

建筑场地类别对抗震设计影响的探讨

邓祖豪 张庭业

广西湘桂岩土工程有限公司

摘要：建筑抗震场地类别的评价划分是岩土工程勘察工作的重要内容，由场地岩土层的等效剪切波速和覆盖层厚度综合确定，关系着场地设计特征周期、地震影响系数和地震作用力，对抗震设防起着决定性作用，当场地平整导致场地覆盖层厚度及性质发生改变时，建筑结构抗震设计工作中应对场地类别进行修正后采用。

关键词：场地类别；覆盖层；设防；修正

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.04.107

一、前言

建筑抗震设计理论及规范中，用建筑场地类别指标确定设计特征周期，并根据设计特征周期和结构自振周期对应关系，计算得出地震影响系数和地震作用力。

在工程建设过程中，现状工程场坪并非建成后的场坪，往往需要对拟建工程场地进行平整，包括开挖山丘或填埋沟壑，以达到设计所需的场坪条件。由于场坪的平整或对地基土的技术处理，场地的覆盖层厚度或性质发生了变化，抗震建筑场地类别也发生了变化，设计特征周期、地震影响系数及地震作用力均随之改变。

二、建筑场地类别的确定

建筑抗震场地类别通常采用场地覆盖层厚度和土层的等效剪切波速值综合评定划分。覆盖层作为评价场地类别的因素之一，一般指覆盖在基岩之上各种成因的松散堆积、沉积物，如砂卵砾石层、黏性土层、人工填筑土体等，可采用剪切波速法实测其厚度及深度。场地内

土层的等效剪切波速是指剪切波在有限土层范围内竖向传播的等效速度，有限土层深度一般为覆盖层深度且不大于20m。

在建筑抗震设计中，将场地类别分为I、II、III、IV共4大类，其中I类分为I₀、I₁两个亚类。一般地，场地类别等级越高，表明场地覆盖层厚度越大，土层的等效剪切波速值越小，场地的整体土质越软弱，地基条件越差。当拟建场地为山丘或沟谷地，因建筑需要对场坪进行平整，平整之后场地的覆盖层厚度将发生变化，由此将引起场地类别的改变。为更深入研究，本文以两个特殊的地段作案例分析探讨。

某工程建筑地段一，自上而下分布有①~⑦层土岩层，土层的总体趋势为上软下硬，下部为硬质岩石，各层厚度和剪切波速详见表1；而某工程地段二地层岩性与地段一类似，区别于土层顺序倒置，总体趋势为上硬下软，下部为硬质岩石，各层厚度和剪切波速详见表3。两地段场地设计地震分组均按第一组考虑，均已按现状地形地貌进行了岩土工程勘察，覆盖层厚度均为12.0m，等效剪切波速均为206.3m/s，勘察报告评定的场地类别均为II类。

假设地段一分别处于山丘和沟谷地段，由于场地平整需要，山丘地段需向下开挖至设计整平标高；而沟谷地段则需填筑土至设计整平标高。填筑土属于软弱土，初定剪切波速为100m/s。地段一因场地平整，覆盖层厚度变化与抗震场地类别变化对照详见表2。

表1 地段一岩土层分布情况及剪切波速表

序号	岩土名称	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	剪切波速 v_s (m/s)
①	淤泥质土	2.00	2.00	100
②	可塑黏土	4.00	2.00	150
③	硬塑黏土	6.00	2.00	250
④	粉土	8.00	2.00	300
⑤	砂土	10.00	2.00	350
⑥	卵石土	12.00	2.00	450
⑦	硅质岩	25.00	2.00	2000

表2 地段一抗震场地类别与特征周期表

场地现状地貌	平地（或现状）	山丘						沟谷		
		-2.00	-4.00	-6.00	-8.00	-10.00	-12.00	+2.00	+5.00	+8.00
挖填程度（m）（挖“-”，填“+”）	0.00	-2.00	-4.00	-6.00	-8.00	-10.00	-12.00	+2.00	+5.00	+8.00
整平后覆盖层厚（m）	12.00	10.00	8.00	6.00	4.00	2.00	0.00	14.00	17.00	20.00
等效剪切波速 v_{se} （m/s）	206.3	262.1	322.3	356.6	393.8	450.0	>800	187.1	170.3	136.2
场地类别	II	II	II	II	I ₁	I ₁	I ₀	II	II	III
特征周期 T_g （s）	0.35	0.35	0.35	0.35	0.25	0.25	0.20	0.35	0.35	0.45

表3 地段二岩土层分布情况及剪切波速表

序号	岩土名称	层底深度（m）	分层厚度（m）	剪切波速 v_s （m/s）
①	卵石土	2.00	2.00	450
②	砂土	4.00	2.00	350
③	粉土	6.00	2.00	300
④	硬塑黏土	8.00	2.00	250
⑤	可塑黏土	10.00	2.00	150
⑥	淤泥质土	12.00	2.00	100
⑦	硅质岩	25.00	2.00	2000

表4 地段二抗震场地类别与特征周期表

场地现状地貌	平地（或现状）	山丘						沟谷		
		-2.00	-4.00	-6.00	-8.00	-10.00	-12.00	+2.00	+5.00	+8.00
挖填程度（m）（挖“-”，填“+”）	0.00	-2.00	-4.00	-6.00	-8.00	-10.00	-12.00	+2.00	+5.00	+8.00
整平后覆盖层厚（m）	12.00	10.00	8.00	6.00	4.00	2.00	0.00	14.00	17.00	20.00
等效剪切波速 v_{se} （m/s）	206.3	186.2	166.7	145.2	120.0	100.0	>800	187.1	170.3	136.2
场地类别	II	II	II	II	II	I ₁	I ₀	II	II	III
特征周期 T_g （s）	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.25	0.20	0.35	0.35	0.45

同理，假设地段二分别处于山丘和沟谷地段，因场地平整，覆盖层厚度变化与抗震场地类别变化对照详见表4。

从表1~表4中可知，当地段为山丘地貌时，场地开挖整平后，两地段的覆盖层厚度均随开挖深度逐渐减小，地段一的等效剪切波速值在逐步增大，地基土质越来越好；而地段二的等效剪切波速值在逐步减小，覆盖层的土质越来越差，但两地段的场地类别总体趋势一致，均由II类渐变为I类，地段一的场地类别渐变速度快于地段二。当地段为沟谷地貌时，场地填筑整平后，两地段的覆盖层厚度均随填筑深度逐渐加大，等效剪切波速值在逐步减小，地基整体土质越来越差，场地类别由II类渐变为III类，两地段的变化趋势一致。

三、场地类别对抗震设防的影响

根据抗震设防理论，当地震波主要周期与地表土层

卓越周期相近，地面将产生共振效应，振动最强烈，易导致严重震害。一般地，覆盖层对地震波有放大效应，覆盖层越大，土质越软弱，放大效应越明显；相反的，覆盖层越小，土质越硬，地基土强度高，稳定性好，对地震波有过滤作用，地基失效可能就越低。

在抗震设防计算中，采用结构自振周期 T 和场地特征周期 T_g 的对应关系，运用不同的公式计算得出地震影响系数 α ，再根据地震影响系数 α 换算出地震作用力。结构自振周期 T 为拟建建筑物的自由谐振周期，由建筑物的形状、材料、截面、支撑节点刚度等因素综合确定。特征周期 T_g 则为设计地震反应谱曲线上平台段末端的周期值，与场地的地震烈度（震级、震中距）和场地类别有关。

结构自振周期 T 、特征周期 T_g 及地震影响系数 α 之间的对照及换算关系见图1所示。

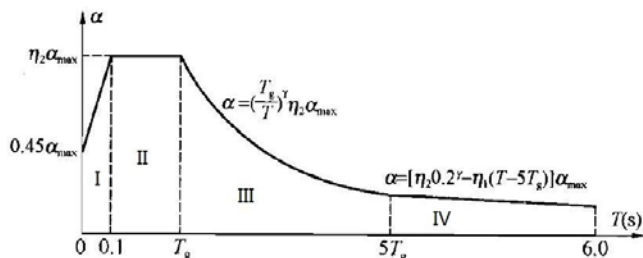


图1. 地震影响系数曲线

α —地震影响系数； α_{\max} —地震影响系数最大值；
 η_1 —直线下降段的下降斜率调整系数； γ —衰减指数；
 T_g —特征周期； η_2 —阻尼调整系数； T —结构自振周期

从图1中可知，当结构自振周期 T 小于 0.1s 时（第I阶段），地震影响系数 α 为上升直线，由 $0.45\alpha_{\max}$ 上升至最大值为 $\eta_2\alpha_{\max}$ ；当结构自振周期 T 介于 $0.1\text{s}\sim T_g$ 之间时（第II阶段），地震影响系数 α 均为最大值 $\eta_2\alpha_{\max}$ ；当结构自振周期 T 介于 $T_g\sim 5T_g$ 之间时（第III阶段），地震影响系数 α 由最大值 $\eta_2\alpha_{\max}$ 曲线下降；当结构自振周期 T 大于 $5T_g$ （第IV阶段），地震影响系数 α 曲线下降，并渐变收敛。

由上述图示及分析，第I阶段，地震影响系数 α 值直线上升，到第II阶段时，地震影响系数 α 达最大值，表明地震波主要周期与地表土层卓越周期相近，地面产生共振效应，地震作用力最大，抗震设防要求最高，设防成本最大；第III阶段，地震影响系数 α 值曲线下降，当特征周期 T_g 值越小、结构自振周期 T 值越大，地震影响系数 α 值就越小，地震作用力也越小，相应的抗震设防要求可降低，设防成本亦可降低；第IV阶段，地震影响系数 α 值下降趋缓，地震作用力影响有限，对抗震设防要求和设防成本影响不大。

由地震影响系数 α 的计算式可知，除第I阶段外，均与特征周期 T_g 紧密相关，而特征周期的取值来自地震分组和场地类别取值。本文中第2章节的案例，依据场地类别和地震分组查规范表格得出设计特征值周期 T_g 值，具体数值详见表2和表4。

从表2和表4中知晓，特征周期 T_g 与场地类别变化趋势一致，场地类别分类等级低时，特征周期 T_g 值小；场地类别分类等级高时，特征周期 T_g 值大。因此，建筑场地类别决定了特征周期 T_g 取值，并最终影响了地震影响系数 α 及地震作用力，在抗震设防设计中起着至关重要的作用。

四、建筑场地类别的修正

根据文中第2和第3章节的论述，建筑场地类别的评定对抗震设防工作很重要，直接关系到抗震设防要求和设防造价成本，应结合实际工程地质条件作具体修正。

当场地为需开挖整平的山丘岭地，或采用桩基础、地基处理等技术处理措施的场地，新场地的场地类别分类等级较原场地可由高变低，即对抗震由不利变为有利，趋于安全。针对原始地貌为山丘岭下挖整平的工程场地，下挖可使场地覆盖层减小，地基土质变好，可根据开挖程度对新场地的场地类别作降低修正，以节约抗震设防造价成本；而对于采用桩基础或地基处理等的工地场地，虽可以有效改善地基下卧层的力学性质，使地基得以加强或加密，但由于其对场地地基土加固改善的范围相对较小、深度有限，对整个场地的地震特性影响不大，不宜对场地类别作降低修正。

当场地为需填筑的沟谷洼地，或实施了大面积超厚填土，特别是山区岩面埋深较浅的I类场地及山谷抛填形成的场地，由于新近填土属于软弱土，不仅加厚了场地的覆盖层，还降低了场地土的等效剪切波速，地基土质整体变差，新场地的场地类别分类等级较原场地总体趋势为由低变高，即对抗震由有利变为不利，趋于不安全，应对新场地的场地类别作提高修正，使其更接近于实际，便于合理设防。

五、结束语

建筑抗震场地类别对抗震设防起着决定性作用，准确地划定场地类别至关重要。当场地的平整工作在岩土工程勘察之后进行，实际的建筑场地类别可能发生了改变，岩土工程勘察技术人员应对后期场地的场地类别有足够的预判和评价，结构设计人员尚需结合实际工程地质条件对场地类别作进一步核查修正，作出经济合理的抗震设防设计。

参考文献

- [1] 建筑抗震设计规范GB50011—2010（2016年版）.北京：中国建筑工业出版社，2016
- [2] 钱七虎. 岩土工程师手册. 北京：人民交通出版社，2010
- [3] 朱炳寅. 建筑抗震设计规范应用与分析（第二版）. 北京：中国建筑工业出版社，2017