

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2016.03.11

刚性拉筋加筋土挡土墙内部滑移稳定性探索

刘 茂¹, 杨红娟², 吕建祥¹

(1. 四川省地质工程勘察院, 四川 成都 610072; 2. 成都理工大学核技术与自动化工程学院, 四川 成都 610059)

摘要: 本文从加筋土挡土墙的破坏形式和破坏机理出发, 考虑加筋土挡土墙施工阶段和正常使用阶段作用状态, 通过分析不同挡土墙墙高的设计加筋长度, 得到了两种作用状态下不同条件的设计加筋长度规律。由此得知, 在施工阶段, 加筋土挡土墙的设计加筋长度必须按照施工工况进行内部稳定性验算, 在正常使用阶段, 可只按照设计墙高进行内部稳定性验算; 在加筋土挡土墙内部滑移稳定性设计时, 同时考虑施工阶段和正常使用阶段两种作用状态是合理、必要的。

关键词: 加筋土挡土墙; 刚性拉筋; 内部滑移破坏; 稳定性

中图分类号: TU476+.4

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2016)03-0066-06

Research on inner sliding stability of reinforced earth retaining wall for the rigid striped reinforcement

LIU Mao¹, YANG Hongjuan², LYU Jianxiang¹

(1. Sichuan Institute of Geological Engineering Investigation, Logistical Engineering University of PLA, Chengdu, Sichuan 610072, China; 2. Chengdu University of Technology, The College of Nuclear Technology and Automation Engineering, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: Based on the failure modes and failure mechanism of reinforced earth retaining wall, this paper analyzed the reinforcement length of different high retaining wall, it is found that some law of reinforcement length under different conditions during the construction and normal service stages. The conclusions are drawn as follows: 1. Internal stability should be analyzed for every condition on constructing phase of reinforced earth retaining wall, and the final reinforcement length of each layer obtained from different conditions in the construction phase. 2. Internal stability should be only analyzed for the design height of reinforced earth retaining wall in normal use stage; It is reasonable and necessary that the reinforcement length must be calculated by two stage design method recommended in this paper.

Keywords: reinforced earth retaining wall; rigid striped reinforcement; inner sliding failure; stability

0 引言

加筋土挡土墙设计理论是 20 世纪 60 年代法国工程师亨利·维达尔(Henri Vidal)提出来的,他系统地阐述了加筋土的设计理论。应用此理论,1965 年法国在比利牛斯山的 Prageres 修建了世界上第一座加筋土挡土墙,在欧洲普及后,加拿大、日本、美国等相继引进,

随后引起了世界各国的重视,普遍开展了加筋土技术的研究和工程试验^[1-2]。

由于其造价低廉、施工周期短、施工工艺简单、景观功能美观、占地少、地基承载力要求低、抗震效果较好、高度不受限等特点^[1-4],被世界上许多国家所采用,加筋土技术发展甚为迅速。但加筋土理论还有很多盲区,例如加筋土的工作机理、破坏机理、设计思路、

收稿日期: 2016-01-30; 修订日期: 2016-04-03

基金项目: 国家自然科学基金: 碳系滑板剥层磨损/载流特性的耦合关系及其相互作用机制研究(51505043)

第一作者: 刘 茂(1984-),男,陕西渭南人,硕士,工程师,主要从事地质灾害防治以及工程地质研究工作。E-mail: lmcdut@163.com

计算模式、计算方法、参数的选取等,在我国,无论是公路、铁路、水利等部门的规范中^[5-8],并没有对加筋土挡土墙的内部滑移进行验算,但从一些工程试验可知,加筋土挡土墙的内部滑移失稳是普遍存在的,并且经常呈现多级破坏现象,本文主要针对加筋土挡土墙内部滑移稳定性进行探讨和分析。

1 加筋土挡土墙内部破坏形式与破坏机理

加筋土挡土墙是由填土、在填土中分层布置一定的带状筋体(拉筋)和垂直的墙面板以及基础四部分组成的整体复合柔性支挡结构。

加筋土结构内部破坏形式取决于筋材的刚度,即临界破裂面取决于筋材的刚性。加筋土挡土墙根据筋材刚度可分为高刚度筋材加筋土挡土墙和低刚度筋材加筋土挡土墙两类。

1998年,沈珠江认为^[9],当筋材具有足够强度,不发生断裂或拔出等情况下,加筋体的圆弧滑动破坏是不可能出现的,唯一可能的破坏形式是伴随沉降而发生的横向挤出。之后,一些学者进行了大量的室内实验,也证明了筋材刚度对加筋土破坏模式的影响,同时得出以下结论:①低刚度筋材可以形成单一圆弧滑动面,高刚度筋材一般不能形成单一圆弧滑动面;②高刚度筋材加筋土挡土墙上部可能形成圆弧滑动面,而下部或者中下部只可能导致侧向挤出破坏;③破坏面位置与上部受力状态和受力位置密切相关。

另外,根据大量的加筋土挡土墙破坏实例也发现,加筋土挡土墙失稳破坏现象为:一是挡土墙上部的劈裂张开,二是挡土墙中下部的共轭剪切破坏带沿剪切带滑移并带动周围土体在水平方向的挤出。

2 加筋土挡土墙内部滑移稳定性计算方法

2.1 加筋土挡土墙稳定性计算的基本假设

在加筋土挡土墙稳定性计算时,采用了如下基本假设^[2-3]:

①面板承受其相应范围内的土压力,该土压力由面板上的拉筋有效摩阻力来平衡。

②挡土墙内部加筋体被近似破裂面分为主动区和被动区。

③主动区和被动区分界面近似为一折线,即竖直线和斜线各占墙高(路肩墙包括加筋体上填土厚度)的一半,墙顶距分界面距离为 $0.3H$ 。

④拉筋与填料之间的摩擦系数在拉筋的全长范围内相同。

⑤作用于拉筋上的竖向应力为均匀分布,且有效长度上的填料对拉筋产生有效摩阻力,有效摩阻力只产生于被动区内。

⑥筋带不发生断裂破坏现象。

2.2 内部滑移稳定性计算方法

根据以上各破坏形式和破坏机理,对加筋土挡土墙内部滑移稳定性验算是有必要的。

2.2.1 设计阶段和荷载效应组合

设计阶段可分为施工阶段和正常使用阶段。

2.2.2 加筋土内部滑动稳定性

2.2.2.1 内部滑移模型确定

据现行设计理论^[3],加筋土挡土墙破坏滑动面的形状和位置的假定主要有四种:直线型、对数螺旋线型、折线型、复合型。由于折线型滑动面与较多的试验结果较吻合,故常采用折线滑动面进行稳定性验算。

加筋土挡土墙破坏形态为折线形态,折线滑动面由一条竖直线和一条与水平面呈 59.09° 的斜线组成,且这两条线段竖直高度相等,都等于 $1/2H$,这个折线靠土体一侧为被动区,靠临空面一侧为主动区(图1)。

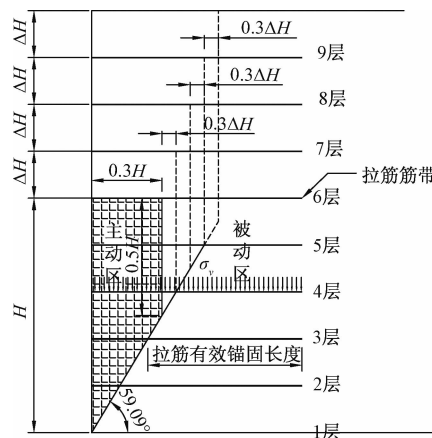


图1 拉筋设计长度(施工阶段)计算模型图

Fig. 1 Calculation model of the reinforcement length in the construction phase

2.2.2.2 容许高度

结合前苏联学者洛巴索夫(Лобасов)的土坡稳定性计算图^[9]可确定施工阶段和使用阶段加筋土挡土墙的许可高度 H 或者许可深度 H (安全系数已包括在强度参数中),从该高度(深度)以下进行 $H + \Delta H$ 高(深)的主动区土体的稳定性评价(图2、图3)。

容许高度(容许深度)由下式确定:

$$H = \frac{c}{\gamma N} \quad (1)$$

式中: N ——稳定数(图表中竖轴对应的数值),据坡角

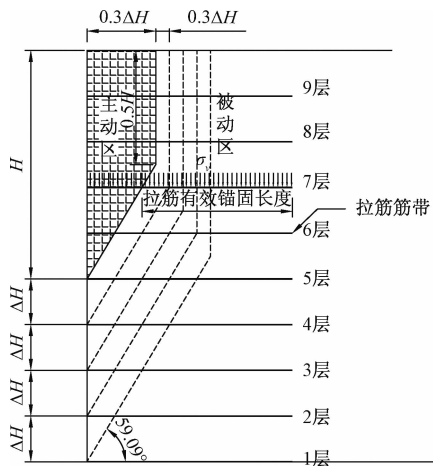


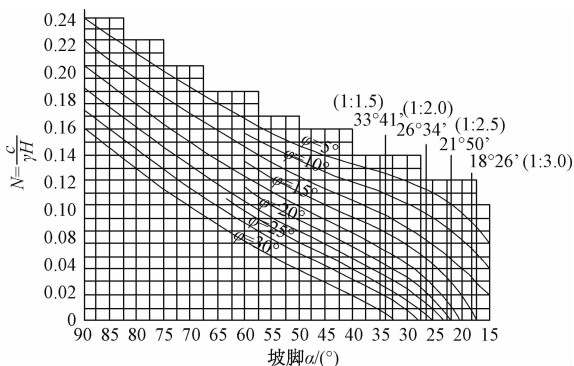
图 2 拉筋设计长度(正常使用阶段)计算模型图

Fig. 2 Calculation model of the reinforcement length in normal use stage

和内摩擦角查图表确定;

c ——加筋土体的准粘聚力/kPa;

r ——加筋土体的重度/(kN/m³)。

图 3 计算简单土坡稳定用图表^[10]Fig. 3 Charts for simple slope stability calculations^[10]

2.2.2.3 加筋土筋带所受的荷载

(1) 筋带所受荷载

筋带所受荷载主要包括竖向压应力、水平拉应力两个。

1) 竖直压应力

单个筋带处的竖直压应力主要来源于永久荷载和附加荷载,竖直总压应力为永久荷载和附加荷载引起的压应力之和。

$$\sigma_v = \sigma_1 + \Delta\sigma_{vi} \quad (2)$$

永久荷载在拉筋所在位置处的竖直压应力 σ_1 ,

$$\sigma_1 = \gamma z_i + \gamma h_1 \quad (3)$$

式中: h_1 ——加筋体上坡面填土换算等代均布土厚度/m;

z_i ——加筋土体的计算深度/m。

附加荷载主要分布有集中荷载、有限范围荷载(独立基础)、条形荷载^[1]。

$$\text{集中荷载: } \Delta\sigma_{vi} = \frac{P_v}{(b + z_i)^2} \quad (4)$$

有限范围荷载:

$$\Delta\sigma_{vi} = \frac{P_v}{(b + z_i) \cdot (l + z_i)} \quad (5)$$

$$\text{条形荷载: } \Delta\sigma_{vi} = \frac{P_v}{(b + z_i)} \quad (6)$$

式中: $\Delta\sigma_{vi}$ ——附加荷载引起的附加应力/kPa;

P_v ——加筋土体上部的荷载/kN;

l, b ——加筋土体荷载基础的长度和宽度/m;

z_i ——加筋土体的计算深度/m;

2) 水平压应力

朗肯和库伦主动土压力都是基于刚性支挡结构推算出的主动土压力,然而不适用于柔性支挡结构,我国采用普遍认可的变系数法水平土压力计算公式,即:

$$\sigma_{hi} = K_i (\gamma z_i + \Delta\sigma_{vi}) \quad (7)$$

$$\text{当 } z_i \leq 6.0 \text{ m 时, } K_i = K_0 \left(1 - \frac{z_i}{6} \right) + K_a \left(\frac{z_i}{6} \right)$$

$$\text{当 } z_i > 6.0 \text{ m 时, } K_i = K_a$$

其中, $K_0 = 1 - \sin\varphi$

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

2.2.2.4 加筋土稳定性计算原理

(1) 单个筋带的稳定性计算原理

单个筋带的稳定性计算采用单点土压力和单根筋材抗拔力进行计算,未考虑筋材间的相互影响效应,计算原理如下:

$$K_i = \frac{T_{pi}}{T_i} \quad (8)$$

$$T_i = \sigma_{hi} s_x s_y \quad (9)$$

$$T_{pi} = 2\sigma_{vi} B L_{ei} f \quad (10)$$

式中: K_i ——第 i 层筋材的稳定性系数;

T_i ——第 i 层筋材在 s_x, s_y 范围内所受的水平拉力/kN;

T_{pi} ——第 i 层筋材的抗拔力/kN;

s_x, s_y ——筋材的水平、竖直间距/m;

σ_{vi} ——第 i 层筋材处的竖直压应力/kPa;

B ——第 i 层筋材的拉筋宽度/m;

L_{ei} ——第 i 层筋材的有效锚固长度/m;

f ——筋材与土体间的似摩擦系数。

(2) 第 i 层筋材以上加筋在内的加筋土体的稳定

性计算原理

加筋土体第*i*层筋材以上的整体稳定性计算方法是考虑有效加筋长度范围内的抗力,采用平面滑动法进行计算,计算原理如下:

$$K_h = \frac{G_h \cos 59.09^\circ \cdot s_x \cdot \tan \varphi + c \cdot l_h \cdot s_x + \sum_{i=1}^n T_{pi}}{G_h \cos 59.09^\circ \cdot s_x} \quad (11)$$

式中: K_h ——高度为*h*的加筋土挡土墙的稳定性系数;

G_h ——第*i*层筋材以上水平间距范围内的加筋土体重力/kN;

φ ——假想滑裂面的综合内摩擦角/(°);

l_h ——假想滑裂面的长度/m。

3 加筋土挡土墙内部稳定性探讨

3.1 施工阶段内部滑移稳定性

据现有规范和设计理论要求,单根加筋土筋材的稳定性不小于1.5,本次设定每层单根筋材的内部稳定性为1.5,进行拉筋的长度计算。

加筋土挡墙高度从3.0~12.0 m进行拉筋长度计算,拉筋垂直间距为0.5 m,水平间距为1.0 m的非满堂铺筋,填土重度取19 kN/m³,粘聚力取0,内摩擦角取20°~45°,拉筋宽度取0.1 m,拉筋与填土的似摩擦系数取0.4,据以上计算原理,计算了3.0~12.0 m高加筋土挡墙的每层拉筋设计长度,计算结果见图4和图5。

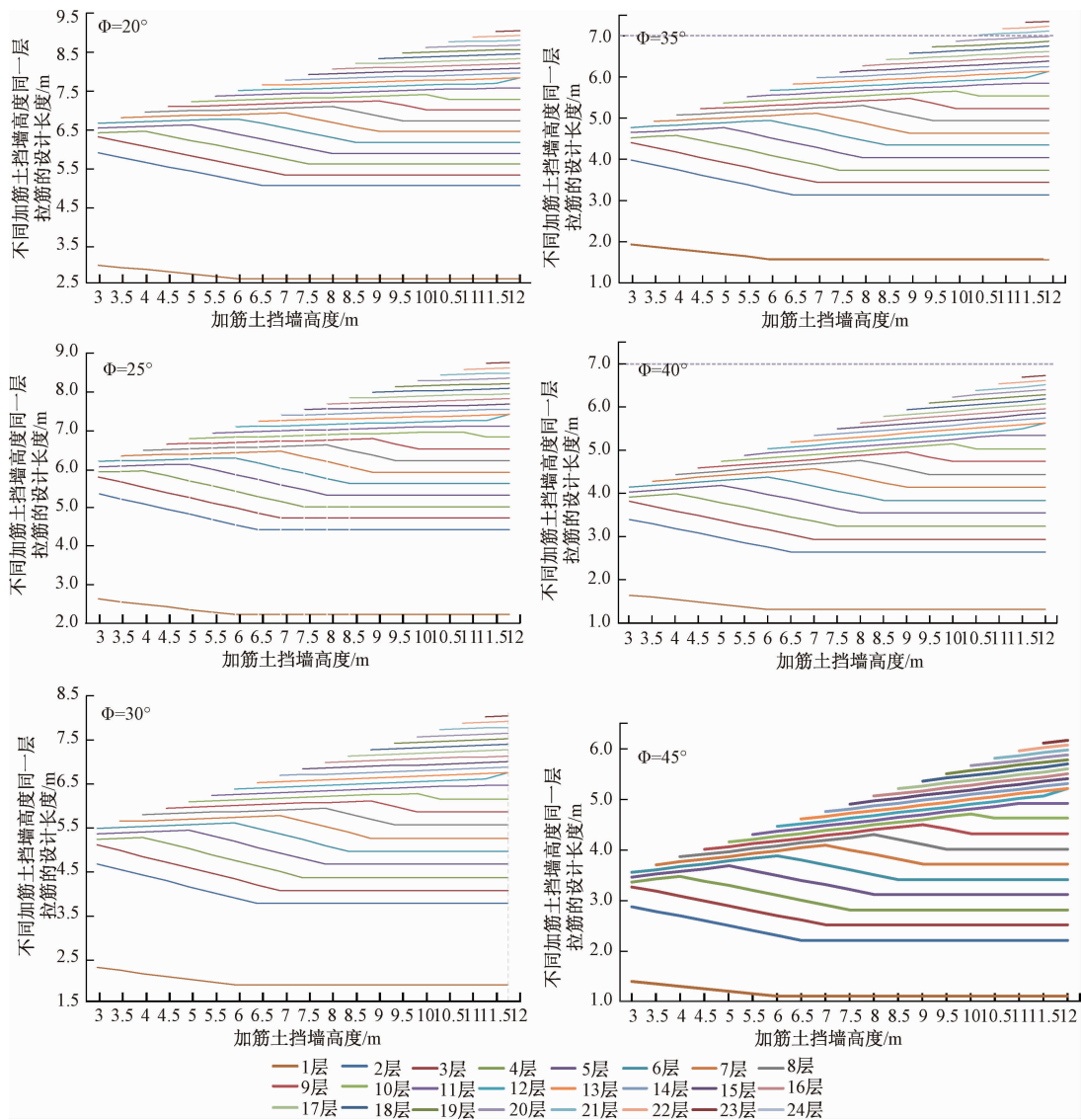
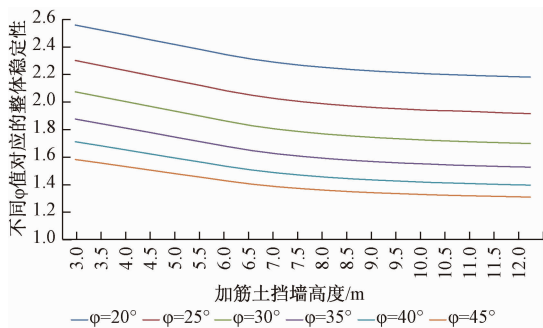


图4 不同墙高同一层拉筋的设计长度($k=1.5$)

Fig. 4 The reinforcement length of different high retaining wall for the same layer of the rigid striped ($k=1.5$)

图5 不同 φ 值对应的整体稳定性Fig. 5 The overall stability under the condition of different φ

由图4、图5可得到如下几点结论和推论:

(1) 加筋土挡墙拉筋设计长度从下往上逐渐递增,拉筋分布呈“倒三角”分布。

(2) 随着加筋土挡墙增高,下层(底部3层)拉筋设计长度逐渐减短,最后趋于定值;中部(3层~10层)拉筋设计长度有先增大后减小(增大速率比减小速率小),最后趋于定值;上部(10层以上)拉筋设计长度有逐渐增大的趋势。

(3) 拉筋设计长度减短范围随着墙高的增加而减小,拉筋设计长度增加范围随着墙高的增加而增加,即,下部拉筋的拉筋设计长度先开始减短和先开始趋于定值。

(4) 下部拉筋设计长度增加量比上部拉筋设计长度增加量大,且增加量为定值。

(5) 随着土体 φ 值增大,相同层拉筋的设计长度增加量和减少量都增大,即, φ 值越大,影响拉筋的设计长度越大。

(6) 施工阶段加筋土挡墙要求的拉筋长度较设计加筋土挡墙高度计算的拉筋设计长度要大,即,加筋土挡墙内部滑移稳定性小于设计墙高的稳定性,建议加筋土挡墙下部拉筋(约1/2墙高范围内)进行内部滑移稳定性验算。

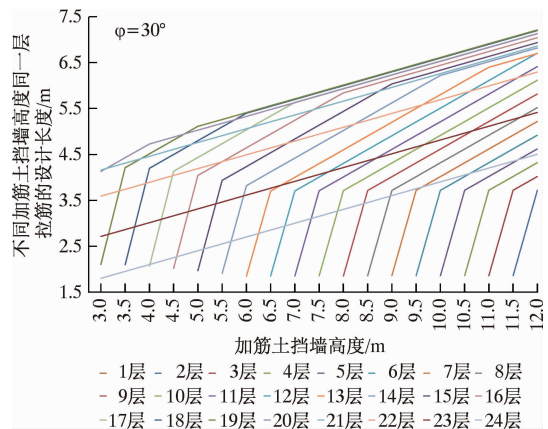
(7) 满足单个拉筋稳定性($K = 1.5$)时,由于变系数法系数 K_i 受 φ 值的影响,进而影响水平压应力,在满足单个拉筋稳定性 $K = 1.5$ 时,其它条件相同,依据以上计算原理,计算的有效拉筋长度随着 φ 值的增加而减小,进而影响整体稳定性,且随着土体 φ 值的增加,等高的加筋土挡墙整体稳定性系数降低,整体稳定性系数降低的数值与墙高无关,且 φ 值越大,稳定性系数降低幅度越小,建议加筋土挡墙填土的 φ 值小于 40° 时,下部拉筋(约1/2墙高范围内)进行内部滑移

稳定性验算。

3.2 正常使用阶段内部滑移稳定性

加筋土挡墙的正常使用寿命阶段的稳定性,主要涉及到一些外部荷载的加入,荷载类型主要为均布荷载、集中荷载、有限范围荷载(独立基础)、条形荷载四种荷载分布型式,现实中有限范围荷载分布型式较多,现以有限范围荷载(独立基础)进行分析,计算原理、计算方法和计算标准同施工阶段加筋土挡墙。

加筋土挡墙高度从3.0~12.0 m进行拉筋长度计算,拉筋垂直间距为0.5 m,水平间距为1.0 m的非满堂铺筋,填土重度取 19 kN/m^3 ,粘聚力取0,内摩擦角取 30° ,拉筋宽度取0.1 m,拉筋与填土的摩擦系数取0.4,加筋土荷载取100 kN,据以上计算原理,计算了3.0~12.0 m高加筋土挡墙的每层拉筋设计长度,计算结果见图6。

图6 不同墙高同一层拉筋的设计长度($k = 1.5$)Fig. 6 The reinforcement length of different high retaining wall for the same layer of the rigid striped($k = 1.5$)

由图6可得到如下几点结论和推论:

(1) 单层加筋土挡墙拉筋设计长度呈不断增加趋势,呈凸向折线分布(上部4层拉筋除外(呈线性增大趋势)),下部拉筋的增大速率大于上部拉筋的增大速率。

(2) 每层加筋土拉筋长度在一定范围内增大速率一致。

(3) 加筋土加筋设计长度有一个极限值,极限值出现在加筋土上部;加筋土墙高大于等于5.0 m时,最大拉筋设计长度位置不随墙高而变化(发生在第19层拉筋处),墙高小于5.0 m时,最长设计拉筋长度位置随墙高减小而向上转移(转移幅度不大)。

(4) 从正常使用阶段来看,加筋土挡土墙无需进行内部滑移稳定性验算,只需验算设计墙高的滑移稳

定性。

4 结论

(1)加筋土挡土墙破坏机理较复杂,根据加筋土的破坏模式,进行加筋土挡土墙内部滑移稳定性验算是必要的。

(2)加筋土设计阶段同时考虑施工阶段和正常使用阶段进行设计是合理、科学的。

(3)据现行设计理论,加筋土挡土墙破坏滑动面的形状和位置的假定主要有四种:直线型、对数螺旋线型、折线型、复合型。由于折线型滑动面与较多的试验结果较吻合,故采用折线滑动面进行稳定性验算。

(4)针对不同设计阶段,关于加筋土挡墙拉筋设计长度,得到了一些较粗糙的规律和认识。

参考文献:

- [1] 龚晓南.地基处理手册(第三版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2008:740-768.
GONG Xiaonan. The foundation treatment manual (3edition) [M]. Beijing: China Construction Industry Press, 2008:740-768.
- [2] 路基/交通部第二公路交通勘察设计院主编.公路设计手册 路基-2版[M].北京:人民交通出版社,1996:746.
CCCC Second Highway Consultant Co. Ltd. Highway design manual roadbed-2 edition [M]. Beijing: China Communication Press, 1996:746.
- [3] 李海光等编著.新型支挡结构设计与工程实例(第二版)[M].北京:人民交通出版社,2010.
LI Haiguang, et al. Engineering example and design of supporting structures (2 edition) [M]. Beijing: China Communication Press, 2010.
- [4] 刘超,叶斌,路家峰.纤维加筋土抗液化性能的研究进展[J].中国地质灾害与防治学报,2014,25(4):108-113.
- LIU Chao, YE Bin, LU Jiafeng. Research progress of the Liquefaction-resistance characteristics of fiber reinforced soil [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2014, 25(4): 108-113.
- [5] GB/T 50290—2014 土工合成材料应用技术规范[S].中华人民共和国国家标准,2014:43-47.
GB/T 50290-2014 Technical code for application of geosynthetics [S]. National Standard of the People's Republic of China, 2014:43-47.
- [6] TB 10025—2006 铁路路基支挡结构设计规范[S].中华人民共和国铁道部,2006:33-38.
TB 10025—2006 Code for design on retaining structures of railway subgrade [S]. The ministry of railways of the People's Republic of China, 2006:33-38.
- [7] SL/T 225—98 水利水电工程土工合成材料应用技术规范[S].中华人民共和国行业标准,1998:26-27.
SL/T 225—98 Standard for applications of geosynthetics in hydraulic and hydro-power engineering [S]. Professional Standard of the People's Republic of China, 1998:26-27.
- [8] JTJ 015—91 公路加筋土工程设计规范[S].中华人民共和国交通行业标准,1992:23-33.
JTJ 015—91 Specifications for Design of Highway Reinforced Earth Engineering [S]. Transportation industry professional standard of the People's Republic of China, 1992:23-33.
- [9] Shen Zhujiang. Limit analysis of soft ground reinforced by geosynthetics [S]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1998, 20(4): 82-86.
- [10] 李广信,张丙印,余玉贞.土力学(2版)[M].北京:清华大学出版社,2013:275-276.
LI Guangxin, ZHANG Bingyin, YU Yuzhen. Soil mechanics (Version 2) [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2013:275-276.