

建築物在地震作用下的計算

И. П. 科尔金斯基著



建 筑 工 程 出 版 社



建築物在地震作用下的計算

劉 恢 先 譯
錢 培 風 校
王 光 远

建築工程出版社出版

• 1957 •

內容提要 本書中敘述了地震力的確定方法，這個方法的根據是地震作用所引起的破壞結果的分析和地震圖譜的分析。

所建議的確定地震力的方法，考慮了結構自由振動的形態和頻率；這種振動具有很重大的實際意義，但從前沒有被注意。經過計算比較，証明了用這個方法算出的結果比現在所採用的方法更與實驗結果一致。

本書可供從事於抗震建築的工程師及科學工作者之用。

原本說明

書 名 РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ НА
СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

編 著 者 И. Л. Корчинский

出版者 Гостройиздат

出版地點
及 年 份 Москва——1954

建築物在地震作用下的計算

劉恢先 譯

錢培風 校

王光遠

*

建築工程出版社出版（北京市阜成門外南禮士路）

（北京市書刊出版業營業許可證出字第052號）

建築工程出版社印刷廠印刷·新華書店發行

書號568 46千字 787×1092 1/3 印張2 3/16

1957年8月第1版 1957年8月第 次印刷

印數：2,150冊 定價（11）0.46元

目 录

一、地震影响的分析.....	4
二、地震圖譜的分析.....	11
三、强迫振动.....	22
(一)單自由度体系	22
(二)多自由度体系.....	30
四、地震力計算数值的确定方法.....	38
(一)基本概念.....	38
(二)动力系数.....	42
(三)磚石居住建築物.....	45
(四)高聳建築物.....	49
五、关于在設計建築物时，确定水平地震力的建議.....	52
例 題	
(一)水平地震力的确定	52
(二)煙囪計算例題.....	57
(三)四層剛架計算例題.....	61

建築物在地震作用下的計算

劉 恢 先 譯
錢 培 風 校
王 光 遠

建築工程出版社出版

• 1957 •

內容提要 本書中敘述了地震力的確定方法，這個方法的根據是地震作用所引起的破壞結果的分析和地震圖譜的分析。

所建議的確定地震力的方法，考慮了結構自由振動的形態和頻率；這種振動具有很重大的實際意義，但從前沒有被注意。經過計算比較，證明了用這個方法算出的結果比現在所採用的方法更與實驗結果一致。

本書可供從事於抗震建築的工程師及科學工作者之用。

原本說明

書 名 РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ НА
СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

編 著 者 И. Л. Корчинский

出 版 者 Гостройиздат

出版地點
及 年 份 Москва——1954

建築物在地震作用下的計算

劉 恢 先 譯

錢 培 鳳 校

王 光 遠

*

建築工程出版社出版（北京市阜成門外南禮士路）

（北京市書刊出版業營業許可證出字第052號）

建築工程出版社印刷廠印刷·新華書店發行

書號568 46千字 787×1092¹/₃₂ 印張2³/₁₆

1957年8月第1版 1957年8月第1次印刷

印數：2,150冊 定價（11）0.48元

目 录

一、地震影响的分析·····	4
二、地震圖譜的分析·····	11
三、强迫振动·····	22
(一)單自由度体系·····	22
(二)多自由度体系·····	30
四、地震力計算数值的确定方法·····	38
(一)基本概念·····	38
(二)动力系数·····	42
(三)磚石居住建筑物·····	45
(四)高耸建筑物·····	49
五、关于在設計建筑物时，确定水平地震力的建議·····	52
例 題	
(一)水平地震力的确定·····	52
(二)煙囪計算例題·····	57
(三)四層剛架計算例題·····	61

一、地震影响的分析

地震区建筑物的設計包括在地震力作用下的計算。按照現行規範，所謂長週期振動的慣性力乃被假定作用於水平方向，其数值則等于結構相应部分的重量和本地区地震系数的乘积。高層建筑物的地震系数，系採用随建筑物高度成直線性变化的数值；在地面上，採用和他种結構相同的数值，而在建筑物頂部，則用加倍的数值。应当指出，用这种办法确定的数值在很大程度上是任意假定的，所以無怪它成为許多研究工作者批評的对象。

有关地震作用对于建筑物的影响的实际資料，可以用来校驗地震建筑規範的正确性。那种从具有尽可能簡單和明确的計算圖形的建筑物得来的实际資料，足可当作檢查現行規範正确性的可貴的客觀基础，甚至可以作为修正現行規範的根据。

为此目的，对承受九級地震的区域內的 14 幢磚砌房屋进行了近似計算。所有这些房屋的平面都是矩形（層数为一至四層）。在这些房屋中有 11 幢兩層高的住宅，2 幢帶地下室的四層高的学校和 1 幢單層的健身房^①。

住宅有兩类。在第一类里，基础用石灰石；牆用磚和 8 号混合砂漿砌成；楼板为木制，但在牆內沒有錨錠；在第二層，沿着所有外牆有抗震腰箍，在它和內牆連接的地方則伸入

① 这里引用了卡查赫国家設計局报告中的資料，这报告是在 B. B. 皮留科夫(Вирюков)工程师主持下做出的。

1.00~1.20 公尺；木結構的椽子承着瓦屋面。

这类建筑物有八幢，它們在平面上排成兩個互相垂直的方向。

兩個方向的建筑物都受到損害，縱軸与地震方向成較大角度的建筑物受害尤为劇烈。

損壞情形的最大特征是在磚砌體中形成了如圖 1 所示的斜向裂縫，即是說破裂系沿着承受主拉應力作用的截面由于張拉而發生的。隨建筑物在平面上的排列的方向之不同，被破壞的牆壁也不同；受到損害的主要是那些軸綫和地震方向大致符合的牆壁。這些牆壁由于在荷載作用的方向有較大的剛度，分担了大部分荷載，因而承受很大的應力。

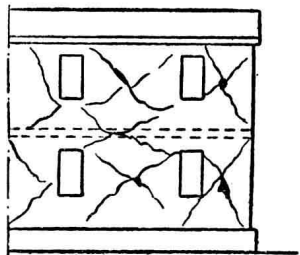


圖 1 当地震方向和牆的方向一致时，磚牆損壞的形狀

第二类住宅也是兩層，和第一类相似。牆为磚和石灰砂漿砌成；樓板为木制；腰箍沿着所有的外牆，在第二層的窗戶上面通过，並伸入內牆里 2 公尺。

这种房屋共有三幢，其中兩幢互相垂直，第三幢与前兩幢成 45° 角。有兩幢房屋由于地震而毀坏甚劇，縱向牆与橫向牆脫离並有一半是向外倒毀，而第三幢建筑物所受損害要小得多，它的牆没有什么地方倒毀，只是橫向牆上有交叉形的裂縫，如前面描述的形狀（圖 1）。这种裂縫在第二層張开較大，在第一層較小；此外，在第二層，縱向牆虽然沒有倒毀但和前兩幢一样，也和橫向牆脫离。受損最小的就是縱軸和地震方向約成 45° 角的那幢建筑物。

除此之外，还研究了兩幢学校建筑物。兩幢都是四層，並

帶有地下室，根据結構來說，它們差不多是完全相同的；它們的基本区别只在于樓板的構造不同，兩幢的地下室的牆壁都是混凝土的；各層樓的牆壁則是用 8~10 号混合砂漿砌成的磚牆。其中一幢的樓板，除地下室上面的一層以外，所有各層都是在鋼筋混凝土梁上鋪設木制樓板；地下室過道上面的和房屋端部的樓板都是整體鋼筋混凝土澆制的。在第二幢房屋里，除頂樓外，所有樓板均為鋼筋混凝土。地震的方向和第一幢的縱軸相近，因此和第二幢的縱軸相垂直。

由于地震的結果，第二幢全部被毀；第一幢虽然受到严重損害，但还完整。後者的主要损坏是在內牆和窗間牆上形成了斜向的裂縫，在这些窗間牆上擱着承托樓板的鋼筋混凝土梁。

最后一幢建築物——健身房是用 10~15 号混合砂漿砌的磚牆；屋蓋是木梁土頂。

由于地震的作用，有一面山牆倒毀了。看起来，這面牆是在改建時加砌上去的，并且它所用砂漿和磚与建築物的其余部分不同。在另外一面山牆上和在縱向牆的較寬的窗間牆上有斜交的裂縫（圖 2）。較窄的窗間牆在水平方向被切開，并部分地剝落（被壓碎）。

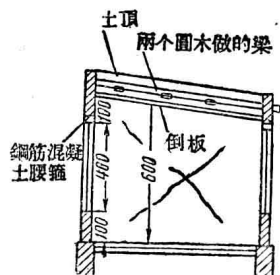


圖 2 健身房山牆上的裂縫

从選擇强度計算的方案的观点来總結前述磚砌房屋损坏情形的觀察資料，必須認清这些损坏情形的显著差異和所觀察各建築物的特殊性，即使它們是屬於同一类型的建築物。这种情况使提出的問題严重

地复杂化，并使得統一的計算方案在很大程度上將是有条件

的。但是，考虑到極端地強調对每个結構进行个别处理，不可避免地会带来另一个更为严重的、与計算者主觀見解相联系的缺点，易於在最后結果的比較中招致严重的錯誤；所以在充分認識計算方案的有条件性之后，採用一个一致的方案还是較为正确的。这样一个方案只是为了按照“地震区建筑规范”的要求来校核建筑物危險截面上的应力；为此，我們採用了下列的假設。

地震的水平慣性力的方向总是当作和建筑物的主軸之一相一致。这种慣性力是由其縱軸与地震方向一致或和該方向成不大角度的主要牆壁来承受；与地震方向垂直的牆壁不承受地震所产生的水平力。如果地震方向与縱軸、橫軸都成較大角度，則在計算时，假定震动方向或与縱軸，或与橫軸一致，并对这两个方向都进行校核計算。

其次，由于斜向裂縫（圖 1）是最典型的磚牆破坏現象，并通常在窗間牆高度中部开裂最大，因此把通过窗孔高度中点的水平截面当作了危險截面。由于这样的圖形是一个許多度的超靜定系統，它包括几个彈性窗間牆和其他牆，总荷载应依照它們的剛度按比例分配。所以，为了簡化計算，假定了它們的剛度与抗弯剛度（亦即慣性矩）成正比。最后，採用与剪应力数值相等的主拉应力（在中性平面的水平上）作为校核砌体承重能力的准繩。

这样，根据同时工作的各部分的剛度来确定分配于牆或窗間牆的水平荷载；把这水平荷载除以相应的牆或窗間牆的橫截面面积便可求得与剪应力相等的主拉应力。

砂漿是結構的最弱环节，因將砂漿强度作为砌体强度的指标。

砂漿抗拉强度極限； R_p 系按公式計算：

$$R_p = \frac{3}{1 + \frac{25}{R_c}},$$

式中： R_c 为砂浆抗压强度极限，它的数值是在地震过后对筑物进行调查时确定的。

地震方向如果和建筑物的纵轴或横轴一致，就只在这方向进行计算；如果建筑物的轴线和地震力方面成较大角，则计算两个方向：既计算纵向，又计算横向。在多层建筑中，则对所有各层的应力都进行校核。

计算结果列于表 1。

表 1 所列计算资料初看是令人兴奋的，因为它们基本符合于建筑物受损程度的实际资料。诚然，在第一组建筑中，最大应力达到了砌体强度极限的 1.1~2 倍，因而应该害严重。同样地在第三组建筑物中，完全被毁的第二幢承了为 $R_p (= 0.86 \text{ 公斤/平方公分})$ 的 1.4 倍的应力。其次，第三组中的一幢和第二组中的一幢（即相对地完好保存下来的筑）所承受的最大应力约比 R_p 小 40~50%。但也不能认为二组中其它两幢的毁坏情形与前一幢有所矛盾，因为它们毁坏情形（即纵向墙与横向墙脱离）显然与我们所采用的计算图不相对应。

这样在 14 个建筑物的总数中，事实上只有一个建筑，即第四组的健身房，与实际情况有显著的歧异；在此建筑中，最大应力仅达砌体强度极限的 $1/5$ ，虽然如此，它却受到重的损害。

但是这种计算结果与实际情况相对的一致仅仅是表面的；更细心的分析就导出相反的结论。事实上，如果把注意不放在底层（或第一层）的应力，而放在较高的几层，则很易

表 1

建筑组别	建筑物类型	地震方向	受损程度	計算主拉应力 公斤/平方公分			砌体砂浆 强度極限 公斤/平方公分	最大計算应力与砌体 砂浆强度極限的比例
				層次	最窄窗間牆	最寬窗間牆		
1	兩層住宅 8 幢	四幢与縱軸相近	劇烈，但比与地震方向垂直排列的建筑物較輕	1	0.16	1.64	0.73	2.25
				2	0.06	0.58	0.73	0.80
		四幢与橫軸相近	劇烈	1	0.18	0.87	0.73	1.12
				2	0.06	0.30	0.73	0.41
2	兩層住宅 3 幢	沿建筑物長向	兩個建筑物受損劇烈（縱向牆壁倒毀），一个建筑物較好保存	1	0.32	0.32	1.12	0.29
				2	0.12	0.12	1.12	0.11
		垂直于建筑物長向		1	0.08	0.58	1.12	0.52
				2	0.03	0.20	1.12	0.18
3	（第一幢和地下室的四層学校建筑物 2 幢）	第一幢沿建筑物長向	受損嚴重，但仍保存	1	0.59	0.59	0.86	0.69
				2	0.55	0.55	0.86	0.64
				3	0.35	0.35	0.86	0.41
				4	0.16	0.16	0.86	0.19
		第二幢垂直于建筑物長向	完全毀坏	1	0.19	1.24	0.86	1.44
				2	0.19	1.05	0.86	1.22
				3	0.12	0.67	0.86	0.78
				4	0.05	0.29	0.86	0.34
4	單層健身房 1 幢	垂直于建筑物長向	受損劇烈，部分牆壁倒毀	1	0.21	0.21	1.00	0.21

出这种应力都比 R_p 小得多 (大約为 R_p 的 $1/2$ 至 $1/10$)。

同时,在那些沒有倒毀的建筑物中,較高的樓層一般在牆上也有斜向裂縫,並且往往不少于下層的裂縫。这种現象足够說明招致这种毀坏的力超过地震力的計算值很多(在九級地震区,此計算值系採用重力的 $1/10$)。如果考虑摩擦力(在現在的情形,此力被忽略)的作用計算应力只有更降低,其結果会得到与实际情形更大的歧異。

这样以表 1 的分析为基础所得出的較为正确的結論將是:現行“地震区建筑规范”所規定的計算水平慣性力的方法是沒有足够的根据的,需要重大的修正。但是單純地变换地震系数未必是合理的,因为理論与試驗的差異照我們看来不是由于对地層最大加速度的估計不正确,而主要是由于現行的計算方法几乎完全沒有考虑結構的动力特征。現行规范所採用的确定地震系数 K 和附加值 α (“地震区建筑规范”表三)的各种办法,首先是根据不足,其次是过分地籠統了。这个系数,例如在表中第一节里,对一系列的各种各样的建筑物採取同一系值(等于 1),并且对于建筑物的各部分都是一样。所以改善确定地震力的方法(用以使該力也反映建筑物所独具的动力性能)是更为正确的途徑。

这个結論完全不是新的,而且如众週知,許多从事抗震建筑的專家們都有此同感。但与此同时,所謂抗震建筑計算的动力理論在实际应用中遇着困难,这种困难是和目前对地表振动規律研究不足和缺乏足够簡易的結構动力計算方法有关的。

二、地震圖譜的分析

在地震時發生的地面的移動如眾週知是地殼振動的結果。地殼的振動或由於火山性質的現象，或由於承受應力的深地層的破裂或崩坍所招致。

在一種或幾種這類現象發生的中心，有所謂地下地震波向四方傳播。當這種波傳到地球表面時又產生沿着地面傳播的新型的波。表面波比地下波有較小的速度和較大的波長；表面波的振幅通常比地下波的振幅大得多；地下波的傳播範圍不大，而且只限於震中附近的區域。

這樣，隨著離震中的距離的加大，表面波就開始具有決定性意義。表面波使地表發生豎直方向和水平方向的振動。但隨著離震中距離的加大，表面波的振幅的水平分量與它的豎直分量比較起來，更為強盛並且具有最重要的意義。

因此，對地震區內的絕大多數建築物來說，與表面波有關的地表水平振動是最危險的。

上述振動的情況實際上為許多因素的影響所複雜化；這些因素是與各種具有不同速度和不同頻率的波的反射、折射、衰減和相互疊合等現象有關的。所有這些都導致複雜的、不符合於任何數學規律的地殼振動過程（圖3），因此有些著者用“雜亂”的字樣來形容它。

這種現象的複雜性使人們放棄在地震作用下的結構計算（那怕只在性質上反映實際情況），而採用了所謂靜力計算理論。在許多情形下，由於這種計算的不足，也不得不用確定結

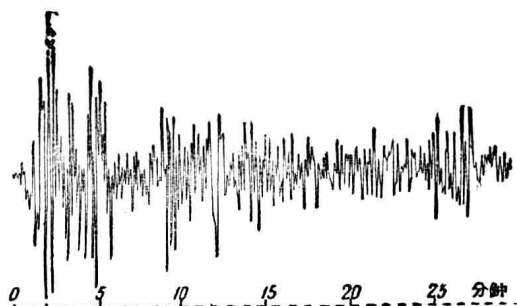


圖 3 地震圖譜

構的自振頻率的动力計算来补充,其目的是避免在被設計的建築物中出現不能容許的自振頻率。

К. С. 扎夫里也夫 (Заврнев) 和 А. Г. 納扎罗夫 (Назаров) 关于轉入結構动力計算理論的建議沒有得到傳播,虽然这种理論是較好地反映了实际情况;他們的建議就是根据採用地表振动为諧和振动(即余弦規律)。但是这种建議沒有得到成功,这显然是由于缺少有根据的實驗資料來說明他們所採用的理論里面的参数(地面振动的振幅和頻率)。

此后, А. Г. 納扎罗夫表示贊成全然另一种的(如果可以这样說的話)用實驗进行結構抗震計算的方法。这个方法的概念就是用實驗来观察和确定地震对于簡化了的彈性系統的最大影响;这种彈性系統是从結構的頻率特征和衰減特征的观点制作出来的实际結構的模型。从原則方面来看,这个方法毫無疑問是非常誘惑人的;但是实际上,这个方法只有在积累了許多动力模型在一系列的地震条件之下,受到地震影响的实际實驗資料之后才能得到应用。由于地震区的建設不能等到积累了这些資料以后才来进行,所以在进行积累實驗資料的研究工作的同时,还必须寻找其它途徑来解决選擇地震

作用下的計算方法的問題。

為此目的，分析一些地表振動的記錄（不僅是地震的記錄，而且還包括爆炸或其他更小的震源的記錄）是有益的。後面幾種記錄提出的目的不在於獲得關於地面振動數值方面的資料，而主要在於表明振動現象的基本情況。更小、更簡單、不被許多因素所複雜化的震源自然會在它週圍地表面上引起更簡單明顯的振動現象。

為了這樣的目的來考察一些由於汽錘工作所引起的地面振動和上面建築物的振動的記錄是有用的（也許是地震現象的不很相似的模型）。

圖 4 中 $a^{\text{①}}$ 表示在鍛錘沖擊底座時，基礎豎向振動的典型振動圖。從振動圖譜可以看出基礎振動衰減非常快；在一兩週振動內就完全衰減掉^②。

地面的振動和基礎的振動有很大差異（圖 4, σ, j ）。這裡首先應當注意地面重複振動的次數要比基礎振動的次數大得多。在緊接震源的附近以及在更遠的、很難感到振動的地方，在圖上也幾乎看不出振動。地面振動的次數不是一兩次，而是 6~8 次。

地面本身的振動特性隨着離開汽錘的距離的增大而變化。在靠近基礎的地方，地面的振動圖譜還有由於沖擊所招致的振動形式；在更遠的地方，震源的沖擊性質消失，振動圖譜在開始的一剎那就是一條平靜的正弦曲線。

圖 5 表示一所七層磚砌建築物的牆的振動圖譜。這裡也和離震源一定距離的地面上的振動一樣，振動一開始就有

① 此處指圖 4 (σ) 中曲線 a ——譯者注。

② 參加這一研究者，除作者以外尚有 В. С. 馬爾德士金 (Мартышкин) 和 П. К. 舒克辽烈夫斯基 (Шкляревский)。