

文章编号: 1006-6616 (2015) 04-0527-09

核安全相关边坡与一般边坡挡土墙 抗震稳定性验算对比分析

陈立伟

(中国核电工程有限公司总图地质所, 北京 100840)

摘要: 在挡土墙稳定性计算基本原理基础上, 引入《核电厂抗震设计规范》(GB 50267-97) 关于地震系数的规定, 重新建立了安全相关边坡挡土墙土压力和地震角计算公式, 并应用到实际工程中。对比分析显示, 挡土墙按核安全边坡和一般边坡进行抗震验算时, 地震系数、地震角的取值相差较大; 由于按核安全边坡计算时地震力远大于一般边坡, 因此稳定系数远小于一般边坡。

关键词: 核安全边坡; 挡土墙; 稳定性验算; 地震系数; 地震角

中图分类号: P315.9

文献标识码: A

0 引言

核电厂占地面积大, 而且大都地处偏远山区, 许多厂址场地平整后在厂址周边形成了高大边坡。这些边坡能否得到合理治理, 将会影响到核电建设经济性, 甚至影响厂址安全性。

核安全法规 (HAF101)^[1] 明确规定边坡稳定性是影响核电厂址安全的一个重要外部事件。核安全导则《核电厂的抗震设计与鉴定》(HAD102/02)^[2] 规定安全相关的土工结构 (包括护坡、挡土墙、自然斜坡、路堑等) 应按 SL-2 地震动进行抗震设计。《核电厂抗震设计规范》(GB 50267-97)^[3] (以下简称核电抗震规范) 更进一步明确了地震作用的计算方法和需按照核安全相关边坡进行抗震验算的范围。

由于核电建设中核安全相关建构筑物的的重要性, 国标核电抗震规范给出了相对完善的抗震设计规定。然而对于核安全相关边坡抗震设计而言, 还存在诸多需要修订和完善之处^[4]; 关于挡土墙的抗震验算, 规范根本没有涉及, 在遇到实际工程时如何操作则面临“无法可依”的尴尬局面。本文基于挡土墙稳定性计算基本原理, 引入核电抗震规范关于地震系数的规定, 重新建立了安全相关边坡挡土墙土压力和地震角计算公式, 并应用到实际工程中。

1 工程概况

田湾核电站放射性废物处理中心为抗震 II 类物项, 取水构筑物为抗震 I 类物项, 这两个

收稿日期: 2015-06-08

作者简介: 陈立伟 (1978-), 男, 河南省扶沟县人, 高级工程师, 主要研究方向为核电厂岩土工程勘察与设计、厂址选择与评价等。E-mail: clw5070@163.com

子项与北东走向的人工边坡的最近距离不足 50 m。根据核电抗震规范, 该边坡属于核安全相关边坡。在早期的总平面布置中, 该段边坡距核安全相关物项较远, 勘察和设计均按照一般边坡要求进行, 因此需要重新进行评价。

该段自然边坡坡度约 27° , 人工边坡高度约 60 m, 坡度约 44° , 局部开挖成台阶式。边坡属硬质岩石边坡, 坡面倾向约 116° , 山体基岩基本裸露。山腰有一过境道路通过, 路堑因局部存在厚度不等的第四系采用了挡土墙加固措施 (见图 1)。

挡土墙采用的是《抗震重力挡土墙》(00SJ008-2) 中的 YX8 型, 高 8 m, 截面尺寸及形状见图 2。挡土墙为有限填土范围挡墙, 填土内摩擦角 35° , 容重 1.8 t/m^3 , 基底摩擦系数为 0.4; 挡土墙上方的路堑边坡表面坡率为 1:1.5。



图 1 过境道路路堑挡墙

Fig. 1 Cutting retaining wall of throughway

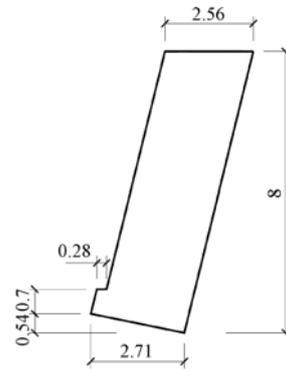


图 2 挡墙 YX8 型截面图 (单位: m)

Fig. 2 A section of YX8 retaining wall

经验算, 该段边坡的整体稳定性满足核电抗震规范要求。对位于道路一侧的挡土墙, 本文分别按照一般边坡和核安全相关边坡进行了稳定性验算。一般边坡的抗震验算主要遵照《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330-2013)^[5] (以下简称建筑边坡规范); 对于核安全相关边坡, 地震力按照核电抗震规范进行计算, 计算方法主要参照了建筑边坡规范。

2 挡土墙稳定性验算

2.1 计算工况

挡土墙设计计算一般包括抗滑移、抗倾覆稳定性验算以及地基承载力和结构强度计算。考虑到挡土墙施工已完成多年, 墙体稳定, 且设计依据为国家标准图集, 因此不再对地基承载力和结构强度进行验算。

挡土墙的抗滑移、抗倾覆稳定性验算, 本文考虑了两种工况: ①一般工况, 不考虑地震力; ②地震工况, 并分别按照一般边坡和核安全边坡两种情况进行验算。

对于一般工况, 根据建筑边坡规范, 计算获得主动土压力 $E_a = 173.7 \text{ kN/m}$, 抗滑稳定系数 $F_s = 2.17$, 抗倾覆稳定系数 $F_t = 2.96$ 。由于 $F_s \geq 1.3$ 、 $F_t \geq 1.6$, 故满足规范要求。

2.2 地震工况稳定性验算

2.2.1 一般边坡

2.2.1.1 主动土压力计算

对于在地震作用下有限挡墙的主动土压力计算, 根据建筑边坡规范, 在进行地震情况下

的土压力计算时，土的重度应除以地震角的余弦 ($\gamma' = \gamma/\cos\rho$)，墙背填土的内摩擦角和墙背摩擦角应分别减去地震角和增加地震角 ($\delta' = \delta + \rho$, $\delta'_r = \delta_r - \rho$)。地震角 ρ 可根据建筑边坡规范中表 6.2.11 确定。

将 γ' , δ' , δ'_r 分别代替一般工况下公式中的 γ 、 δ 和 δ_r ，可得考虑地震时的土压力计算公式：

$$E_a = \frac{\gamma H^2 K_a}{2 \cos \rho} \quad (1)$$

$$K_a = \frac{\sin(\alpha + \beta) \sin(\alpha + \theta) \sin(\theta - \delta'_r + \rho)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta + \theta - \delta_r) \sin(\theta - \beta)} \quad (2)$$

式中： E_a ——对应荷载标准组合的主动土压力合力，kN/m； H ——挡土墙高度，m； γ ——土体重度，kN/m³； K_a ——主动土压力系数； δ ——土对挡土墙墙背的摩擦角，(°)； β ——填土表面与水平面的夹角，(°)； α ——支挡结构墙背与水平面的夹角，(°)； θ ——稳定岩石坡面的倾角，(°)； δ_r ——稳定且无软弱层的岩石坡面与填土间的内摩擦角，(°)。

田湾核电站所处地区属 7 度 (0.1 g) 地震分区，故地震角 ρ 取值 1.5°。将各参数带入计算可得 E_a 值为 178.3 kN/m。

2.2.1.2 抗滑稳定性验算

在遭受地震作用时，除了墙后的土体受到地震力作用外，挡土墙本身也会受到地震影响 (见图 3a)。

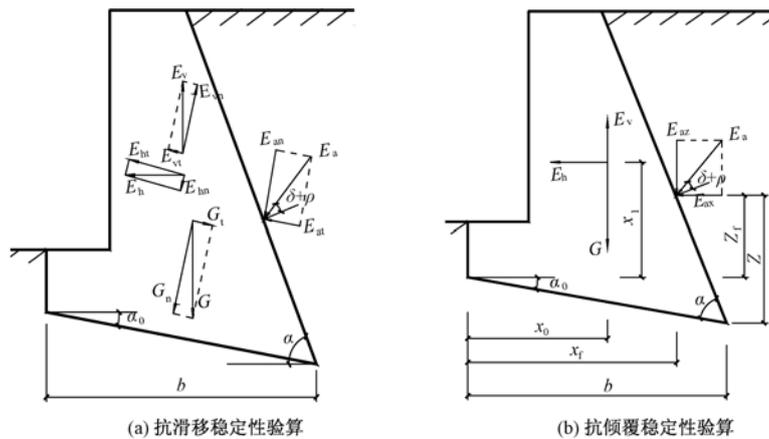


图 3 地震工况下挡墙稳定性验算示意图

Fig. 3 Stability calculation of retaining wall under earthquake affairs

在计入挡土墙自身遭受的地震力后，其抗滑稳定系数可表达为：

$$F_s = \frac{(G_n + E_{an} + E_{ln} - E_{vn})\mu}{E_{at} - G_t + E_{ht} + E_{vt}} \quad (3)$$

$$E_{at} = E_a \sin(\alpha - \alpha_0 - \delta - \rho)$$

$$E_{an} = E_a \cos(\alpha - \alpha_0 - \delta - \rho)$$

$$G_t = G \sin \alpha_0, G_n = G \cos \alpha_0$$

$$E_{ht} = E_h \cos \alpha_0, E_{ln} = E_l \sin \alpha_0$$

$$E_{vt} = E_v \sin \alpha_0$$

$$E_{vn} = E_v \cos \alpha_0$$

式中： E_h ——挡土墙自身受到的水平向地震力，kN/m； E_v ——挡土墙自身受到的竖直向地震力，kN/m，方向朝上时取正值，朝下取负值； G ——挡墙每延米自重，kN/m； α_0 ——挡墙底面倾角，(°)； μ ——挡墙底与地基岩土体的摩擦系数。

根据建筑边坡规范第 5.2.6 条，挡土墙水平向地震力 $E_h = \alpha_w G$ ；竖直向地震力 $E_v = 0$ ，即不考虑竖直向地震力。 α_w 为水平地震系数，因本地区为 0.10 g 地震区，故 α_w 取 0.025。

将各参数代入式 (3)，计算可得 $F_s = 1.92$ 。由于 $F_s \geq 1.1$ ，满足建筑边坡规范要求。

2.2.1.3 抗倾覆稳定性验算

挡墙抗倾覆稳定性验算见图 3b。在计入挡土墙自身遭受的地震力后，其抗倾覆稳定性可表达为：

$$\begin{aligned} F_t &= \frac{(G - E_v)x_0 + E_{az}x_f}{E_{ax}z_f + E_hx_1} \\ E_{ax} &= E_a \sin(\alpha - \delta - \rho) \\ E_{az} &= E_a \cos(\alpha - \delta - \rho) \\ x_f &= b - z \cot \alpha \\ z_f &= z - b \tan \alpha_0 \end{aligned} \quad (4)$$

式中： x_1 ——挡墙重心到墙趾垂直距离，m； x_0 ——挡墙重心到墙趾水平距离，m； b ——挡墙底面水平投影宽度，m； z ——岩土压力作用点到墙趾垂直距离，m。

根据计算图示（见图 3），将各参数带入式 (4) 计算可得 $F_t = 2.69$ 。由于 $F_t \geq 1.3$ ，满足建筑边坡规范要求。

2.2.2 核安全边坡

2.2.2.1 主动土压力计算

由上节分析可知，地震作用下主动土压力的计算与地震角的取值相关，而地震角的大小则取决于边坡所处的地震分区。本边坡处于 7 度 (0.1 g) 地震分区，如果仍按照建筑边坡规范中表 6.2.11 取值，则核安全边坡与一般边坡主动土压力的计算不存在区别。但实际上，最终影响地震角取值的因素是地震力的大小，因此应首先探讨地震角本身的意义。

一般工况下，挡土墙土压力计算图示可用图 4 表示（图中 R 为潜在破裂面以下稳定土体对上部土楔体的抗滑力，其余符号意义同前）。

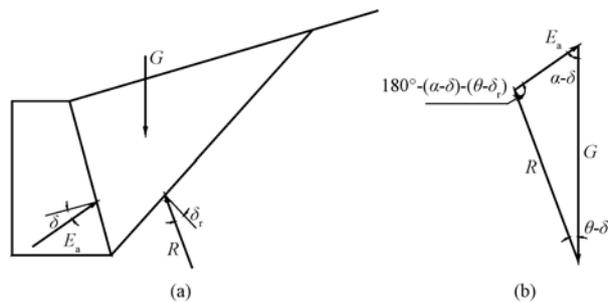


图 4 挡土墙主动土压力计算示意图（一般工况）

Fig. 4 Calculation of active earth pressure of retaining wall under general conditions

地震工况下，由于楔形体受到水平地震力，角度发生了偏转（见图 5a， G' 为潜在滑动面以上土体的自重与地震力的合力）^[6]。

假设墙背对土楔体的摩擦角 δ 和下方稳定岩土体对上方土体的摩擦角 δ_r 均不变，将整个

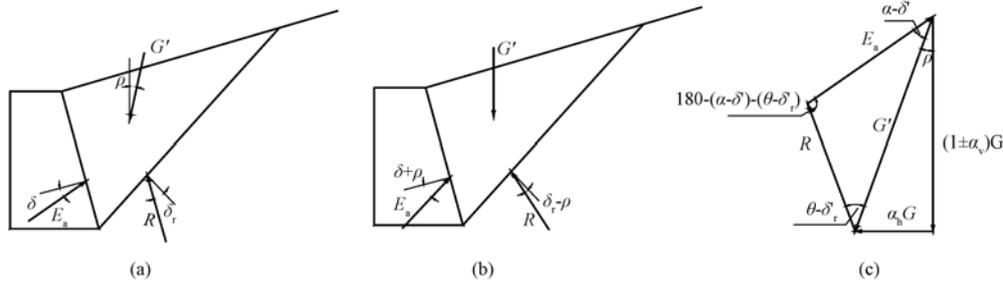


图5 挡土墙主动土压力计算示意图（地震工况）

Fig. 5 Calculation of active earth pressure of retaining wall under earthquake case affairs

力系调整角度 ρ ，则不会改变三力间的平衡关系（见图5b、5c， α_h 、 α_v 为分别为水平向和竖向地震系数）。由图5c可知，地震角 ρ 为土楔体所受的合力与垂直方向的夹角，其大小可表达为：

$$\tan \rho = \frac{\alpha_h G}{(1 \pm \alpha_v) G}$$

即：

$$\rho = \tan^{-1} \frac{\alpha_h}{1 \pm \alpha_v} \tag{5}$$

式中，竖向地震力方向朝下时取正值，朝上取负值。

这样，只需将 $\gamma' = (1 \pm \alpha_v) \gamma / \cos \rho$ ， $\delta' = \delta + \rho$ ， $\delta'_r = \delta_r - \rho$ 代替 γ 、 δ 和 δ_r ，即可根据一般工况下的公式进行求解。

由于一般边坡不考虑竖向地震力，即地震系数 $\alpha_v = 0$ ，故有 $\gamma' = \gamma / \cos \rho$ ， $\rho = \tan^{-1} \alpha_h$ 。

根据核电抗震规范^[3]，对于与 I、II 类物项工程结构安全有关的边坡，在进行边坡稳定性计算时，“应根据极限安全地震震动确定，并计入水平与竖向地震作用在不利方向的组合。”且“地震作用中的水平地震系数宜取 0.3，竖向地震系数宜取 0.2”。因此，进行核安全相关边坡挡土墙计算时，须同时考虑水平和竖向地震力，且 $\alpha_h = 0.3$ 、 $\alpha_v = 0.2$ 。

对于挡土墙自身， $E_h = 0.3 G$ ； $E_v = \pm 0.2 G$ ，方向朝上时取正值，朝下取负值。

将 $\gamma' = (1 \pm \alpha_v) \gamma / \cos \rho$ ， $\delta' = \delta + \rho$ ， $\delta'_r = \delta_r - \rho$ 分别替代一般工况下公式中的 γ 、 δ 和 δ_r ，可得考虑地震时的土压力计算公式为：

$$E_a = \frac{(1 \pm \alpha_v) \gamma H^2 K_a}{2 \cos \rho} \tag{6}$$

根据公式 (2)、(5) 和 (6)，当竖向地震力朝上时，计算可得 $\rho = \tan^{-1} \frac{0.3}{1 - 0.2} = 20.6^\circ$ ，

$K_a = 0.388$ ， $E_a = 191.2 \text{ kN/m}$ ；当竖向地震力朝下时， $\rho = \tan^{-1} \frac{0.3}{1 + 0.2} = 14.0^\circ$ ， $K_a = 0.366$ ，

$E_a = 260.4 \text{ kN/m}$ 。

2.2.2.2 抗滑稳定性验算

根据式 (3)，当竖向地震力朝上时，计算可得 $F_s = 0.93$ ；当竖向地震力朝下时， $F_s = 0.78$ 。该计算结果表明，考虑地震力组合时，抗滑稳定系数 $F_s < 1.5$ ，不满足核电抗震规范要求。

2.2.2.3 抗倾覆稳定性验算

根据式(4),当竖向地震力朝上时,计算可得 $F_t = 1.42$;当竖向地震力朝下时, $F_t = 1.33$ 。表明考虑地震力组合时,抗倾覆稳定系数 $F_t < 1.5$,不满足核电抗震规范要求。

综上所述,地震工况下稳定系数能够满足建筑边坡规范要求,但不能满足核电抗震规范要求。

3 对比分析与讨论

3.1 挡土墙按一般边坡和核安全边坡抗震验算差异对比

3.1.1 地震系数

对于一般边坡,根据建筑边坡规范,可以只考虑水平地震力的影响。水平地震系数与地震烈度(加速度)分区相关,且随地震烈度(加速度)增大而增大,关系式可表达为:

$$\alpha_h = 0.25A_h/g \quad (7)$$

式中: A_h 为水平向地震峰值加速度; g 为重力加速度。

对于核安全边坡,地震作用中的水平地震系数宜取 0.3,竖向地震系数宜取 0.2^[3]。因此,核安全边坡的地震系数为一常数,与所处地区烈度无关。

上述地震系数取值不同,造成了挡土墙土压力计算时地震力的较大差异。对于位于地震烈度 7 度(0.10 g) 区的挡土墙,核安全边坡水平向地震力是一般边坡的 12 倍(0.3/0.025),且核安全边坡须考虑竖向地震力及其组合,但一般边坡不必考虑。

3.1.2 地震角

对于一般边坡,地震角 ρ 的取值与所处的地震烈度(加速度)分区相关,随着地震烈度(加速度)值增大而增大。

对于核安全边坡,由上述主动土压力分析计算可知,当竖向地震力朝上时,地震角 $\rho = \tan^{-1} \frac{0.3}{1-0.2} = 20.6^\circ$;当竖向地震力朝下时, $\rho = \tan^{-1} \frac{0.3}{1+0.2} = 14.0^\circ$ 。因此,地震角为一常数,与所处的地震烈度或加速度分区无关。

3.1.3 稳定系数

对于一般边坡,根据建筑边坡规范,地震工况下,抗滑移稳定系数不小于 1.1,抗倾覆稳定性不小于 1.3。

对于核安全边坡,挡土墙的稳定性的判断标准目前还没有规范进行规定,在核电抗震规范中也没有针对挡土墙的要求,本文则是采用了规范对边坡稳定系数不小于 1.5 的规定。稳定系数是判断边坡稳定状态的一个重要指标,鉴于我国核安全法规和导则已有对挡土墙稳定性计算的要求,在未来规范修编时还需增补和完善。

3.2 讨论

3.2.1 路基挡墙抗震设计现状

2008 年汶川地震后,有研究者对地震近场区公路路基挡墙震害进行了调查^[7-8],调查主要以 2005 年竣工的都江堰至映秀三级公路(全长 30.6 km,设防等级为 7 度)为例,分析了路堤工程、路肩墙和路堑墙的震害模式。按长度统计,路肩墙在 9、10 度区的毁坏率分别为 0.75%、4.19%;路堑墙的毁坏率分别为 1.09%、3.07%;毁坏比率均小于可靠性设计中常采用的 5% 的控制指标。也就是说,9 度区毁坏的挡墙只有零星分布,10 度区也只是

局部现象;这与调查路段两侧房屋大范围倒毁现象形成鲜明对比。

杨雪莲等^[9]重点对都江堰至映秀公路沿线的挡墙破坏形式和原因等进行了调查和分析,并得出如下认识:在5.12大地震中,位于震中附近的公路沿线挡墙虽然受到了破坏,但大部分挡墙并未完全毁坏;该路原设计为7度设防,但却经受了近11度的大地震,大部分挡墙通过后期的加固处置,均能满足正常使用的要求。

对于地震烈度7度(0.10g、0.15g)区的挡土墙,《公路工程抗震规范》(JTG B02-2013)^[10]和《铁路工程抗震设计规范》(GB 50111-2009)^[11]有明确规定:当挡土墙位于岩石及非液化土、非软土地基时,不需要进行验算。近些年的地震灾害(1966年邢台地震、1970年通海地震、1975年海城地震、1976年唐山地震)调查表明,在岩石及一般土质地基上,7度地震基本无震害;8度和9度地震时,有部分挡土墙发生变形或破坏。铁路规范还针对挡土墙标准图在7度时的抗滑和抗倾覆稳定性进行了验算,结果表明,可满足7度的抗震要求,设防烈度为8度时,需要进行抗震设计。

上述汶川地震区针对挡土墙的宏观灾情调查结果与现行公路和铁路抗震设计的认识是一致的,说明目前规范采用的挡土墙稳定性验算方法及判据是合理的。

2013年发布的建筑边坡规范,其中关于地震情况下的土压力计算就是参照国内建筑、铁路、公路、交通等行业的抗震设计规范提出的。

由此可见,我国各行业对挡土墙抗震稳定性计算的认识也是基本一致的,这种共识包括土压力计算公式、地震力计算、地震角取值以及稳定系数判断标准等。

3.2.2 核安全相关边坡挡土墙稳定性验算的探讨

由挡土墙按一般边坡和核安全边坡抗震验算差异对比分析可知,位于地震烈度7度(0.10g)区的挡土墙,核安全边坡水平向地震力是一般边坡的12倍,且核安全边坡须考虑竖向地震力及其组合,但一般边坡不必考虑。由此导致两种情况下本工程挡土墙稳定性计算结果迥异:按一般边坡考虑时,抗滑稳定性系数和抗倾覆稳定性系数分别为1.92和2.69,满足规范要求;但按核安全相关边坡考虑时,其抗滑稳定性系数和抗倾覆稳定性系数分别为0.78和1.33,不满足规范要求,需采取适当的加固措施。

由前述核安全边坡稳定性验算分析可知,引起上述结果差异的根本原因在于地震力计算存在较大差异,即地震系数的取值不同。对于一般边坡,式(7)中的0.25其实是一个折减系数,也是一个经验系数。朱伯芳^[12]曾经探讨过该系数的取值,之所以进行折减,是为了使理论计算与宏观震害之间保持一致。早在20世纪50年代,国内外水工建筑物抗震设计时已经采用了0.25的折减系数。20世纪60年代,中国科学院工程力学所的刘恢先所长也曾建议过不进行折减,相当于把地震力提高了4倍,但“按当时采用的设计准则,难以过关”^[12]。目前,挡墙进行抗震验算时采用0.25的折减系数已形成各行业共识。

综上所述,为使核安全边坡挡墙验算更合理,地震力的计算可以参考其他行业的经验和方法;为体现核安全的重要性,可以适当提高抗震设防标准,如采用SL-2进行抗震设计。

4 结论

挡土墙按核安全边坡和一般边坡进行抗震验算时,地震系数、地震角的取值相差较大,地震烈度7度(0.10g)情况下,按核安全边坡计算时地震力是一般边坡的12倍,因此稳定系数远小于一般边坡。

每个核电厂场地平整过程中一般都会出现高挖深填工程,挡土墙作为一个重要的边坡支护手段,应用较为普遍。目前核电规范缺少关于核安全相关边坡挡土墙验算的规定,因此需进一步完善。

挡土墙设计是一个常见的岩土工程问题,国内外已有丰富的工程经验和成熟的理论支持,可以为核电设计参考和利用。抗震设计时,为体现核安全的重要性,可根据需要提高抗震设防标准,如采用 SL-2 进行抗震设计等。

参 考 文 献

- [1] 国家核安全局. HAF101 核电厂厂址选择安全规定 [S]. 北京: 中国法制出版社, 1998.
National Nuclear Safety Administration. HAF101 Safety code on nuclear power plant Sitting [S]. Beijing: China Legal Publishing House, 1998.
- [2] 国家核安全局. HAD102/02 核电厂的抗震设计与鉴定 [S]. 北京: 中国法制出版社, 1998.
National Nuclear Safety Administration. HAD102/02 Seismic design and qualification of nuclear power plants [S]. Beijing: China Legal Publishing House, 1998.
- [3] 国家地震局. GB50267-97 核电厂抗震设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 1998.
China Seismological Bureau. GB50267-97 Code for seismic design of nuclear power plants [S]. Beijing: Chinese Planning Press, 1998.
- [4] 陈立伟. 核安全边坡与一般边坡地震力计算对比分析 [J]. 地质力学学报, 2014, 20 (2): 140 ~ 148.
CHEN Li-wei. Comparison between the earthquake force of safety related slope and that of common slope [J]. Journal of Geomechanics, 2014, 20 (2): 140 ~ 148.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50330-2013 建筑边坡工程技术规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. GB50330-2013 Technical code for building slope engineering [S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2013.
- [6] 陈忠达. 公路挡土墙设计 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
CHEN Zhong-da. Highway retaining wall design [M]. Beijing: China Communication Press, 2004.
- [7] 姚令侃, 冯俊德, 杨明. 汶川地震路基震害分析及对抗震规范改进的启示 [J]. 西南交通大学学报, 2009, 44 (3): 301 ~ 311.
YAO Ling-kan, FENG Jun-de, YANG Ming. Damage analysis of subgrade engineering in Wenchuan earthquake and recommendations for improving seismic design code [J]. Journal of Southwest Jiao Tong University, 2009, 44 (3): 301 ~ 311.
- [8] 邱燕玲, 姚令侃, 秦伟. 汶川地震路基挡墙震害特征分析 [J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2010, 29 (4): 576 ~ 581.
QIU Yan-ling, YAO Ling-kan, QIN Wei. Characteristic analysis of the damaged retaining wall in Wenchuan earthquake [J]. Journal of Chongqing Jiao Tong University: Natural science, 2010, 29 (4): 576 ~ 581.
- [9] 杨雪莲, 周永江, 吴事贵, 等. 汶川地震区公路挡墙破坏分析及设计中有关问题的探讨 [J]. 资源环境与工程, 2009, 23 (增刊): 85 ~ 87.
YANG Xue-lian, ZHOU Yong-jiang, WU Shi-gui, et al. Analysis on the failure of retaining wall in Wenchuan earthquake

- and discussion of related problems in design [J]. *Resources Environment and Engineering*, 2009, 23 (Supp.): 85 ~ 87.
- [10] 中华人民共和国交通运输部. JTG B02-2013 公路工程抗震规范 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2013.
Ministry of Transport of the People's Republic of China. JTG B02-2013 Specification of seismic design for highway engineering [S]. Beijing: China Communication Press, 2013.
- [11] 中华人民共和国建设部. GB 50111-2009 铁路工程抗震设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2009.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. GB 50111-2009 Code for seismic design of railway engineering [S]. Beijing: Chinese Planning Press, 2009.
- [12] 朱伯芳. 关于水工建筑物抗震设计的几点思考 [J]. *水利水电技术*, 2010, 41 (9): 31 ~ 35.
ZHU Bo-fang. Some thoughts on the design of hydraulic structures under earthquake loading [J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2010, 41 (9): 31 ~ 35.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RETAINING WALL SEISMIC STABILITY OF NUCLEAR SAFETY RELATED SLOPE AND COMMON SLOPE

CHEN Li-wei

(General Planning and Geological Division, CNPE, Beijing 100840, China)

Abstract: Based on the theory of retaining wall stability calculation, the earthquake coefficient stated in *Code for seismic design of nuclear power plants* (GB 50267-97) was used. The calculation formulas of soil pressure and seismic angle for retaining wall of safety related slope were deduced and applied in a practical project. Comparative analysis shows that the values of the earthquake coefficient and the seismic angle are of great difference when the earthquake-resistance of retaining wall is checked in case of the safety related slope and the common slope. The earthquake force of the safety related retaining wall is highly greater than that of the common retaining wall, while the stability coefficient of them is reverse.

Key words: nuclear safety related slope; retaining wall; stability calculation; earthquake coefficient; seismic angle