

方形煤仓震害预测研究*

许琪楼 孙增寿

(土建系)

摘 要: 本文以层间屈服强度系数为基础,并考虑煤仓结构特点,提出方形煤仓震害预测方法,并编制了相应的计算机程序。实际结构震害预测结果与历史震害资料对比表明了本文方法的可信性。

关键词: 灾害预测、地震

中国图书分类号: TU352

煤仓是矿区的重要构筑物,煤经过栈桥的皮带走廊运至煤仓后,经过筛分存放在煤仓的仓斗内,待装车运走。地震时煤仓的破坏程度直接关系到地震后矿井生产恢复的快慢,因此煤仓的震害预测具有现实意义。煤仓结构有方形仓及圆筒仓,本文结合某工矿企业抗震规划工作研究方形煤仓的震害预测。

1 方形煤仓结构特点

图1为方形煤仓结构型式,主体结构为现浇钢筋砼框架体系,且具有下列特点:

1.1 底层柱高度大且空旷

煤仓底层要通行火车,净空比较高。若从基础顶面算起底层柱高一般在10m左右,最高达12m,且底层多无围墙,四面敞开,空旷。

1.2 中上部仓斗处荷载集中,刚度突

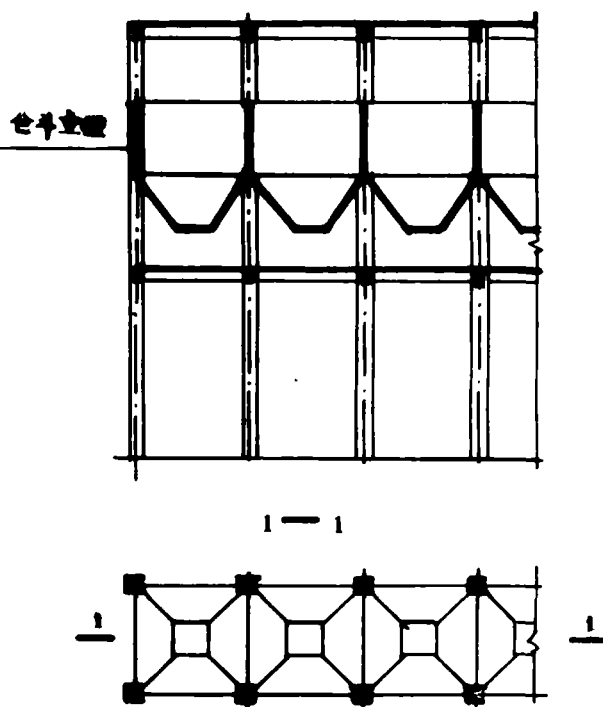


图1 煤仓结构型式

* 收稿日期: 1990.09.18

变

煤仓中上部仓斗是存煤的地方。仓斗四周采用现浇的钢筋砼立壁, 下呈漏斗型。仓斗存煤量 $200^T \sim 400^T$, 荷载大且集中。仓斗立壁砼墙体厚约 250^{mm} , 高度视仓斗大小有 $4^m \sim 7^m$ 。立壁存在大大提高了框架中上部的刚度, 从而使底层柱的刚度相对变弱, 地震时底层柱变形相对集中。

1.3 煤仓顶层一般是筛分室, 安装有通长的皮带运输线, 荷载也较大且横向隔墙少。有框架或砖混二种结构形式。若为后者则顶层砖柱与主体结构连接差, 且强度低、刚度弱, 也是煤仓的薄弱部位。

震害表明, 煤仓结构的震害集中在底层柱及仓顶室。底层柱的析断、错位及砖混结构的仓顶间的倒塌较普遍, 而仓体自身震害很轻, 震害分布与结构特点是吻合的。

2 煤仓结构震害预测方法

2.1 方法的选用

煤仓结构的主体是现浇的钢筋砼框架结构。文献 (1) 在分析总结钢筋砼框架结构弹塑性反应的特点及规律, 框架结构抗震能力评定方法以及框架房屋不同破坏状态的变形指标等问题的基础上, 提出可以用结构薄弱层的屈服强度系数 ζ 为指标判断结构的破坏程度。这是因为在强烈的地震作用下, 结构的破坏状态取决于结构薄弱层的破坏程度, 而结构薄弱层的 ζ 值是一个既反映结构强度又能体现结构弹塑性反应特点的指标。文献 (1) 建议: 用 ζ 值为指标进行震害预测时, 结构震害等级划分标准见表 1, 不同破坏状态相应的指标值见表 2。

表 1: 钢筋砼框架结构震害等级划分标准

震害等级	震 害 描 述
I	结构的梁、柱构件无明显裂缝, 填充墙有轻微裂缝
S	结构薄弱层的梁柱构件出现轻微裂缝, 填充墙有明显裂缝, 一般不需修理或需稍加修理。
M	结构薄弱层的梁柱有明显裂缝, 个别梁柱端砼剥落, 填充墙有明显破坏, 少量出现通缝, 需一般修理。
Y	结构薄弱层的梁柱破坏严重, 多数梁柱端砼剥落, 主筋外露, 个别柱主筋压层; 填充墙大面积破坏, 部分外闪、倒塌, 需大修理或拆修重砌。
D	结构薄弱层中, 梁柱丧失抗震能力, 主体结构部分或全部倒塌, 需拆除重建。

(注) I: 基本良好 S: 轻微破坏 M: 中等破坏 Y: 严重破坏 D: 倒塌

表 2: 不同破坏状态的 ζ 值范围

破坏状态	I	S	M	Y	D
ζ 值范围	$\zeta > 0.8$	$0.8 > \zeta > 0.5$	$0.5 > \zeta > 0.35$	$0.35 > \zeta > 0.2$	$\zeta < 0.2$

2.2 煤仓震害预测中需要考虑的几个问题

震害预测方法要体现煤仓结构的特点, 上述基于 ζ 为指标的震害预测方法作如下的改进及处理。

2.2.1 煤仓结构承受重荷载, 在计算 ζ 时必须考虑竖向荷载的影响。 ζ 是指按构件实际配筋和材料强度标准值计算的楼层抗剪承载力与该楼层地震剪力的比值。框架结构的楼层抗剪承载力理论上与外力分布有关, 但对于煤仓结构而言, 其变形及震害主要集中在底层框架柱上, 基本上属于弱柱型的结构体系, 且薄弱层位置固定, 因此考虑竖向荷载时楼层抗剪承载力可按下列方法计算。

① 以各楼层独立屈服作为框架的破坏机制。

② 框架点有图 2 所示的四种屈服机制, 每种机制都包含一个柱端的屈服。 $\sum M_{cu}$ 为柱端极限弯矩之和, $\sum M_{bu}$ 为梁端极限弯矩之和, M_{cu} 为一柱端屈服弯矩, M_c 为另一柱端相应弯矩值, 上标 ul 表示上柱底端, lu 为下柱顶端。

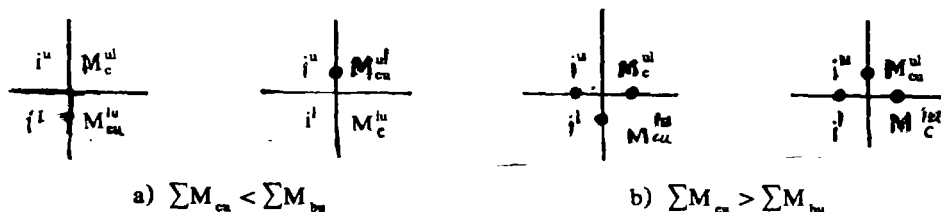


图 2: 节点四种屈服机制

③ 梁柱端的极限屈服弯矩 M_{cu} , M_{bu} 按实际配筋和材料强度标准值, 并考虑柱组合轴力, 按下列计算。

$$M_{bu} = 0.9f_{yk}A_s h_0 \quad (1)$$

$$M_{cu} = 0.8f_{yk}A_s h_c + 0.5N_c h_c (1 - N_c / f_{cmk} b h_c) \quad (2)$$

式中 f_{yk} 、 A_s 为钢筋的强度标准值及实配面积, f_{cmk} 为砼抗弯强度标准值, b_c 、 h_c 为柱截面宽度及高度, h_0 为梁截面有效高度, N_c 为柱组合轴力, 即同时考虑水平地震作用及竖向荷载所产生的轴力。

未屈服的柱端弯矩值近似采用柱弹性线刚度比计算。

$$M_c^{ul} = M_{cu}^{lu} \cdot \frac{i^u}{i^l} \quad \text{或} \quad M_c^{lu} = M_{cu}^{ul} \cdot \frac{i^l}{i^u} \quad (3)$$

式中 i^u 、 i^l 为上柱和下柱线刚度或相对线刚度值。

④ 每根柱上、下柱端弯矩之和除以柱高即为单位抗剪承载力, 同一层各柱抗剪承载

力之和即为楼层抗剪承载力。

2.2.2 仓斗立壁的存在使煤仓框架在中上部刚度突然增大, 计算时可采用多梁模拟, 并将仓斗中煤的总重量分配在各梁上。如图3所示。

2.2.3 煤仓结构有多个仓格, 各仓格框架跨度相同。但由于生产工艺要求, 部分框架的高度及层数会有变化。计算时按平面框架简图进行计算。但实际上由于各框架纵向也有刚度很大的仓斗立壁相连以及纵向现浇梁板的联系, 煤仓结构的整体性很好。考虑实际地震作用方向的随机性及框架空间作用,

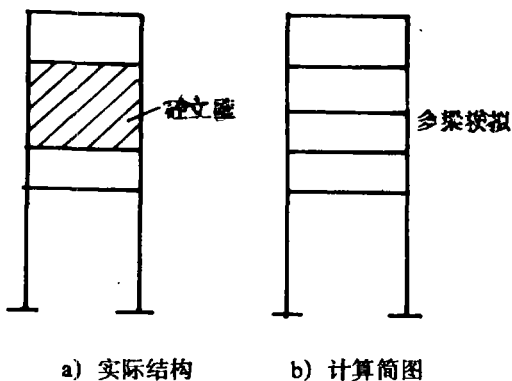


图3

为此对各类框架各取一格计算出底层柱的 ζ 值后, 采用数量加权平均计算出整个煤仓结构的 ζ 值, 以此作为指标进行震害预测。

2.2.4 ζ 值计算可采用原设计图纸提供的资料, 但需要考虑结构在使用过程中的损伤, 要进行详细的现场调查。本文所预测的煤仓多为50年代末或60年代初建造, 使用损伤程度较严重, 底层柱出现大量裂缝, 甚至保护层剥落, 主筋外露且锈蚀。另外煤仓顶层均采用砖混结构, 震害资料表明, 在烈度9度时砖混结构仓顶间倒塌率可达60%。由于 ζ 值无法体现仓项间的震害, 而仓顶间的倒塌并非等于主体框架的破坏, 可以作为非结构构件来对待, 因而上述二种因素可以通过对计算值进行折减来处理, 本矿区煤仓考虑下列二种情况:

- ① 主体结构完好时, 考虑仓项间的震害乘0.9折减系数。
- ② 底层柱砼开裂严重时乘0.7折减系数。

2.3 ζ 的计算步骤。

- ① 用底部剪力法计算多遇地震作用标准值。在用能量法计算结构自振周期时, 考虑煤仓结构横向隔墙较少, 非承重墙体对周期的折减系数取0.9。
- ② 用罕遇地震与常遇地震 α_{\max} 的比值, 计算罕遇地震下各层层间地震剪力。
- ③ 利用梁单元刚度阵计算平面框架在水平地震作用下及竖向荷载下各柱组合轴力。
- ④ 考虑柱轴力影响, 按前述方法计算各层抗剪承载力。
- ⑤ 计算各楼层屈服强度系数 ζ , 并取其较小值。

3 煤仓震害预测结果及分析

对某矿区煤仓按II类场地及近震进行震害预测, 结果见表3。其中一矿和二矿煤仓现已抗震加固完毕, 使用损伤系数无法确定, 震害预测意义不大。但从 ζ 计算值看, 一矿煤仓最小, 可见采取加固措施是适宜的。对于未加固的三、四、五、六矿来讲, 五矿煤仓震害最为严重, 这是因为该煤仓底层柱高度最大, 达12m, 但截面仅为500×800, 纵筋总配筋率0.6%, 略高于构造配筋。同时该煤仓仓斗立壁高度4.8m, 仅下部1.2m范围内

采用现浇钢筋砼结构, 上部 3.6m 范围采用 24m 砖砌体加圈梁的结构形式。该煤仓损坏程度严重, 因此抗震性能最差。反之六矿煤仓建造时间短, 底层柱截面大 (800×800), 纵筋总配筋率高达 2.1%, 因此震害轻微。

表 3: 震害预测结果

矿井号	烈度	计算 ζ 值	折减系数	折减后 ζ 值	震害等级	备注
一	7	0.395				已加固
	8	0.222				
	9	0.144				
二	7	0.554				已加固
	8	0.315				
	9	0.210				
三	7	0.508	0.9	0.457	M	
	8	0.284		0.255	Y	
	9	0.182		0.164	D	
四	7	0.508	0.7	0.356	M ⁺ (或 Y ⁻)	
	8	0.283		0.198	D(或 Y ⁺)	
	9	0.178		0.124	D	
五	7	0.411	0.7	0.288	Y	
	8	0.229		0.160	D	
	9	0.150		0.105	D	
六	7	1.201	0.9	1.080	I	
	8	0.665		0.599	S	
	9	0.432		0.388	M	

表 4 列出唐山地震时开滦煤矿部份煤仓及唐山市的部分高位料仓震害调查表。这些结构与本文所预测的煤仓相近。实际震害与预测结果相比, 实际震害略轻, 预测结果偏重。这是因为计算 ζ 时仓斗按满载考虑, 而实际上仓斗贮煤量是不断变化的。表 5 为唐山地震时 18 座料仓贮料状态的宏观调查, 每座料仓的贮料状态是取其各仓斗的加权平均值。由此可见:

料仓在地震时的存料多数在半料及半料以下, 部分满载, 个别空斗。因此本次预测结果是偏于最不利考虑。在此意义上讲, 预测结果与震情是基本相符的, 结果是可信的。

表4: 煤仓及高位料仓震害调查

结构类型	结构体系	烈度	调查数量 (座)	震害				
				D	Y	M	S	I
煤仓	钢筋砼结构, 且下部柱网无	11	5	1	2	2		
		10	2		1	1		
		9	13	2	6	1	1	3
高位料仓	纵向填充砖墙	10	10	3	4	1	2	
		9	4	2			2	2

表5: 高位料仓及筒仓贮料状态分析

	基本满料 (80%以上)	半料至满料	半料及半料以下	空料
数量	4	1	12	1
百分数	22.2%	5.6%	66.6%	5.6%

以 ζ 为指标的震害预测方法计算工作量少, 符合震害预测宜粗不易细, 宜快不宜慢, 宜简不易繁的要求。煤仓震害预测结果表明该方法是可行的。

参 考 文 献

- (1) 高小旺, 钟益村, 陈德彬. 钢筋砼框架房屋震害预测方法. 建筑科学. 1989. 第1期
- (2) 钟益村. 钢筋砼房屋抗震设计新规定的设计实例. 建筑科学. 1989. 第2期
- (3) 建筑抗震设计规范. GBJ11-89
- (4) 刘志刚. 房屋震害预测中几个问题的探讨和展望. 工程抗震. 1989. 第3期
- (5) 王荣斋. 开滦煤矿煤仓震害. 唐山大地震震害(二)

Seismal Disaster Prediction of Square Coal Storehouse

Xu Qilou Sun Zengshou

(Department of Civil Engineering and Architecture)

Abstract: In this paper the method of seismic disaster prediction of square coal storehouse is proposed and programmed by means of computation of the factors of floor yield strength and consideration of the structural features. The comparison of the prediction results to the seismic disaster datum in the past shows which has certain accuracy.

Keywords: Disaster prediction, earthquake.