

中法设计规范重力式挡土墙设计方法对比研究

张建勋¹, 臧芝树², 毛雪松^{1*}, 徐旺¹

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 中国公路工程咨询集团有限公司, 北京市 100097)

摘要:为了分析中国和法国设计规范中重力式挡土墙设计方法的差异性, 该文从挡土墙设计的设计流程与验算方法、土压力计算、验算内容等方面进行对比; 并结合具体的工程实例, 在不同荷载组合条件下挡墙的受力、验算指标等进行差异性对比。结果表明: 尽管两者的设计原理和计算方法基本相同, 但是在验算方法、荷载组合形式、土压力计算的设计参数取值、地震荷载的影响、稳定性系数选取等方面存在一定差异。工程实例验算表明: 由于法国设计规范假定挡墙墙背光滑和考虑地震作用方式不同, 使计算的挡墙承受土压力略大于中国设计规范的计算值; 在挡土墙验算方面, 法国设计规范采用以容许应力法为主要验算方法, 中国设计规范则采用以极限状态设计的分项系数法为主、容许应力法为辅的验算方法。

关键词:重力式挡土墙; 中法设计规范对比; 荷载组合; 地震土压力; 设计参数

近些年, 中国对于一些非洲国家进行了很多的援助行动, 不仅体现在资金上的援助, 而且在非洲进行了大量的基础设施建设, 比如公路和铁路等交通基础设施建设。但是由于历史遗留问题, 非洲许多国家的基础建设都沿用法国技术规范。例如阿尔及利亚高速公路, 由中方进行设计施工, 设计则采用法国设计规范, 中法规范存在设计方法和设计理论的差异。随着在非洲法语国家公路项目建设的不断增多, 为了更好地使中国设计施工总承包单位在建设中灵活地运用法国设计规范, 中国和法国公路规范对比工作显得尤为重要。

目前关于中法公路规范的对比, 主要集中于公路设计标准^[1]、施工方法^[2]、岩土划分^[3]、地基处理^[4]、路基填料使用条件^[5]等方面。挡土墙作为公路路基中的重要结构, 对路基的稳定性十分重要, 因此为了满足施工设计需求, 中国许多学者对法国挡土墙设计进行了研究分析。丁小军等^[1]对法国挡土墙设计规范进行了简要介绍; 蒋伟等^[6]分析了中法挡土墙在设计参数、设计方法以及荷载组合方面的差异; 刘军勇等^[7]对比了中国和欧洲重力式挡土墙非地震状态和地震状态土压力计算, 以及圬工材料强度规定的差异; 张海龙等^[8]介绍了利用法国设计规范进行钢筋混凝土桩基承台挡土墙的设计; 周大全等^[9]结合阿尔及利亚高速公路 M3 标段, 介绍了法国设计规范下混凝土预制块墙面板加筋土挡土墙的设计。

可以看出: 目前对中、法设计规范中重力式挡土墙设计的对比, 主要体现在理论和方法等方面, 缺乏对挡土墙具体的、系统的差异性对比及案例计算分析。该文将在具体对比重力式挡土墙设计规范差异性的基础上, 结合重力式挡土墙工程实例计算, 分析中法设计规范在挡土墙设计中的差异性。

1 中法设计规范中重力式挡土墙设计方法的差异性对比

1.1 设计流程与验算方法

中法重力式挡土墙设计原理和计算方法基本相同, 设计步骤都是先根据工程经验拟定挡土墙的截面形式和尺寸, 采用库仑土压力计算土压力, 然后进行稳定性验算、基底应力及合力偏心距验算以及墙身截面强度等验算, 根据验算结果调整挡土墙设计, 最后确定挡土墙尺寸。

中国设计规范以极限状态设计的分项系数法为主以容许应力法为辅。法国设计规范则以容许应力法为主要的验算方法。

1.2 挡土墙上的力系及荷载组合

1.2.1 挡墙承受的力系

中法规范中作用于一般挡土墙上的力主要有墙后主动土压力 E_a 、墙前被动土压力 E_p 、墙身自重 G 、基

底支撑力和摩擦力等。对于条件复杂的挡土墙,力系也更复杂。

1.2.2 荷载类型

荷载类型^[12]可以分为永久荷载、可变荷载以及偶然荷载。永久荷载主要包括挡土墙自重、填土重力以及填土侧压力等荷载。

可变荷载分为基本可变荷载和其他可变荷载。基本可变荷载主要是车辆荷载引起的土侧压力以及人群荷载引起的土侧压力;其他可变荷载主要包括流水压力、波浪压力等荷载。

偶然荷载是指暂时的或属于灾害性的荷载,发生概率极小,包括地震作用力,滑坡、泥石流作用力,作用于墙顶护栏上的车辆撞击力等荷载。

1.2.3 荷载组合形式

中国设计规范中挡土墙设计常见的受力作用和荷载组合见表 1,具体的承载能力极限状态作用(或荷载)分项系数见文献[12]。法国设计规范中挡土墙设计的荷载或作用力组合形式与中国设计规范相似,都是分为 3 种,具体的荷载组合方式及系数见表 2^[13-15]。

表 1 中国设计规范中挡土墙受力作用和荷载组合

组合	挡墙受力作用(或荷载)组合
I	挡土墙结构以及填土重力、填土侧压力以及其他永久荷载组合等
II	组合 I 与基本可变荷载相结合
III	组合 II 与其他可变荷载、偶然荷载相结合

表 2 法国设计规范中挡土墙荷载组合形式及系数

组合形式	极限状态	G_{\max} (全部不利的 长期荷载)	G_{\min} (全部有利的 长期荷载)	$Q_r(A)$ (常规荷载)	F_A (地震力)
ELU	承载能力极限状态	1.35	1	1.5	
ELS	正常使用极限状态	1	1	1	
ELA	偶然条件下(地震条件)极限状态	1	1		1

1.3 土压力计算

1.3.1 一般条件下土压力计算

一般条件下,中法设计规范挡土墙主动土压力采用库仑土压力计算方法,根据挡土墙墙后破裂面的位置,分为 5 种情况:破裂面交于内边坡、路基面(又分为交于荷载内部、中部以及外部)以及外边坡。根据力学平衡,通过力多边形法计算土压力。

一般情况下,中国和法国设计规范的挡土墙土压力计算参数,墙身、墙后填土的重度以及墙后填土的内摩擦角等设计参数的取值基本相同。但是挡土墙与墙后填土内摩擦角的比值却不相同,中国设计规范中其比值一般为 1/3~1/2;法国设计规范中重力式挡土墙墙背假定为光滑平面,其比值为 0。

1.3.2 地震条件下土压力计算^[16-17]

中法设计规范计算地震对挡土墙的影响,都是用非地震状态土压力公式去计算地震条件下挡土墙上承受的土压力。

其地震作用都是通过地震角对土压力计算参数进

行转化计算地震土压力。

(1) 中国设计规范关于地震条件下土压力计算

中国设计规范中地震角计算考虑了水平地震加速度的影响,计算公式为:

$$\theta_s = \arctan(C_z K_h)$$
 (1)

式中: C_z 为综合影响系数,一般为 0.25;水平地震加速度系数用 K_h 表示。其中对于地震角和水平地震系数的规定,见表 3。地震土压力计算时,用 $\gamma_s = \frac{\gamma}{\cos\theta_s}$ 、 $\delta_s = \delta + \theta_s$ 、 $\varphi_s = \varphi + \theta_s$ 取代 γ 、 δ 和 φ 值,将设计参数代入非地震库仑土压力计算公式中,得到地震土压力计算公式为:

$$E_s = \frac{1}{2} \frac{\gamma}{\cos\theta_s} H^2 K_s$$
 (2)

式中: $K_s =$

$$\frac{\cos^2(\varphi - \theta_s - \alpha)}{\cos^2\alpha \cos(\delta + \theta_s + \alpha) \left[1 + \frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \theta_s - \beta)}{\cos(\delta + \theta_s + \alpha) \cos(\alpha - \beta)} \right]^2}$$

表 3 地震角和水平地震系数

地震烈度	地震角 $\theta_s / (^\circ)$		水平地震系数 K_h
	非浸水	浸水	
7	1.5	2.5	0.1
8	3.0	5.0	0.2
9	6.0	10.0	0.4

(2) 法国设计规范关于地震条件下土压力计算^[18]

法国设计规范中计算地震角考虑了水平和竖向地震加速度的影响,计算公式为:

$$\theta_s (\pm) = \arctan [\xi k_h / (1 \pm \xi k_v)] \tag{3}$$

式中:地震水平向加速度系数用 k_h 表示,等于地震加速度系数 A ,具体见表 4;地震垂直向加速度系数^[19]用 k_v 表示,取值为 $0.5k_h$;场地影响系数用 ξ 表示,法国

式中:
$$K_s = \frac{\cos^2(\varphi - \theta_z - \alpha)}{\cos\theta_z \cos^2\alpha \cos(\delta + \theta_z + \alpha) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \theta_z - \beta)}{\cos(\delta + \theta_z + \alpha) \cos(\beta - \alpha)}} \right]}$$

采用动态法进行设计,还考虑挡土墙自重承受地震作用产生的惯性力,分为横向地震力 F_x 和竖向地震力 F_y :

$$F_x = GA, F_y = 0.7F_x \tag{5}$$

1.4 挡土墙验算内容的差异

中法设计规范中挡土墙稳定性验算内容基本相同,主要包括稳定性验算、合力偏心距及基底应力验算以及墙身截面强度计算。在规定的稳定性系数方面,中法规范要求不同,具体见表 5。

表 5 中法规范规定的稳定性系数

验算项目	中国设计规范		法国设计规范 (ELU ELA+ ELA-)
	荷载组合 I、II	荷载组合 III	
抗滑动	1.3	1.3	1.2
抗倾覆	1.5	1.3	1.2

2 工程实例分析

该文以阿尔及利亚某一级公路挡土墙资料为工程实例,应用中法公路重力式挡土墙设计规范进行土压力计算、稳定性验算、合力偏心距、墙身截面强度和稳定性以及基底应力的验算,并选取挡土墙基础顶面进行截面强度验算,最后将计算结果进行对比分析。

设计规范采用动态法计算地震土压力时,一般 $\xi=1$ 。

表 4 加速度系数 A

重要用途分组	地震区			
	I	II a	II b	III
1A	0.15	0.25	0.30	0.40
1B	0.12	0.20	0.25	0.30
2	0.10	0.15	2.00	0.25
3	0.07	0.10	0.14	0.18

地震土压力计算时,将 $\alpha_s = \alpha + \theta_s$ 、 $\beta_s = \beta + \theta_s$ 、 $\gamma_s = \gamma \frac{1 \pm K_v}{\cos\theta_s}$ 、 $q_s = q \frac{1 \pm K_v}{\cos\theta_s}$ 、 $H_s = \frac{\cos(\alpha + \theta_s)}{\cos\alpha} H$ 代入到非地震状态土压力进行计算。其地震土压力计算公式为:

$$E_s = \frac{1}{2} \gamma (1 \pm K_v) H^2 K_s \tag{4}$$

2.1 工程概况

一级公路浆砌片石重力式路肩墙,工程处于地震高发区,横断面设计如图 1 所示,有关截面尺寸列于图 1 中,其中墙高 $H=7\text{ m}$,挡墙重度 $\gamma=23\text{ kN/m}^3$,墙后填料为碎石类土,地基土为细砂。挡土墙尺寸: $b_1=1.6\text{ m}$, $b_2=0.45\text{ m}$, $B=4.74\text{ m}$, $h_1=0.7\text{ m}$, $n_1=0.25$, $n_2=0.1$, $n_3=5$ 。挡土墙埋置深度 1 m 。砂浆片石砌体强度设计值如下:抗压强度 700 kPa ,极限弯曲抗拉强度 110 kPa ,极限抗剪强度 80 kPa 。有关墙背填料、地基土的物理力学参数列于表 6。

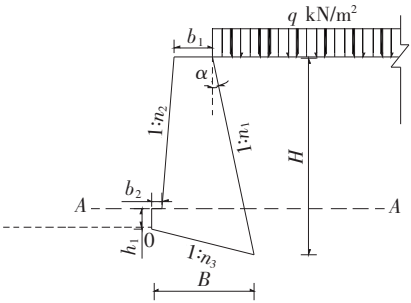


图 1 挡土墙横断面设计图

2.2 应用中国设计规范进行重力式挡土墙验算

由给定的工程实例条件,可知破裂角交于路基荷载内。被动土压力较小,忽略不予考虑。

2.2.1 荷载组合 II 条件下挡土墙验算

在荷载组合 II 的条件下对重力式挡土墙进行组合

表6 物理力学参数

填料			地基			路面车辆荷载 $q/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-2})$
重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	内摩擦角 $\varphi/(^{\circ})$	墙背摩擦角 $\delta/(^{\circ})$	重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	承载应力 f_a/kPa	基底摩擦因数 μ	
23	35	$\varphi/2$	20	400	0.4	20

验算,需要考虑重力、墙后土压力以及车辆均布荷载的作用。

(1) 计算主动土压力 E_a

根据 $\tan\theta = -\tan\psi \pm \sqrt{(\text{ctg}\varphi + \tan\psi)\left(\frac{B_0}{A_0} + \tan\psi\right)}$,

其中 $\psi = \alpha + \delta + \varphi$, $A_0 = \frac{1}{2}(a + H + 2h_0)(a + H)$, $B_0 = \frac{1}{2}ab + (b + d)h_0 - \frac{1}{2}H(H + 2a + 2h_0)\tan\alpha$, 可得破裂角 $\theta = 25^{\circ}$ 。

车辆荷载为 20 kN/m^2 , 根据公式 $h_0 = \frac{q}{r}$, 可得荷载当量土柱高度 $h_0 = 1\text{ m}$ 。

主动土压力 $E_a = \frac{1}{2}\gamma H^2 K K_1$ 。其中: $K = \frac{\cos(\theta + \varphi)}{\sin(\theta + \psi)}(\tan\theta + \tan\alpha)$, $K_1 = 1 + \frac{2h_0}{H}$ 。

墙后填土每延米的主动土压力 $E_a = 259\text{ kN}$, $E_x = E_a \cos(\alpha + \delta) = 221\text{ kN}$, $E_y = E_a \sin(\alpha + \delta) = 134\text{ kN}$ 。

(2) 挡土墙稳定性验算

挡土墙每延米的重力 $G = 425\text{ kN}$, 到墙趾的力臂 $Z_G = 2.11\text{ m}$ 。主动土压力 E_a 到墙趾的距离 $Z_x = 4.09\text{ m}$, $Z_y = 1.65\text{ m}$ 。

① 抗滑稳定性验算

抗滑稳定应该满足下列方程, 由于土压力增大对挡土墙结构起不利作用, 所以 $\gamma_{Q1} = 1.4$, 可以得到:

$[1.1G + \gamma_{Q1}(E_y + E_x \tan\alpha_0)]\mu + (1.1G + \gamma_{Q1}E_y) \times \tan\alpha_0 - \gamma_{Q1}E_x = 147\text{ kN} > 0$ 。

$K_c = \frac{[N + E_x \tan\alpha_0]\mu}{E_x - N \tan\alpha_0} = 3 > 1.3$, 抗滑稳定性系

数满足要求。

② 抗倾覆稳定性验算

倾覆稳定性方程:

$0.8GZ_G + \gamma_{Q1}(E_y Z_x - E_x Z_y) = 979\text{ kN}\cdot\text{m} > 0$ 。

$K_0 = \frac{GZ_G + E_y Z_x}{E_x Z_y} = 4 > 1.5$, 抗倾覆稳定性系数

满足要求。

(3) 合力偏心距及基底应力验算

作用于基底中心处的力矩组合为:

$M_d = G \times (Z_G - B/2) + E_y \times (Z_x - B/2) - E_x \times (Z_y + 0.948/2) = -350\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

作用于倾斜基底的轴向力组合为: $N_d = (G + E_y) \cos\alpha_0 + E_x \sin\alpha_0 = 596\text{ kN}$ 。

基底合力偏心距 $e_0 = \left|\frac{M_d}{N_d}\right| = 0.59\text{ m} < B'/6$, B' 为倾斜基底的宽度, 合力偏心距满足要求。

$\sigma_{\max} = \frac{N_d}{A} \left(1 + \frac{6e_0}{B'}\right) = 214\text{ kPa} < f_a = 400\text{ kPa}$, 基底应力满足要求。

基底平均压应力: $P = \frac{N_d}{A} = 126\text{ kPa}$ 。

地基承载应力抗力值: $f = f_a + k_1 \gamma_1 (B - 3) + k_2 \gamma_2 (h_d - 0.5) = 499.6\text{ kPa}$, 基底应力的设计值不超过地基承载力的抗力值, 因此地基承载力满足要求。

(4) A-A 截面强度和稳定性验算

根据土压力分布图可以得到 A-A 截面以上挡土墙每延米受到的土压力 $E_A = 162\text{ kN}$, 分量为 $E_{xA} = 138\text{ kN}$, $E_{yA} = 85\text{ kN}$, 到 A-A 截面墙趾的距离分别为 $Z_x = 2.96\text{ m}$, $Z_y = 2.03\text{ m}$ 。截面以上的墙身每延米的自重为 $G_A = 312\text{ kN}$, 重力到截面墙趾的距离 $Z_G = 1.56\text{ m}$, A-A 截面宽度 $B_A = 3.47\text{ m}$ 。

轴向应力: $\sum N_A = G_A + E_{yA} = 397\text{ kN}$ 。

基底法向力 $\sum N_A$ 对截面墙趾的力臂 $Z_{nA} = \frac{G_A Z_G + E_{yA} Z_x - E_{xA} Z_y}{\sum N_A} = 1.15\text{ m}$ 。

合力偏心距: $e_A = \frac{B_A}{2} - Z_{nA} = 0.585\text{ m} > \frac{B_A}{6}$, 所以算得最大法向应力 $\sigma_{A\max} = 230\text{ kPa}$ 。

水平方向剪应力 $\tau_A = \frac{E_{xA}}{B_A} = 40\text{ kPa}$ 。

正截面强度计算:

$$\gamma_0 N_d = 417 \text{ kN} \leq \frac{\alpha_k AR_a}{\gamma_f} = 780 \text{ kN}。其中: \alpha_k =$$

$$\frac{1 - 256 \left(\frac{e_A}{B_A} \right)^8}{1 + 12 \left(\frac{e_A}{B_A} \right)^2} = 0.75; R_a \text{ 为材料抗压极限强度。}$$

截面稳定计算:

$$\gamma_0 N_d = 417 \text{ kN} \leq \frac{\Psi_k \alpha_k AR_a}{\gamma_f} = 779 \text{ kN}, \text{ 偏心受压。}$$

$$其中: \Psi_k = \frac{1}{1 + \alpha_s \frac{2H}{B} \left(\frac{2H}{B} - 3 \right) \left[1 + 16 \left(\frac{e_0}{B} \right)^2 \right]}。$$

由上可知,截面的强度和稳定满足要求。

2.2.2 荷载组合Ⅲ条件下挡土墙验算

荷载组合Ⅲ是考虑组合Ⅱ的基础上,与其他可变荷载、偶然荷载相结合。该案例挡土墙处于地震高发区,因此需要考虑地震作用对挡土墙影响,地震作用计算产生的水平地震力较小,在验算中忽略。

(1) 计算地震土压力 E_s 。

根据式(1)计算地震角 $\theta_s = 2.15^\circ$,根据式(2)计算每延米地震土压力 $E_s = 275 \text{ kN}$ 。 $E_{sx} = 235 \text{ kN/m}$, $E_{sy} = 144 \text{ kN}$, $Z_x = 4.09 \text{ m}$, $Z_y = 1.65 \text{ m}$ 。

(2) 稳定性验算

① 抗滑稳定性验算

滑动稳定应该满足下列方程,根据表 3,可得 $\gamma_{Q1} = 1.3$,则有:

$$[1.1G + \gamma_{Q1} (E_{sy} + E_{sx} \tan \alpha_0)] \mu + (1.1G + \gamma_{Q1} E_{sy}) \times \tan \alpha_0 - \gamma_{Q1} E_{sx} = 151 \text{ kN} > 0。$$

$$K_c = \frac{[N + E_{sx} \tan \alpha_0] \mu}{E_{sx} - N \tan \alpha_0} = 2.7 > 1.3, \text{ 抗滑稳定性}$$

系数满足要求。

② 抗倾覆稳定性验算

倾覆稳定性方程为:

$$0.8GZ_G + \gamma_{Q1} (E_{sy} Z_x - E_{sx} Z_y) = 978 \text{ kN} \cdot \text{m} > 0。$$

$$K_0 = \frac{GZ_G + E_{sy} Z_x}{E_{sx} Z_y} = 3.8 > 1.3, \text{ 抗倾覆稳定性系}$$

数满足要求。

(3) 合力偏心距及基底应力验算

作用于基底中心处的力矩组合为:

$$M_d = G \times (Z_G - B/2) + E_{sy} \times (Z_x - B/2) - E_{sx} \times (Z_y + 0.948/2) = -362 \text{ kN} \cdot \text{m}。$$

作用于倾斜基底的轴向力组合为: $N_d = (G + E_{sy}) \cos \alpha_0 + E_{sx} \sin \alpha_0 = 609 \text{ kN}。$

$$\text{基底合力偏心距 } e_0 = \left| \frac{M_d}{N_d} \right| = 0.59 \text{ m} < B'/6, \text{ 合}$$

力偏心距满足要求。

$$\sigma_{\max} = \frac{N_d}{A} \left(1 + \frac{6e_0}{B'} \right) = 218 \text{ kPa} < [\sigma] = 400 \text{ kPa},$$

基底应力满足要求。

$$\text{基底平均压应力: } P = \frac{N_d}{A} = 129 \text{ kPa}, \text{ 地基承载力}$$

抗力值: $f = 499.6 \text{ kPa}$, 基底应力的设计值不超过地基承载力的抗力值,因此地基承载力足够。

(4) A-A 截面强度和稳定性验算

A-A 截面以上挡土墙每延米受到的土压力分量为 $E_{xA} = 121 \text{ kN}$, $E_{yA} = 90 \text{ kN}$ 。

$$\text{轴向应力: } \sum N_A = G_A + E_{yA} = 402 \text{ kN}。$$

$$\text{基底法向力 } \sum N_A \text{ 对截面墙趾的力臂 } Z_{nA} = \frac{G_A Z_G + E_{yA} Z_{xA} - E_{xA} Z_{yA}}{\sum N_A} = 1.26 \text{ m}。$$

$$\text{合力偏心距: } e_A = \frac{B_A}{2} - Z_{nA} = 0.475 \text{ m} < \frac{B_A}{6}, \text{ 可}$$

以算得最大法向应力 $\sigma_{A\max} = 211 \text{ kPa}。$

$$\text{水平方向剪应力 } \tau_A = \frac{E_{xA}}{B_A} = 35 \text{ kPa}。$$

正截面强度计算:

$$\gamma_0 N_d = 422 \text{ kN} \leq \frac{\alpha_k AR_a}{\gamma_f} = 855 \text{ kN}。$$

截面稳定计算:

$$\gamma_0 N_d = 422 \text{ kN} \leq \frac{\Psi_k \alpha_k AR_a}{\gamma_f} = 854 \text{ kN}。$$

截面的强度和稳定满足要求。

2.3 应用法国设计规范进行重力式挡土墙验算

2.3.1 ELU 荷载组合条件下挡土墙验算

ELU 荷载组合条件下挡土墙验算需要考虑长期荷载以及常规活载的作用,同时法国设计规范重力式挡土墙计算一般假定 $\delta = 0^\circ$,计算得破裂角 $\theta = 20.5^\circ$,挡土墙每延米的主动土压力 $E_a = 273 \text{ kN}。$

采用容许应力法进行验算,计算可得抗滑稳定性系数 $K_c = 2.8$,抗倾覆稳定性系数 $K_0 = 3.8$;合力偏心距 $e_0 = 0.59 \text{ m}$,基底应力 $\sigma_{\max} = \frac{N_d}{A} \left(1 + \frac{6e_0}{B'} \right) = 224 \text{ kPa} < f_a$ 满足要求。

A-A 截面强度验算,计算得轴向应力 $\sum N_A =$

401 kN。合力偏心距 $e_A=0.595\text{ m}<\frac{B_A}{6}$,所以算得最大法向应力 $\sigma_{A\max}=234\text{ kPa}$ 。水平方向剪应力 $\tau_A=\frac{E_{xA}}{B_A}=40\text{ kPa}$ 。

2.3.2 ELA 荷载组合条件下挡土墙验算

在 ELA 荷载组合条件下,需要考虑地震作用对挡土墙设计的影响,采用动态法进行验算,但是不需要考虑连续荷载的影响。

(1) 计算地震土压力

地震加速度系数 $A=0.15, K_h=0.15, K_v=0.075$,根据式(3)计算可得地震角 $\theta_s(+)=7.91^\circ, \theta_s(-)=9.21^\circ$ 。

以地震角 $\theta_s(+)=7.91^\circ$ 的情况进行验算,根据式(4)计算每延米地震土压力 $E_s=288\text{ kN}$ 。

根据式(5)可得横向地震力 $F_x=64\text{ kN}$,竖向地震力 $F_y=44.6\text{ kN}$ 。

(2) 稳定性验算

抗滑稳定性系数 $K_c=1.8>1.2$,抗倾覆稳定性系数 $K_0=2.9>1.3$,抗滑及抗倾覆稳定性满足要求。

(3) 基底应力及合力偏心距验算

合力偏心距 $e_0=0.83\text{ m}>\frac{B'}{6}$,基底应力 $\sigma_{\max}=$

$$\frac{2\sum N}{3\left(\frac{B'}{2}-e_0\right)}=293\text{ kPa}<f_a$$
 满足要求。

(4) A—A 截面强度验算

基底法向力 $\sum N=433\text{ kN}$,合力偏心距 $e_0=0.645\text{ m}>\frac{B_A}{6}$,截面最大法向应力 $\sigma_{A\max}=265\text{ kPa}$,水平方向剪应力 $\tau_A=55\text{ kPa}$ 。

2.4 中法重力式挡土墙计算结果对比

中法重力式挡土墙计算结果对比见表 7。

表 7 挡土墙计算结果

荷载组合		每延米土压力 E/kN	抗滑移系数	抗倾覆系数	基底应力 P/kPa	A—A 截面				
						轴向力/ kN	压应力 σ/kPa	剪应力/ kPa	正截面强度/ kN	稳定计 算/ kN
法国设计 规范	ELU	273	2.8	3.8	224	401	234	40		
	ELA+	288	1.8	2.9	293	433	265	55		
	ELA—	247	2.1	3.1	275	420	293	49		
中国设计 规范	组合Ⅱ	259	3.0	4.0	214	397	230	40	417(780)	417(779)
	组合Ⅲ	275	2.7	3.8	218	402	211	35	422(855)	422(854)

注:括号内为按照规范计算的 A—A 截面强度与稳定计算的最大抗力值;括号外为挡墙实际受到的截面强度与稳定性计算的荷载值。

该挡土墙计算案例中,挡土墙主要受到挡墙自重、主动土压力、车辆均布荷载以及地震作用的影响。中国设计规范荷载组合Ⅱ和法国设计规范荷载 ELU 组合考虑荷载组合形式相同。在主动土压力计算中,法国设计规范假定墙背光滑,因此算得内力和应力值要大于中国设计规范,抗滑和抗倾覆系数计算值小于中国设计规范。

在考虑地震作用对挡土墙设计影响时,中法设计规范中挡土墙验算的侧重点不同。中国设计规范荷载组合Ⅲ是在组合Ⅱ的基础上,同时考虑地震作用对挡墙稳定性的影响,没有考虑竖向地震加速度的影响,水平向地震力较小。而法国设计规范 ELA 组合忽略了均布荷载的影响,着重考虑地震力的作用,而且地震角

考虑了水平和竖向地震加速度的影响分别验算。通过表 7 可以看出:应用法国设计规范 ELA+ 荷载组合计算的内力和应力值大于应用中国设计规范计算的结果。

在稳定性验算以及 A—A 截面强度和稳定性验算中,法国设计规范主要以容许应力法为主;中国设计规范同时考虑极限状态验算法和容许应力法。

3 结论

(1) 中国和法国设计规范对挡土墙的设计流程基本相同。中国设计规范以极限状态设计的分项系数法为主、以容许应力法为辅。法国设计规范则以容许应

力法为主要的验算方法。

(2) 在荷载组合方面,中法设计规范考虑的侧重点不同。法国设计规范的 ELS 组合以及 ELU 组合都考虑了常规荷载的作用,而中国设计规范组合 I 只考虑了永久荷载的作用;在考虑偶然荷载组合时,中国设计规范是在荷载组合 II 的基础上考虑偶然荷载,而法国设计规范 ELA 是常规荷载和偶然荷载的组合。

(3) 中法设计规范都采用库仑土压力方法计算土压力,设计参数取值基本相同,挡土墙墙背内摩擦角假设不同。计算地震土压力时,法国考虑水平和垂直地震加速度系数的影响,同时考虑地震作用产生的横向及竖向地震力,而中国设计规范只考虑水平向加速度及水平地震力的影响。

(4) 中法设计规范中对于挡土墙验算内容基本相同,但是稳定性系数要求不同。

(5) 以挡土墙工程实例为依托,应用中国和法国设计规范分别计算挡土墙土压力、抗滑和抗倾覆稳定性系数、基底应力以及合力偏心距,结果发现应用法国设计规范计算的挡土墙承受的土压力比中国设计规范计算的值偏大。

参考文献:

- [1] 丁小军,王佐.法中公路设计标准、规范的差异比较[J].公路,2008,53(9):7—14.
- [2] 郭喜,王弘一.中法公路施工部分规范的区别简析[J].科技资讯,2016,14(16):63—66.
- [3] 张青宇.中、法岩土规范岩土体分类对比分析[J].水电站设计,2016,32(3):65—69.
- [4] 江涛.阿尔及利亚贝贾亚高速公路可压缩土的地基处理设计[J].中外公路,2017,37(1):10—14.
- [5] 齐元新.中国与法国规范下土方填料分类及使用条件对

比[J].铁道建筑技术,2013,50(3):39—43.

- [6] 蒋伟,刘锋.中、法两国规范下挡土墙设计的主要差异比较[J].中外公路,2009,29(4):309—312.
- [7] 刘军勇,张发如,尹利华.对欧洲公路重力式挡土墙的设计分析[J].路基工程,2011(3):155—158.
- [8] 张海龙,王书伏.东西高速公路桩基承台挡墙设计[J].中外公路,2009,29(4):289—292.
- [9] 周大全,杨铁山.基于法国规范的混凝土预制块墙面板加筋土挡土墙设计[J].路基工程,2014(5):61—67.
- [10] 陈忠达.公路挡土墙设计[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [11] Ministère français de l'ingénierie. Fondations et OU Vrages en terre [M],1991.
- [12] JTG D30—2004 公路路基设计规范[S].
- [13] Ministère de l' Equipement des Transports et du Logement. Cahier des Clauses Techniques Generals Applicables aux Marchés Publics de Travaux FASCICULE N°62—Titre [S].1991.
- [14] BAEL 91 Modifié 99 et DTU Associés J. — P. MOUGIN. Béton armé [S].2000.
- [15] J. PERCHAT, J. ROUX. Maitrise du BAEL 91 et des DUT Associés [S].2000.
- [16] JTJ 044—89 公路工程抗震设计规范[S].
- [17] 法国工程部 SETAR 抗震区桥梁设计指南[S].
- [18] SNCF/CETE/SETRA. PONTS COURANTS EN ZONE SISMIQUE GUIDE DE CONCEPTION [M]. PARIS:Ministère de l' Equipement des Transports et du logement,2000.
- [19] AFNOR. Eurocode 8—Conception et Dimensionnement des Structures Pour Leur Résistance Aux séismes et Document d' Application Nationale — Partie 5: Fondations, Ourrages de Soutènement et Aspects Géotechniques[S].