

砖烟囱震害预测方法研究*

宋建学 李 杰

(土建系)

摘 要: 本文提出了砖烟囱震害预测的“简化模式法”, 结合对历史震害资料的分析, 给出了由典型烟囱的震害预测结果, 外推群体预测矩阵的一般方法。

关键词: 地震、烟囱、震害预测

中国图书分类号: TU352

烟囱是工业生产和人民生活中常见的构筑物, 由于其自身的材料原因和结构特点, 使得它们在历次地震中都有较严重的破坏, 给震后的迅速恢复造成困难。因此, 做好烟囱的震害预测工作是城市抗震防灾规划中不可缺少的一个方面。

在震害预测研究领域, 与其它类型的结构震害预测工作相比较, 对烟囱的研究相对薄弱, 目前, 国内提出的震害预测方法主要有两个, 其一是利用模糊隶属关系进行圆形砖烟囱的震害预测^[1]; 其二是利用振型反应谱方法进行一般烟囱的震害预测计算^[2]。由于缺乏足够的, 有实用价值的历史震害资料, 从经验统计角度提出的震害预测公式尚未见及。我们在实际工作中发现, 上述两类震害预测方法有较大的局限性, 表现为: 模糊预测方法缺乏问题的针对性, 振型反应谱方法缺乏应用上的简明性, 并且, 两类方法都没有提出具有历史震害依据的群体震害多烈度推广方法。基于上述分析, 我们在现有研究工作基础上进一步提出了烟囱震害预测的“简化模式法”, 同时, 基于对大量宏观历史震害资料的分析, 提出了由典型构筑物的震害预测结果, 外推群体震害预测矩阵的一般方法。本文, 将对这些研究工作给出较详细的介绍。

1 震害预测简化模式法研究

1.1 单体烟囱震害危险系数的计算。

简化模式法的基本思路是: 根据新的抗震规范推荐的简化弯矩图法^[3], 计算烟囱的水平地震作用, 然后与竖向地震作用组合出每一截面可能的最大拉应力 σ , 根据 σ 与结构容许应力 $[\sigma]$ 的比值大小^[1], **来初步判定震害结果。最后, 根据场地土, 结构现状等因

* 收稿日期: 1990.11.27

** 注 (1): (σ) 是由砖与砂浆强度确定的结构抗拉容许应力, 具体取值方法参见 [4]。

素进行二次判别, 给出震害预测结果。其中, σ 与容许应力 $[\sigma]$ 的比值称为烟囱震害危险系数。其计算步骤是:

1.1.1 根据烟囱的高度, 截面变化次数, 每段长度等因素, 将烟囱适当分成几段, 自上而下依次编号为 1, 2, 3, ..., n, 选定每一段的下截面为复算截面。计算每个截面的几何特征, (面积 S_i , 抵抗矩 W_i 等), 求算每一段的自重, 然后累计求得每一复算截面的静态轴力 NO_i

$$NO_i = \sum_{j=1}^i G_j \quad (1)$$

其中: G_j 是第 j 段的自重。

1.1.2 计算烟囱的基本自振周期

一般烟囱可按下式计算它的基本自振周期:

$$T_1 = 0.26 + 0.0024H^2 / d \quad (2)$$

其中: H —自基础顶面算起的烟囱高度;

d —烟囱 $H/2$ 处的外径。

1.1.3 计算烟囱各复算截面的地震弯矩

烟囱底部的地震弯矩 M_0 :

$$M_0 = \alpha_1 \cdot G \cdot H_0 \quad (3)$$

其中: α_1 —相应于烟囱基本周期的水平地震影响系数;

G —烟囱重力代表值; H_0 —基础顶面到烟囱重心处的高度。

根据底部弯矩 M_0 可以得到烟囱各复算截面的地震弯矩 M_i 。

烟囱筒身的地震弯矩分布如图1所示。

1.1.4 竖向地震力的计算。如图2所示。

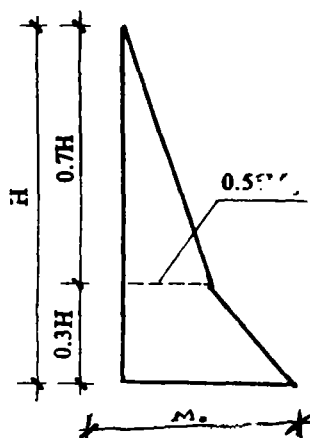
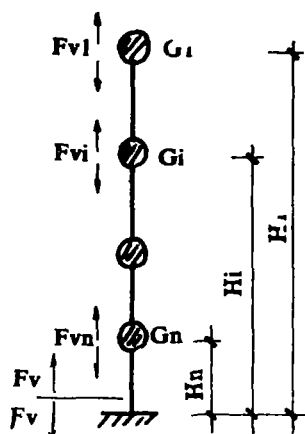


图1

$$F_v = \alpha_{vmax} \cdot \gamma_{EV} \cdot C_{EV} \cdot G_{eq} \quad (4)$$



其中: F_v —烟囱受到的总的竖向地震力;

α_{vmax} —竖向地震影响系数最大值; γ_{EV} —竖向地震作用分项系数;

C_{EV} —竖向地震作用效应增大系数; G_{eq} —结构等效总重量。

由式 (5) 可以计算每一段受到的竖向地震力。

$$F_{vi} = \frac{G_i H_i}{\sum_j G_j H_j} F_v \quad (5)$$

由式 (6) 计算每个复算截面以上全部竖向地震作用之和。

$$\sum F_i = \sum_{j=1}^i F_{vj} \quad (6)$$

$$1.1.5 \text{ 各复算截面可能的最小轴力 } N_i \quad N_i = NO_i - \sum F_i \quad (7)$$

$$1.1.6 \text{ 各复算截面的最大拉应力值 } \sigma_i \quad \sigma_i = \frac{N_i}{S_i} - \frac{\gamma M_i}{W_i} \quad (8)$$

其中: S_i —各截面面积; W_i —各截面抵抗矩;

γ —弯矩作用的效应系数。

1.1.7 计算各复算截面的地震危险系数 λ_i

$$\lambda_i = \frac{|\sigma|}{[\sigma]} \quad (\sigma < 0) \quad (9)$$

当 $\sigma > 0$ 时, 表明该截面在地震力作用下, 仍处于压应力状态, 不致产生破坏, 此时 λ 值为 0; 当 $\sigma < 0$ 时, 表明在地震力作用下该截面已由压应力状态变成拉应力状态, 有了开裂破坏的可能。 λ 值与震害的一般关系见本文第 3 部分。

1.2 砖烟囱震害分类标准

目前, 国内外对烟囱震害等级尚没有统一的划分, 对这方面的研究也不充分, 我们是从方便实用的观点出发, 并考虑到加固, 进行经济损失估计以及震后修复的需要, 参照文献[2]采用的分类方法, 确定烟囱的震害分类标准如表 1。

表 1: 烟囱震害分类标准

震害程度	震 害 宏 观 特 征	震害指数
基本完好	无损伤或有极细微的裂缝	0
轻微破坏	出现细裂缝, 稍加修补或不加修补就可使用	0.25
中等破坏	有明显裂缝或轻微错位, 局部酥裂鼓肚, 需要进行加固或修理方可继续使用	0.50
严重破坏	筒身有严重的开裂, 错位或酥裂、鼓肚等破坏或顶部虽掉头而残体上却无明显裂缝和其他破坏, 须拆除破坏部分重建	0.75
倒 塌	烟囱掉头, 筒身折断, 残体无修复价值或倒塌	1.0

1.3 烟囱震害判断标准

烟囱是一种高耸的工业构筑物，重心高，鞭梢效应明显，自振周期长，这是它结构上的特点；另外，砖砌体抗拉强度低，材料脆，变形能力差，这是材料方面的特点。由于上述两方面的特点，造成了烟囱在地震中的大量破坏。

分析烟囱的破坏形式，总结大量烟囱的震害经验，可以发现砖烟囱中起控制作用的是通缝抗拉强度，从而确定可以按照复算截面的最大拉应力 σ 与容许拉应力 $[\sigma]$ 的比值（地震危险系数 λ ）的大小来判断烟囱的破坏程度，根据我们掌握的震害资料，归纳总结出式 (10)：

$$\left. \begin{aligned} \lambda \leq 6.6 \quad i &= \frac{\lambda - 0.1}{6.5} \\ \lambda > 6.6 \quad i &= 1.0 \end{aligned} \right\} \tag{10}$$

其中：i—震害指数。

烟囱的破坏程度与震害指数关系如表 2。

表 2:

破坏程度	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	倒塌
震害指数	<0.10	<0.10 <0.35	>0.35 <0.60	>0.60 <0.90	>0.90

1.4 烟囱震害二次判别修正

影响烟囱震害的因素除强度外还有加固情况、新旧程度、现状、内衬高度等因素。如果仅从强度考虑一次判定，可能失之偏颇，有时会有明显的错误，特别是加固的材料、方案，施工质量等会对烟囱的震害情况起很大的影响。因此，在进行烟囱的震害分析时，还必须以现场调查的结果为依据，对计算结果进行修正，做出二次判断，现归纳对烟囱震害有显著影响的几个因素，并根据我们的研究工作，提出建议的二次判别标准。

1.4.1 加固情况 震害经验表明经过加固的烟囱震害比没有加固的要轻得多，采用钢板的格网加固方案，效果是明显的。根据我们对不同烈度下 14 座加固后的烟囱的震害情况和相应烈度下的共 117 座烟囱的对比分析，得到经验关系，同时，考虑到一定的安全储备，建议加固效应系数 m 取值如表 3：

$$m = \text{加固后的震害指数} / \text{不加固的震害指数} \tag{11}$$

表 3：加固效应系数 m

烈度	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ	X
m	0.601	0.622	0.718	0.887

1.4.2 老旧程度 老旧程度对烟囱的破坏程度有一定的影响。年代越久，结构的抗震能力越低。这是因为，年代久远，烟囱受侵蚀和风化，强度会有很大降低。根据老旧程度可以对震害指数做不超过半个震害等级的数值调整。

1.4.3 现状 有些烟囱长期处于有害气体的侵蚀之中，或由于内衬破裂使得腐蚀性

气体直接危害筒壁, 都能降低砂浆标号。另外, 由于烟囱的内外温差, 常造成烟囱的温度裂缝, 这些裂缝降低了烟囱的抗震性能, 对烟囱的破坏程度有显著影响。根据烟囱现状, 应该对烟囱的震害指数做出不超过一个震害等级的数值调整。

2 烟囱群体震害预测矩阵推广方法的研究

根据对烟囱历史震害资料的整理工作, 我们认为:

2.1 一个城市在遭受某次地震时, 所有烟囱的震害指数分布可以近似地按正态分布来拟合。即:

$$\varphi(i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot e^{-\frac{(i-a)^2}{2\sigma^2}} \quad (12)$$

如图 3 所示。

2.2 对于某一特定城市的烟囱群体来说, 方差 σ 是烟囱群体属性决定的, 是个常数; 而数学期望值 a 则是由地震烈度决定的。不同烈度下, 震害曲线在形状不变的情况下沿 i 轴平移。如图 4 所示。

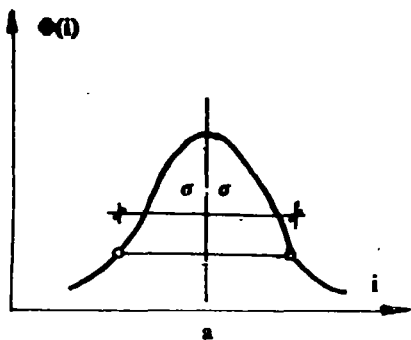


图 3

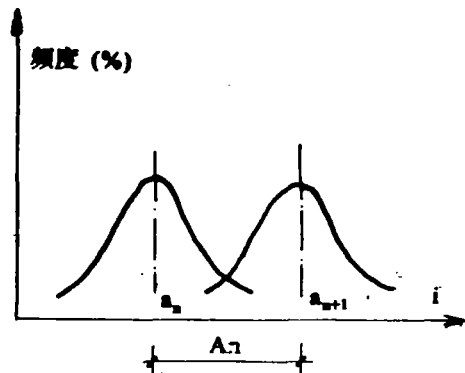


图 4

称两个相邻烈度下震害指数的数学期望值之差叫级差 A_n :

$$A_n = a_{n+1} - a_n \quad (13)$$

2.3 不同的城市具有不同的烟囱群体, 在遭遇到相同烈度的地震袭击时, 数学期望 a_n 可能不同; 但对应的级差 A_n 基本上是相同的。

在上述思想指导下, 我们分析处理了历史地震中分别处于Ⅶ度, Ⅷ度, Ⅸ度三种烈度背景下的 688 个烟囱震害实例, 得到了级差 A_7, A_8 :

$$A_7 = 0.206 \quad A_8 = 0.187$$

根据典型砖烟囱震害预测结果可以确定期望值 a_8 , 再结合预测小区的场地土状况、烟囱群体特征确定方差 σ , 就可得出砖烟囱群体在Ⅷ度下的震害预测曲线。然后, 根据上述平移原则, 得出相邻烈度下的群体震害预测曲线。根据震害指数的划分标准, 容易由震害预测曲线得出群体震害预测矩阵。

3 算 例

根据上述震害预测方法，我们具体进行了河南省鹤壁市的烟囱震害预测工作。根据现场调查结果，从 32 座烟囱调查资料中抽取了 14 座进行单体震害预测，结果如表 4。

将单体震害预测结果，推广为七、八、九三个烈度背景下的群体震害预测矩阵，结果如表 5。

以平均震害指数分析，上述计算结果符合历史地震的一般震害规律。

表 4 鹤壁市典型砖烟囱震害预测结果

编 号	名 称	高 度	预 测 结 果		
			7°	8°	9°
1	四矿烟囱	30	轻	中	严
2	矿务局电厂	45	轻	中	严
3	市第二人民医院	30	好	中	严
4	宾馆烟囱	40	轻	中	严
5	华中器材厂	40	好	轻	严
6	市建公司	30	轻	中	严
7	耐火厂	20	轻	严	倒
8	化工厂	25	好	中	严
9	一所烟囱	25	轻	中	严
10	酱菜厂	30	好	中	严
11	重型机械厂	30	轻	中	倒
12	瓷件厂	32	轻	中	倒
13	陶瓷厂	35	好	中	严
14	陶瓷厂	50	好	轻	严

表 5 鹤壁市砖烟囱群体震害预测矩阵 (个数 / 百分比)

破坏程度	烈 度		
	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ
基本完好	11 / (17.9)	0	0
轻微破坏	42 / (65.6)	14 / (22.2)	0
中等破坏	11 / (17.9)	39 / (61.5)	13 / (20.9)
严重破坏	0	10 / (16.2)	41 / (64.3)
倒 塌	0	0	10 / (15.7)
平均震害指数	0.25	0.48	0.74

4 结 语

本文针对现有研究工作中的弱点,提出了一种新的烟囱震害预测的模式法。这一方法计算工作量小,其危险系数与震害指数关系及二次判别准则均来源于对历史震害资料的分析结果,比较真实可信。同时,本文提出了由个体震害预测结果推导群体震害预测矩阵的一般方法。实际算表明,本文所提方法符合历史震害的一般规律。(例)

值得指出,本文方法原则上也适用于水塔的震害预测工作,有关研究内容我们将另文介绍。

参 考 文 献

- (1) 金国梁. 圆形砖烟囱的震害预测方法. 工程抗震. 1985. 2期
- (2) 苏文藻. 厦门市烟囱的震害预测方法. 世界地震工程. 1988. 4期
- (3) 建筑结构抗震设计规范. TJ11-89
- (4) 砌体结构设计规范. GBJ3-73修订本 (送审稿)

A Research on the Seismic Damage Prediction of Chimney

Song Jianxue Li Jie
(Zhengzhou Institute of Technology)

Abstract: This paper suggested a "simplify model method" to predict the seismic damage of chimney; based on the analysis of historic seismic damage examples, a general method to extend the results of typeical chimneys' seismic damage prediction was also proposed.

Keywords: Earthquake, chimney, seismic damage prediction.