图4 渠坡典型断面图

Fig. 4 Typical section of canal slope

19.5 mm, 且位移变化速率呈增大趋势, 拐点发生在坡面下6~8 m处。

根据现场查勘、探槽、侧斜数据可判断, 该渠坡三级边坡内部存在近似水平的滑裂面, 且边坡变形在持续发生, 无收敛趋势, 因此, 为确保渠道边坡安全稳定, 必须进行堤坡的加固处理。

### 2.3 膨胀土边坡破坏模式及滑裂面推测

为了合理、准确确定膨胀土边坡加固措施和加固方案, 确保边坡加固效果, 在设计前应进行边坡破坏模式分析, 推测边坡潜在的滑裂面。

根据文献[5]膨胀土边坡的滑动模式主要有浅层滑动和深层滑动两种。程永辉等<sup>[6]</sup>通过离心模型试验揭示了浅层滑动的关键因素是膨胀变形, 认为土体含水率变化会导致膨胀土体产生膨胀变形, 膨胀变形引起边坡土体应力重分布, 进而产生的顺坡向剪应力, 产生浅层滑动; 龚壁卫等<sup>[7]</sup>、胡波等<sup>[8]</sup>通过大量现场试验、大型静力模型试验、土工试验结合数值分析揭示了深层滑动的关键因素是裂隙面空间分布及其强度, 认为膨胀土的裂隙面是具有一定厚度或充填物的软弱层面, 其强度远远低于周围土体, 成为膨胀土体中力学性能薄弱的一环, 一旦地层走向合适, 边坡开挖形成后, 将产生塑性破坏, 并随着变形发展, 最终裂隙逐渐贯通, 产生沿裂隙面的滑动。

根据二级马道和三级马道测斜实测数据, 深层水平位移拐点均发生在二级马道以下1~2 m位置, 根据勘察资料, 所处地层为含铁锰石斑块的黏土层, 偶见姜石, 有存在裂隙面的可能, 初步判断该渠坡滑动模式为裂隙控制的深层滑坡, 结合渠坡坡面变形和裂缝分布情况, 初步推测滑裂面位置如图4所示。

## 3 除险加固方案

### 3.1 加固方案

根据推测滑裂面, 经方案比选, 拟采用伞型锚加排水管的处理措施进行渠坡加固。根据类似工程经验,

共布置伞型锚三排, 单根伞型锚设计锚固力为120 kN, 锚固方向与水平面角度为35°。第一排伞型锚沿坡面(下同)距二级马道1 m, 锚固长度为15 m; 第二排伞型锚距二级马道4 m, 锚固长度为15 m; 第三排伞型锚距二级马道7 m, 锚固长度为20 m。三排伞型锚呈矩形布置, 沿渠道水流方向间距为3 m。排水管的布置为现有出水明显部位间距10 m, 其它部位间距20 m。经稳定分析, 加固后边坡的稳定系数能够满足规范要求。

### 3.2 施工技术要求

伞型锚现场施工仅用9 d时间(1月9日—17日), 共施工伞型锚121根, 施工速率为13~14根/天; 渠坡加固长度120 m, 加固速率为沿坡肩方向13.3 m/d, 现场加固速度非常快, 施工完成后伞型锚即可马上受力, 及时阻止了渠坡变形进一步发生。

主要施工技术要求:

(1) 钻孔首次采用履带潜孔钻车, 该钻车在坡面上一定倾角钻孔非常方便、速度快, 效果好。

(2) 该段渠坡为永久加固工程, 现场施工时, 应对锚头和连接杆进行防腐处理, 本工程采用灌注水泥浆对伞型锚及锚杆进行防腐处理。

(3) 伞型锚张拉施工应按照相关规程规范<sup>[9-10]</sup>要求进行, 张拉过程中记录拉拔力、锚杆上拔位移等, 张拉至设计荷载且位移稳定后即可停止张拉。

(4) 伞型锚锚固力锁定值应根据地层条件、变形要求确定<sup>[11]</sup>。

### 3.3 加固效果分析

深层水平位移采用测斜观测, 布置测斜管5孔, 孔深25 m, 其中一级、二级马道各一孔, 三级马道3孔, 监测时间为2016年10月18日—2017年5月10日; 锚杆拉力采用钢筋计监测, 布置钢筋计9支, 布置在3个断面, 每个断面上、中、下三排锚各安装1支, 监测时间为2017年1月17日—5月10日。测斜监测结果可知, 截止2017年5月10日, 一级马道和

二级马道处测斜管监测坡体水平位移值很小, 可认为渠道一级边坡和二级边坡坡体是稳定的。三级马道处测斜管监测坡体最大水平位移值 26.5 mm, 典型测斜曲线见图 5 所示, 测斜最大值变化曲线见图 6 所示, 测斜最大值变化速率图见 7 所示。

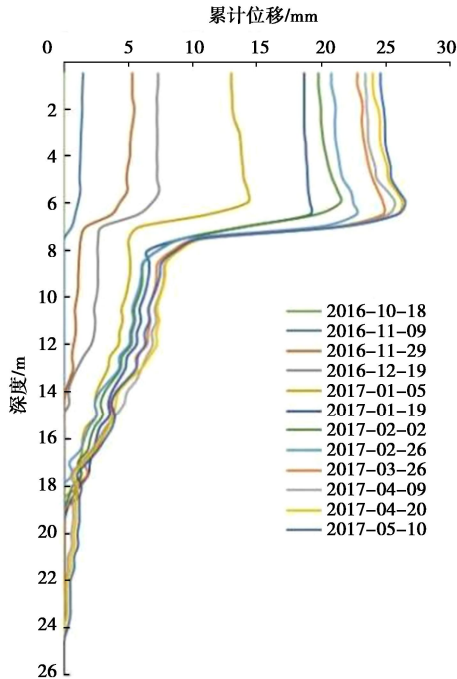


图 5 三级马道测斜变化曲线图

Fig. 5 Curves of three-level horse track inclination measurement

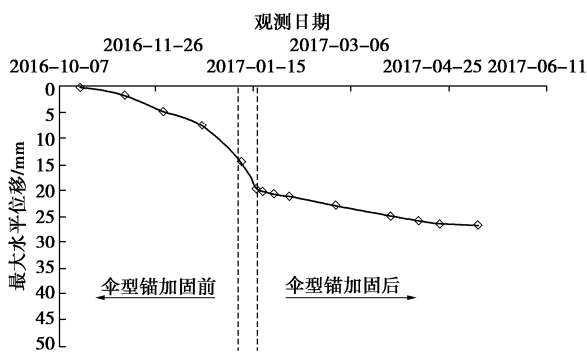


图 6 深层水平位移最大值变化曲线

Fig. 6 Curves of maximum value of deep horizontal displacement

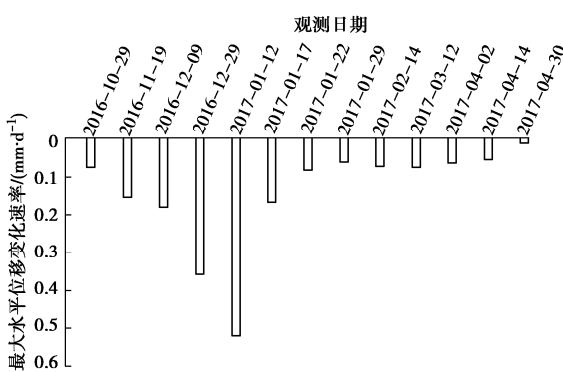


图 7 深层水平位移最大值变化速率图

Fig. 7 Change rates of maximum value of deep horizontal displacement

由图 6, 7 可知, 加固完成时, 已发生的累计位移值为 19.5 mm; 加固前深层水平位移最大值变形速率呈逐渐增大趋势, 最大变形速率为 0.65 mm/d, 发生在 1 月 8 日; 伞型锚加固完成后, 变形速率逐渐趋缓, 截止 5 月 10 日, 变形速率为 0.01 mm/d, 可认为渠坡变形基本稳定。

锚力随时间变化曲线见图 8 所示。由图 8 可知, 下排锚提供锚固力最大、中排锚次之、上排锚最小。下排锚单根锚固力 43.8~93.4 kN, 平均值 69.6 kN, 与初值相比锚固力增加 98.9%; 中排单根锚固力 39.3~50.4 kN, 平均值 44.1 kN, 与初值相比锚固力增加 50.3%; 上排锚提供锚固力最小, 单根锚固力 17.5~31.1 kN, 平均值 22.3 kN, 与初值相比锚固力增加 10.2%。由锚力变化曲线可知: 下、中排锚锚固力先呈逐渐增大趋势, 之后锚固力趋于定值, 最大值发生在 4 月 20 日左右; 上排伞型锚锚固力变化幅度不大, 加固后基本趋于定值。结合测斜观测数据可知, 锚力的逐渐增大阻止了渠坡变形的发生, 当渠坡变形趋于稳定时, 锚固力也逐渐趋于定值, 说明伞型锚加固有效阻止了渠坡变形的进一步发生, 加固效果良好。

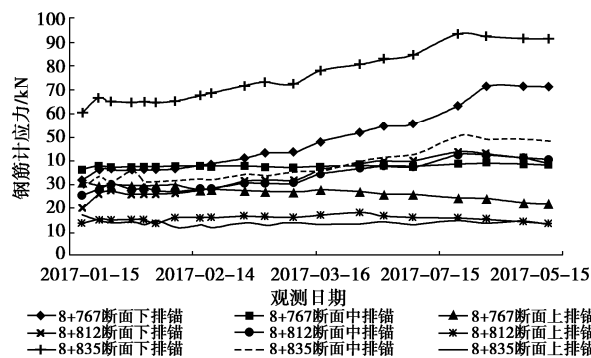


图 8 伞型锚锚固力增长曲线

Fig. 8 Growth curves of anchoring force of umbrella-type anchors

## 4 结 论

(1) 伞型锚技术是一种新型预应力锚固技术, 具有锚固力大、施工便捷、施工速度快、可即时发挥锚固作用、对环境无污染等优点, 可广泛应用在边坡加固、基坑支护、基坑抗浮、应急抢险等工程中, 应用前景广阔。

(2) 滑裂面的准确推测对加固方案的确定至关重要, 本边坡综合考虑了坡面裂缝分布、现场探槽及坡体变形情况, 结合地质资料, 推测了滑裂面位置和滑动方向, 加固后的边坡稳定分析和实测数据验证了推测滑裂面的合理性。

(3) 伞型锚加固后, 现场实测数据显示: 边坡最大水平位移变形速率呈减缓趋势, 变形逐渐趋于收敛;

伞型锚的锚固力随水平位移增大逐渐增大, 锚固力的增大又阻止了边坡变形的发生, 当渠坡变形趋于稳定时, 锚固力也逐渐趋于定值, 监测结果表明采用伞型锚加固效果良好。

(4) 伞型锚技术在南水北调中线工程淅川段膨胀土高渠坡抢险加固工程中的成功应用, 充分验证了伞型锚在边坡加固工程中的技术可行性; 快速的现场施工和施工完成即可发挥锚固力的特点, 再次验证了伞型锚技术在膨胀土高边坡除险加固工程中的技术优势。

#### 参考文献:

- [1] 程展林, 龚壁卫. 膨胀土边坡[M]. 北京: 科学出版社, 2015. (CHENG Zhan-lin, GONG Bi-wei. Expansive Soil Slope[M]. Beijing: Science Press, 2015. (in Chinese))
- [2] 郑健龙, 杨和平. 公路膨胀土工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2009. (ZHENG Jian-long, YANG He-ping. Expansive Soil Engineering in Highway[M]. Beijing: China Communications Press, 2009. (in Chinese))
- [3] 程展林, 程永辉, 郭熙灵, 等. 一种抢险专用击入式伞型锚及应用方法: CN104947663B[P]. 2017-01-18. (CHENG Zhan-lin, CHENG Yong-hui, GUO Xi-lin, et al. A Kind of Special-Purpose Driving-In Umbrella-Type Anchor for Emergency Rescue and Application Method Thereof: CN104947663B[P]. 2017-01-18. (in Chinese))
- [4] 程展林, 程永辉, 饶锡保, 等. 张拉自锁伞型锚及土质边坡加固方法: CN102518132A[P]. 2012-06-27. (CHENG Zhan-lin, CHENG Yong-hui, RAO Xi-bao, et al. Tension Self-Locking Umbrella Anchor and Soil Slope Reinforcement Method: CN102518132A [P]. 2012-06-27. (in Chinese))
- [5] 程展林, 李青云, 郭熙灵, 等. 膨胀土边坡稳定性研究[J]. 长江科学院院报, 2011, **28**(10): 102 - 111. (CHENG Zhan-lin, LI Qing-yun, GUO Xi-lin, et al. Study on the stability of expansive soil slope[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2011, **28**(10): 102 - 111. (in Chinese))
- [6] 程永辉, 程展林, 张元斌. 降雨条件下膨胀土边坡失稳机理的离心模型试验研究[J]. 岩土工程学报, 2011, **33**(增刊1): 416 - 421. (CHENG Yong-hui, CHENG Zhan-lin, ZHANG Yuan-bin. Centrifugal model tests on expansive soil slope under rainfall[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, **33**(S1): 416 - 421. (in Chinese))
- [7] 龚壁卫, 程展林, 胡波, 等. 膨胀土裂隙的工程特性研究[J]. 岩土力学, 2014, **35**(7): 1825 - 1830, 1836. (GONG Bi-wei, CHENG Zhan-lin, HU Bo, et al. Research on engineering properties of fissures in expansive soil[J]. Rock and Soil Mechanics, 2014, **35**(7): 1825 - 1830, 1836. (in Chinese))
- [8] 胡波, 龚壁卫, 程展林. 南阳膨胀土裂隙面强度试验研究[J]. 岩土力学, 2012, **33**(10): 2942 - 2946. (HU Bo, GONG Bi-wei, CHENG Zhan-lin. Test study of shear strength of fissure-plane in Nanyang expansive soil[J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, **33**(10): 2942 - 2946. (in Chinese))
- [9] 岩土锚杆(索)技术规程: CECS 22:2005[S]. 2005. (Technical Specification for Ground Anchors: CECS 22:2005[S]. 2005. (in Chinese))
- [10] 建筑基坑支护技术规程: JGJ120—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012. (Technical Specification for Retaining and Protection of Building Foundation Excavations: JGJ120-2012[S]. Beijing: China Construction Industry Press, 2012. (in Chinese))
- [11] 龚江红, 姚登友, 任佳丽. 伞型锚在鄂北调水高膨胀土滑坡治理中的应用[J]. 土工基础, 2016, **30**(4): 1004 - 3152. (GONG Jiang-hong, YAO Deng-you, Ren Jia-li. Application of umbrella anchors for the mitigation of strong expansive soil landslides in a water transmission project in northern Hubei[J]. Soil and Foundation, 2016, **30**(4): 1004 - 3152. (in Chinese))

(编校: 胡海霞)