

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.01.022

# 中国、印度、孟加拉规范设计地震反应谱比较

黄丹

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州市 510663)

**摘要:** 介绍和分析了中国、印度、孟加拉现行规范的设计地震反应谱计算方法, 对设计反应谱的重现期、地面运动加速度峰值、场地土分类原则、结构响应折减系数、重要性系数等影响设计反应谱取值的参数进行了讨论, 并就几种典型情况下的三种反应谱取值进行了比较, 分析了对比较结果影响较大的因素。

**关键词:** 中国规范; 印度规范; 孟加拉规范; 设计地震反应谱; 比较

中图分类号: TU311

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)01-0105-05

## Comparison of Design Seismic Response Spectrum of Chinese, India and Bangladesh Codes

HUANG Dan

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** This article introduced and analyzed the design seismic response spectrum of present China, India, Bangladesh codes, discussed the parameters that affect design response spectrum, i. e. return period of design response spectrum, peak ground acceleration, site classification principle, structure response reduction factor, importance factor etc. It also compared these three response spectrums under certain circumstances, and analysed the factors that greatly affect comparison result.

**Key words:** China code; India code; Bangladesh code; design seismic response spectrum; comparison

随着国内设计院的海外工程越来越多, 国外规范的应用成为了国内设计院走出去所不得不面临的一道坎。印度、孟加拉基础建设落后, 是国内设计院承接工程的热点区域, 这两个国家的发电厂建设招标条文中, 经常要求采用当地的风荷载及地震荷载, 并采用该国标准或国际先进标准进行设计。因此了解印度、孟加拉规范中关于风荷载和地震荷载的计算规定, 对于走向海外的设计院来说是十分重要的, 本文将对印度和孟加拉规范中的地震荷载计算进行介绍, 并与中国规范进行对比。

印度和孟加拉规范中关于地震作用的规定是参照美国规范的体系制订的, 虽然现在中国 and 世界各国在抗震理念上都是相似的, 但由于体系的不同, 中国规范和印度、孟加拉规范从定义到计算公式都

有较大区别。本文以 2002 年版的印度抗震规范《Criteria For Earthquake Resistant Design of Structures》IS 1893: 2002 和 2010 年版的孟加拉建筑规范地震作用章节《Bangladesh National Building Code 2010》Part 6 为蓝本进行介绍。

### 1 设计基准地震

中国规范是按 50 年超越概率 10% 的基本烈度 (即中震) 将全国分为 6 度 ~ 9 度 4 个区, 地震作用根据每个区 50 年超越概率 63% 的众值烈度 (即小震) 的地面运动加速度峰值来进行计算的。印度规范中关于地震的概念有两个, 一个是最大考虑地震 MCE (Maximum Considered Earthquake), 其 50 年超越概率为 2%, 即相当于中国规范中的大震 (50 年超越概率 2%); 另一个是设计基准地震 DBE (Design Basis Earthquake), 其 50 年超越概率为 10%, 和中国规范的中震一致。印度全国根据 MCE 划分成 4 个区, 每个区有一个区域系数 Z, 其

收稿日期: 2015-10-01

作者简介: 黄丹 (1976), 男, 湖南长沙人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电厂土建结构设计 (e-mail) huangdan@gedi.com.cn。

值等于该区 MCE 的地面运动加速度峰值, 计算地震作用时把区域系数乘以 1/2, 将 MCE 转换为 DBE, 再进行一些系数修正来得出地震作用。印度规范的地震分区和相应区域系数 Z 见表 1。孟加拉规范和印度规范类似, 也是用 MCE(50 年超越概率 2%) 和 DBE 来衡量地震作用, 根据 MCE 把全国分成 4 个区, 计算地震作用时把区域系数乘以 2/3 得出 DBE, 再进行系数修正得出地震作用。对 DBE 的超越概率, 孟加拉规范未明确, 但根据笔者的孟加拉工程的经验, 基本可以认为 DBE 的超越概率为 10%~5%。孟加拉规范的地震分区和区域系数 Z 见表 2。

表 1 印度规范地震分区及区域系数 Z

Table 1 Seismic Zone and Zone Factor Z in India Code

地震分区	II	III	IV	V
危险性	低	中	高	极高
区域系数 Z	0.10	0.16	0.24	0.36

表注: 印度规范中没有 I 区。

表 2 孟加拉规范地震分区及区域系数 Z

Table 2 Seismic Zone and Zone Factor Z in Bangladesh Code

地震分区	1	2	3	4
危险性	低	中	高	极高
区域系数 Z	0.12	0.20	0.28	0.36

## 2 设计地震反应谱

图 1 是中国规范的设计地震反应谱曲线, 印度规范和孟加拉规范的设计地震反应谱曲线形状和中国规范是十分相似的, 区别仅在于具体数值的大小。中国规范中对反应谱曲线取值有影响的因素是场地特征周期、抗震设防烈度、结构阻尼比; 印度规范中对反应谱曲线取值有影响的因素是区域系数(相当于抗震设防烈度)、结构的重要性系数、结构的延性、结构阻尼比、场地土的坚硬程度; 孟加拉规范和印度规范类似。

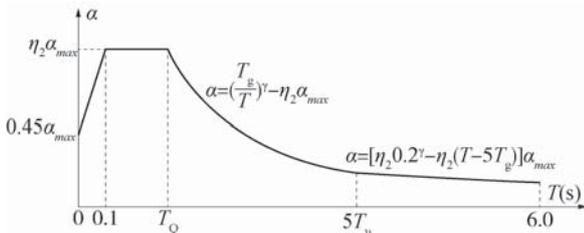


图 1 中国规范地震反应谱

Fig. 1 Seismic Response Spectrum in China Code

## 3 水平地震作用计算

中国规范和印度、孟加拉规范中都规定可以使用底部剪力法或其他动力计算方法(如振型分解反应谱法)来计算地震作用, 通过对结构底部总剪力的计算方法对比能很好的说明这几种规范之间的差异, 下面就以底部剪力法为例进行比较。

### 3.1 中国规范的计算方法

中国规范的计算公式为  $F_{EK} = \alpha_1 G_{eq}$ ,  $F_{EK}$  为地震基底剪力,  $\alpha_1$  为相应于结构基本自振周期的水平地震影响系数值,  $G_{eq}$  为结构等效总重力荷载,  $\alpha_1$  由图 1 的地震反应谱得出。

### 3.2 印度规范的计算方法

印度规范的计算公式为  $V_B = A_h W$ ,  $V_B$  为地震基底剪力,  $A_h$  为图 2 确定的水平加速度反应谱值,  $W$  为建筑物地震重量。  $A_h$  的表达式为:

$$A_h = \frac{Z I S_a}{2 R g} \quad (1)$$

式中:  $Z$  为区域系数,  $I$  为重要性系数, 取决于结构的功能用途,  $R$  为结构响应折减系数, 取决于结构的延性,  $S_a/g$  为场地的平均反应加速度系数, 按下式计算:

对岩石、坚硬场地土

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1 + 15T & 0.00 \leq T \leq 0.10 \\ 2.5 & 0.10 \leq T \leq 0.40 \\ 1.00/T & 0.40 \leq T \leq 4.00 \end{cases} \quad (2)$$

对中等坚硬场地土

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1 + 15T & 0.00 \leq T \leq 0.10 \\ 2.5 & 0.10 \leq T \leq 0.55 \\ 1.36/T & 0.55 \leq T \leq 4.00 \end{cases} \quad (3)$$

对软弱场地土

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1 + 15T & 0.00 \leq T \leq 0.10 \\ 2.5 & 0.10 \leq T \leq 0.67 \\ 1.67/T & 0.67 \leq T \leq 4.00 \end{cases} \quad (4)$$

式中:  $T$  为结构自振周期。

图 2 是印度规范 5% 阻尼比时不同场地土的  $S_a/g$  取值曲线, 当阻尼比不是 5% 时, 按规范乘以一定的比例系数。

### 3.3 孟加拉规范的计算方法

孟加拉规范的计算公式为  $V = S_a W$ ,  $V$  为基底剪力;  $S_a$  为图 3 确定的水平地震加速度反应谱值;  $W$  为建筑物地震重量。

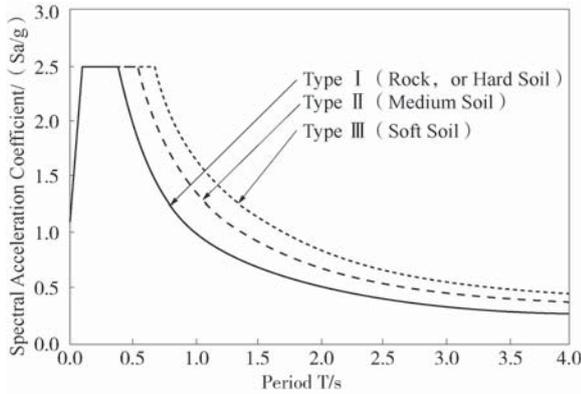


图 2 印度规范 Sa/g 取值曲线  
Fig. 2 Sa/g Curve in India Code

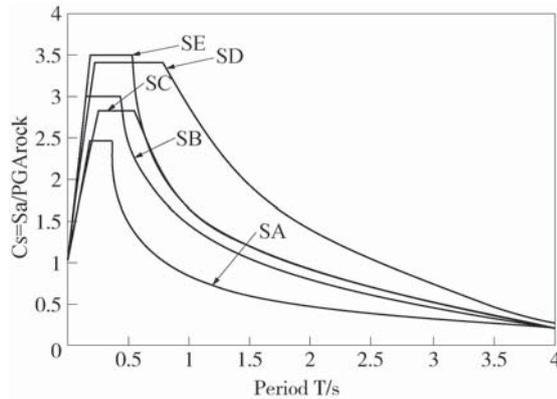


图 3 孟加拉规范不同场地土类别下的规范加速度反应谱  
Fig. 3 Normalized Acceleration Response Spectrum for Different Site Classes in Bangladesh Code

$S_a$  的表达式为：

$$S_a = \frac{2}{3} \frac{ZI}{R} C_s \quad (5)$$

式中： $Z$  为区域系数； $I$  为重要性系数，取决于结构的功能性用途； $R$  为结构响应折减系数，取决于结构的延性； $C_s$  为规范加速度反应谱，由场地类别和结构阻尼确定（见图 3），按下式计算：

$$C_s = S \left( 1 + \frac{T}{T_g} (2.5\eta - 1) \right), 0 \leq T \leq T_g \quad (6)$$

$$C_s = 2.5S\eta, T_B \leq T \leq T_C \quad (7)$$

$$C_s = 2.5S\eta \left( \frac{T_C}{T} \right), T_C \leq T \leq T_D \quad (8)$$

$$C_s = 2.5S\eta \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right), T_D \leq T \leq 4s \quad (9)$$

式中： $S$  为场地土系数； $T_B$ 、 $T_C$ 、 $T_D$  为由场地土决定的常数，按表 3 取值； $\eta$  为阻尼修正系数，当阻尼比为 5% 时， $\eta = 1$ ，阻尼比为其它值时， $\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0.55$ ； $\xi$  为结构阻尼比。

表 3 由场地土决定的常数

Table 3 Site Dependent Constant

场地土类别	S	$T_B/s$	$T_C/s$	$T_D/s$
SA	1.0	0.15	0.40	2.0
SB	1.2	0.15	0.50	2.0
SC	1.15	0.20	0.60	2.0
SD	1.35	0.20	0.80	2.0
SE	1.4	0.15	0.50	2.0

### 3.4 场地土类别的判定方法比较

地震作用计算中，场地土类别的判定是影响地震作用大小的重要因素。中国规范判定场地类别是根据土层剪切波速和场地覆盖层厚度划分的，印度规范按照标贯击数划分，孟加拉规范则按照土层剪切波速、标准贯入度和不排水剪切强度综合判定。

从表 4~表 6 可以看出，中、印、孟三国规范对于场地分类的标准虽不尽相同，但总体来说是类似的，仅在具体数值上有一些差别。

表 4 中国规范的场地分类

Table 4 Site Classification in Chinese Code

剪切波速	场地类别				
	I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	II	III	IV
$V_s > 800$	0				
$800 \geq V_s > 500$		0			
$500 \geq V_{se} > 250$		<5	$\geq 5$		
$250 \geq V_{se} > 150$		<3	3~50	>50	
$V_{se} \leq 150$		<3	3~15	15~80	>80

表注：表中数据为覆盖层厚度。

表 5 印度规范的场地分类

Table 5 Site Classification in India Code

场地类别	岩石、坚硬场地	中等坚硬场地	软弱场地
标贯击数	$N > 30$	$30 \geq N \geq 10$	$N < 10$

表 6 孟加拉规范的场地分类

Table 6 Site Classification in Bangladesh Code

场地类别	30 m 深度覆盖层的性质描述	30 m 深度范围土的平均属性		
		剪切波速 / (m/s)	标贯击数 / (击/30 cm)	不排水剪切强度/kPa
SA	岩石或类岩石	>800	-	-
SB	非常致密的砂石或粘土	360~800	>50	>250
SC	致密或中等致密的砂石或粘土	180~360	15~50	70~250
SD	松散的砂石或粘土	<180	<15	<70
SE	类似淤泥的土	-	-	-

## 4 中印孟规范设计地震反应谱的定量比较

为了使中、印、孟三国的设计地震反应谱有一个直观的比较,以下对不同的电厂主厂房结构形式、不同地震烈度和不同场地土类别画出三种规范的反应谱曲线进行比较。由于中国规范的设计反应谱是直接取小震下的反应谱,而印、孟规范的设计反应谱是取大震下的反应谱 MCE 折减到中震反应谱 DBE,再考虑结构延性折减为最终的设计反应谱,表面上看二者的地震不在同一概率水平,但实际上,中国规范的设计反应谱可以理解为大震反应谱乘以 0.4~0.6 的折减系数折减到中震反应谱,再除以折减系数约 2.9 折减为设计反应谱,和印、孟规范的两次折减相似。由于中、印、孟三国的大震概率水平相当,因此选取中国规范的反应谱时,按大震下地面运动加速度峰值与印、孟规范基本一致的原则,可以保证三国规范的反应谱具有可比性。

### 4.1 第一组比较

第一组比较,取硬土地上的普通混凝土框架结构。中国规范取 7 度区,大震峰值加速度为 0.22 g,印度规范中与之较接近的是 IV 区,大震峰值加速度 0.24 g(即  $Z=0.24$ ),孟加拉规范中较接近的是 2 区,大震峰值加速度 0.20 g(即  $Z=0.20$ )。印度规范和孟加拉规范中都有重要性系数  $I$  和结构响应折减系数  $R$ ,在中国规范 GB 50011 中没有规定。根据印、孟规范中的定义,电厂主厂房的重要性系数  $I$  两种规范均取为 1.5,特殊混凝土框架结构(SMRF)的结构响应折减系数  $R$  印度规范取为 5,孟加拉规范取为 8。混凝土结构阻尼比  $\xi$  三种规范均为 0.05。画出第一组曲线如图 4。

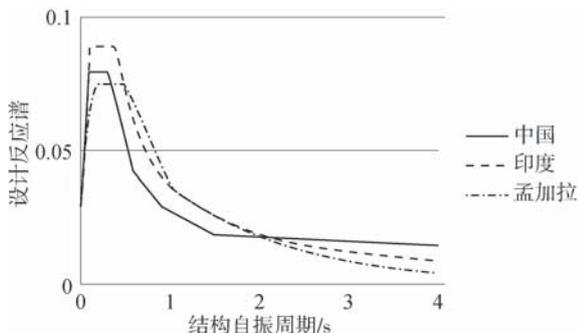


图 4 7 度硬土地混凝土框架反应谱

Fig. 4 Response Spectrum for Concrete Moment Resisting Frame at Hard Soil Site, Fortification Intensity 7

### 4.2 第二组比较

第二组比较,取软土地上的普通混凝土框架结构。中国规范取 8 度区,大震峰值加速度为 0.4 g,印度规范中较接近的是 V 区,大震峰值加速度 0.36 g(即  $Z=0.36$ );孟加拉规范中较接近的是 4 区,大震峰值加速度 0.36 g(即  $Z=0.36$ )。其它的参数和第一组取值相同。画出第二组曲线如图 5。

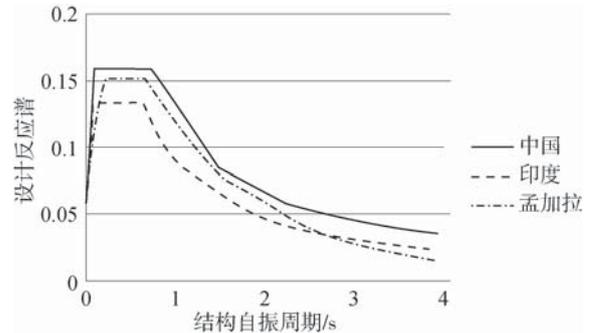


图 5 8 度软土地混凝土框架反应谱

Fig. 5 Response Spectrum for Concrete Moment Resisting Frame at Soft Soil Site, Fortification Intensity 8

### 4.3 第三组比较

第三组比较,取硬土地上的中心支撑钢框架,除结构响应折减系数  $R$  和结构阻尼比  $\xi$  外,其它参数取值同第一组。对于中心支撑钢框架,印度规范的  $R$  取为 4,孟加拉规范取为 6。电厂主厂房的高度一般在 50 米左右,2010 版中国抗震规范中其结构阻尼比  $\xi$  为 0.03,印度、孟加拉规范中钢结构的阻尼比均取为 0.02。画出第三组曲线如图 6。

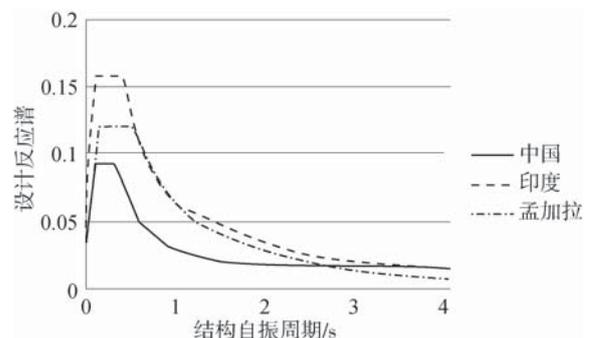


图 6 7 度硬土地中心支撑钢框架反应谱

Fig. 6 Response Spectrum for Steel Frame with Concentric Braces at Hard Soil Site, Fortification Intensity 7

### 4.4 第四组比较

第四组比较,取软土地上的中心支撑钢框架,地震烈度同第二组, $R$  和  $\xi$  同第三组,画出第四组曲线如图 7。

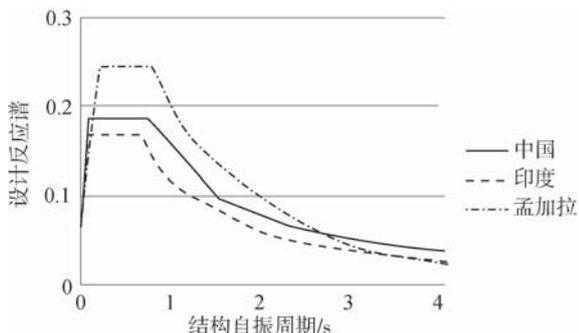


图 7 8 度软土地中心支撑钢框架反应谱

Fig. 7 Response Spectrum for Steel Frame with Concentric Braces at Soft Soil Site, Fortification Intensity 8

### 5 结论

从四组曲线的对比可看出，当地震烈度基本一致时，混凝土框架采用符合抗震构造措施的特殊混凝土框架(SMRF)，印、孟规范的设计地震反应谱与中国规范比较接近；而对于中心支撑钢框架结构，根据烈度不同，中国规范和印、孟规范有 40%~90% 的差别。需要说明的是，印度和孟加拉规范中的重要性系数  $I$  对设计反应谱影响很大，由于印、孟规范都将电厂定义为重要建筑，规定  $I$  值取 1.5，因此会出现中心支撑钢框架结构设计反应谱比中国规范大比较多的情况，如果  $I$  值取为普通建筑的 1.0，则印、孟规范的取值可以在图 4~图 7 的基础上直接除以 1.5，混凝土框架结构的反应谱中国规范应可以包络印、孟规范，中心支撑钢框架结构的反应谱三国规范会比较接近。由于印、孟规范中都只是笼统的将电厂列为  $I=1.5$  的重要建筑，并无细分电厂中主要建筑物和辅助建筑物的重要性等级，因此在具体设计时，电厂辅助建筑物的重要性系数值得商榷。另外，印、孟规范的结构响应折减系数  $R$  对反应谱的取值也有较大影响，当采用延性较好的结构形式，如混凝土结构采用剪力墙，钢结构采用偏心支撑，设计地震反应谱跟中国规范接近或稍小；如采用延性较差的普通框架结构，则印、

孟规范的设计地震反应谱会明显大于中国规范。

从以上对比中可以看出，由于中、印、孟三国规范体系差异较大，影响设计地震反应谱的因素也多，因此不存在单纯的哪国规范取值大或小的规律，即使是同一烈度同一场地，中国规范的设计反应谱既可能大于也可能小于印、孟规范，这取决于建筑物的使用用途和结构形式。在进行相同建筑物不同规范的工程量比较时，还要考虑其它如荷载取值、荷载组合、构件验算上的规范差异，仅从设计输入上进行比较是片面的，可能会导致完全相反的结果。

### 参考文献：

[1] GB 50011—2010, 建筑抗震设计规范[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2010.  
GB 50011—2010, Code for Seismic Design of Buildings[J]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.

[2] IS 1893 (Part1): 2002, Criteria For Earthquake Resistant Design of Structures, Part 1, General Provisions and Buildings[S]. New Delhi: Bureau of Indian Standards, 2002.

[3] IS 1893 (Part4): 2002, Criteria For Earthquake Resistant Design of Structures, Part 4, Industrial Structures Including Stack-like Structures[S]. New Delhi: Bureau of Indian Standards, 2002.

[4] Bangladesh National Building Code 2010[S]. Dhaka: Ministry of Housing and Public Works, 2010.

[5] 刘刚. 中国与印度抗震设计规范地震计算的比较分析[J]. 钢结构, 2011, 26(2): 38-41.  
LIU Gang. Analysis and Comparison of Seismic Calculations Between Chinese and Indian Codes[J]. Steel Construction, 2011, 26(2): 38-41.

[6] 蔡晓光, 薄景山, 孙有为, 等. 亚洲部分国家抗震设防标准的比较研究[J]. 世界地震工程, 2010, 26(3): 54-59.  
CAI Xiaoguang, BO Jingshan, SUN Youwei, et al. Comparison of Seismic Fortification Criterion of Partial Asian Countries[J]. World Earthquake Engineering, 2010, 26(3): 54-59.

(责任编辑 林希平)

## 目次

越南永新一期火电厂工程..... 封二

越南沿海一期火电厂工程..... 封三

中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司..... 封底