

地震作用效应的拟静力简化算法

杨赐金

(新疆水利水电勘测设计研究院,新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要 :针对采用拟静力法计算水工建筑物地震作用效应时由于分层多造成质心和质点的动态分布系数求解困难的问题,根据工程实践总结提出了优化分层的简化算法。算例分析结果表明,采用优化分层的简化算法完全可以满足设计要求,是求解水工建筑物地震作用效应的一种便捷方法。

关键词 地震作用效应 地震惯性力 拟静力法 优化算法

中图分类号 :TV222.2 **文献标志码** :A **文章编号** :1006-7647(2012)03-0059-03

A simplified algorithm of quasi-static method for seismic effect//YANG Ci-jin(Xinjiang Water Conservancy and Electricity Survey and Designing Institute , Urumqi 830000 , China)

Abstract :It is difficult to solve the mass center and the dynamic distribution coefficient due to the multiple layers when the quasi-static method is applied to estimate the seismic effect of hydraulic structures. This paper presents a simplified algorithm for the hierarchical optimization based on engineering practice. The case study indicates that the simplified algorithm can completely meet the design requirements and is a convenient method for estimating the seismic effect of hydraulic structures.

Key words :seismic effect ; seismic inertia force ; quasi-static method ; optimization algorithm

SL203—97《水工建筑物抗震设计规范》^[1]规定,对工程抗震设防类别为乙、丙、丁类的水工建筑物,其地震作用效应计算可采用拟静力计算方法。设计人员在采用拟静力法计算水工建筑物地震作用效应时,一般均采用水平分层求水平向地震惯性力代表值的方法。当建筑物结构较为复杂时,分层算法由于分层数量多,各分层的质心和动态分布系数求解困难,给设计工作带来不便。

1 常规算法

据 SL203—97《水工建筑物抗震设计规范》规定,对重力坝、水闸、进水塔等水工建筑物,当满足条件可按拟静力法计算时,沿建筑物高度作用于质点 i 的水平向地震惯性力代表值应按式(1)计算:

$$F_i = \frac{a_h \xi G_{Ei} \alpha_i}{g} \quad (1)$$

式中: F_i 为作用在质点 i 的水平向地震惯性力代表值; ξ 为地震作用的效应折减系数,除另有规定外,取 $\xi = 0.25$; G_{Ei} 为集中在质点 i 的重力作用标准值; a_h 为水平向设计地震加速度代表值; α_i 为质点 i 的动态分布系数,应按 SL203—97《水工建筑物抗震设计规范》各类水工建筑物章节中的有关条文规定采

用; g 为重力加速度。

从式(1)可以看出,只需求得各分层质心的动态分布系数及各分层的重力作用标准值即可求得各质点的水平向地震惯性力代表值。

为取得相对精确的计算成果,设计中通常将所需求解的建筑物分 10 个以上分层进行计算,计算工作量较大。

2 简化算法

由于常规算法需要分多层进行计算,计算过程较为繁琐,笔者在工程设计实践中,通过分析论证提出了相对便捷的计算方法。

2.1 重力坝的水平地震惯性力计算

当采用拟静力法计算重力坝地震作用效应时,各质点水平向地震惯性力代表值应按式(1)进行计算,其中的动态分布系数应按式(2)确定:

$$\alpha_i = 1.4 \frac{1 + 4 \left(\frac{h_i}{H} \right)^4}{1 + 4 \sum_{j=1}^n \frac{G_{Ej} \left(\frac{h_j}{H} \right)^4}{G_E}} \quad (2)$$

式中: n 为坝体计算质点总数; H 为坝高,溢流坝的 H 应算至闸墩顶; h_i 、 h_j 分别为质点 i 、 j 的高度; G_E

为产生地震惯性力的建筑物总重力作用的标准值。

则分为 n 层的拟求解部分坝段的水平向地震惯性力可用式 (3) 表示：

$$F = \sum_{i=1}^n F_i = \frac{a_h \xi}{g} \sum_{i=1}^n G_{Ei} \alpha_i \quad (3)$$

式中： F 为作用在建筑物上的水平向地震惯性力代表值。

因针对特定设计烈度的坝体而言， $\frac{a_h \xi}{g}$ 为常数^[2]，下面仅计算 $\sum_{i=1}^n G_{Ei} \alpha_i$ 即可，由式 (2) 可得

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n G_{Ei} \alpha_i &= \sum_{i=1}^n G_{Ei} \times 1.4 \frac{1 + 4 \left(\frac{h_i}{H} \right)^4}{1 + 4 \sum_{j=1}^n \frac{G_{Ej}}{G_E} \left(\frac{h_j}{H} \right)^4} = \\ &= \frac{1.4}{1 + 4 \sum_{j=1}^n \frac{G_{Ej}}{G_E} \left(\frac{h_j}{H} \right)^4} \sum_{i=1}^n G_{Ei} \left[1 + 4 \left(\frac{h_i}{H} \right)^4 \right] = \\ &= \frac{1.4 \left[\sum_{i=1}^n G_{Ei} + 4 \sum_{i=1}^n G_{Ei} \left(\frac{h_i}{H} \right)^4 \right]}{1 + 4 \sum_{j=1}^n \frac{G_{Ej}}{G_E} \left(\frac{h_j}{H} \right)^4} = 1.4 G_E \end{aligned}$$

也就是说，针对待求坝段，如能求出坝体的总体质心，则其动态分布系数为常数 1.4。

在 AutoCAD 制图软件中，可以利用查询命令直接求得质心位置（一般将底面中心点置于坐标原点位置以方便结构计算中其他内容的求解）。其求解方法为：①对结构形式简单的标准坝段，可针对坝体断面创建面域，然后利用“工具→查询→面域/质量特性”直接求得；②对结构形式复杂的坝段，如溢流坝段、底孔坝段等，可先将待求坝段生成立体图形，然后再利用查询命令求得。

2.2 进水塔的水平地震惯性力计算

采用拟静力法计算进水塔地震作用效应时，各质点动态分布系数应按图 1 规定采用。当建筑物高度 $H = 10 \sim 30$ m 时， $\alpha_m = 3.0$ ；当 $H > 30$ m 时， $\alpha_m = 2.0$ 。

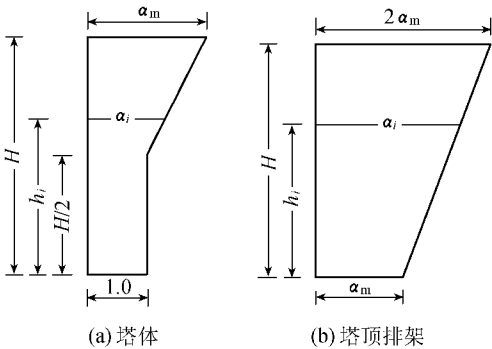


图 1 进水塔动态分布系数 α_i

从图 1 可以看出，对进水塔而言，下部 $H/2$ 范围内， α_i 为常量，塔井下部质量分布形态和位置不影响地震惯性力的大小，可单独作为一个计算分层处理。塔顶排架地震效应计算较为简单，不再赘述。在进水塔上部 $H/2$ 范围内， α_i 为变量，此时塔井的质量分布形态和分布位置将直接影响地震惯性力的大小。在结构设计中，进水塔在一定高程范围内横截面形式变化很小，则单位高度的 G_{Ei} 又可以视作常量，该高程范围内地震惯性力的大小就等于该段质心对应的地震动态分布系数与该段范围内塔体的质量之积^[3]。为此，在进水塔上部 $H/2$ 范围内其分层原则可确定为某断面在高度上的分布厚度或高度。基于此原则，可在进水塔计算中对分层的数量予以简化。下面以新疆克孜勒库拉水电站进水口（塔井净高 24.0 m）为例予以说明。

六分层法是指下部 $H/2$ 分为 1 层，上部 $H/2$ 等分为 5 层，计算结果如表 1 所示，总地震惯性力为 439.86 kN，水平方向，作用位置距底板底面 14.593 m。

表 1 六分层法计算地震惯性力（常规）

分层号	分层重力/kN	质心位置/m	α_i	地震惯性力/kN
1	36 956	5.09	1.00	141.41
2	7 941	13.14	1.19	36.15
3	7 362	15.60	1.60	45.09
4	7 677	17.98	2.00	58.64
5	7 336	20.40	2.40	67.37
6	8 442	22.94	2.82	91.19

注：质心位置指分层质心距进水塔底面的距离。

两分层法是指按进水塔高度上下等分为两部分，计算结果如表 2 所示，总地震惯性力为 439.86 kN，水平方向，作用位置距底板底面 14.597 m。

表 2 两分层法计算地震惯性力（优化）

分层号	分层重力/kN	质心位置/m	α_i	地震惯性力/kN
1	36 956.2	5.09	1.00	141.41
2	38 758.1	18.07	2.01	298.44

两种计算方法计算的地震惯性力大小完全一致，作用位置略有差异^[4]。可见，采用优化的两分层法亦可满足设计要求。

2.3 水闸的水平地震惯性力计算

水闸计算相对来说较为简单，其分析方法和计算分层原则可参照 2.2 节。计算时水闸动态分布系数参照 SL 203—97《水工建筑物抗震设计规范》表 8.1.3 选取即可。

3 结 语

根据工程实践总结提出了各种建筑物采用拟静力法计算时的优化算法，为广大设计人员在求解类似问题时提供了较为便捷的途径。在使用中应注意

以下几点 :①计算方法运用了整体计算的理念 ,设计人员掌握必要的三维制图技术 ,在重力坝计算中只需要求得其质心和重力值即可一次性求得目标值 ;②在进水塔的地震惯性力效应计算中 ,应注意上部 $H/2$ 范围内的质心与地震惯性力的合力作用位置并不重合 ,需要通过技术手段分析还原地震惯性力的作用位置 ;③需要准确理解建筑物质量分布、建筑物地震动态分布系数、计算分段质心以及地震惯性力作用合力作用点的概念 ,这将有助于本算法的掌握和运用。

(上接第 18 页)

[5] 凌建明 ,林小平 ,赵鸿铎 .圆柱形桥墩附近三维流场及河床局部冲刷分析 [J]. 同济大学学报 :自然科学版 , 2007 (5) :582-586.

[6] 彭凯 ,张绪进 ,赵世强 .桥位附近水流及局部冲刷的数值模拟 [J]. 水科学进展 , 2001 ,13 (2) :196-200.

[7] BRICE J C , BLODGETT J C . Countermeasures for hydraulic problems at bridge [R]. Washington D. C. :Federal Hay Administration ,1978.

[8] CHIEW Y M . Scour protection at bridge piers [J]. Journal of Hydraulic Engineering ,1992 ,118 (9) :1260-1269.

[9] 房世龙 ,陈红 ,王钢 .桥墩局部冲刷防护工程特性研究

参考文献 :

[1] SL203—97 水工建筑物抗震设计规范 [S].

[2] 杜成斌 ,赵光恒 .拱坝地震响应的动力控制研究 [J]. 河海大学学报 :自然科学版 , 2000 ,28 (1) :109.

[3] 刘汉龙 ,钱家欢 .随机地震作用下土石坝永久变形预估 [J]. 河海大学学报 ,1996 ,24 (2) :96.

[4] 董志高 ,吴继敏 ,王文远 ,等 .地震作用崩塌堆积体边坡稳定性分析 [J]. 水利水电科技进展 , 2006 ,26 (5) :37-40.

(收稿日期 2011-09-21 编辑 周红梅)

综述 [J]. 水利水电科技进展 , 2007 ,27 (4) :84-89.

[10] 孙东坡 ,宋永军 ,程琳 ,等 .下游设有防护坝的浅基桥梁局部冲刷研究 [J]. 水力发电学报 , 2007 ,26 (6) :83-87.

[11] 张万锋 ,文恒 ,牟献友 ,等 .环翼式桥 (闸) 墩防冲刷实验研究 [J]. 内蒙古农业大学学报 :自然科学版 , 2011 ,32 (3) :226-229.

[12] 刘文启 .桥墩的防冲刷保护 [J]. 黑龙江水利科技 ,1995 (4) :107-112.

[13] 马奎 .桥墩局部冲刷机理分析及防护建议 [J]. 中国高新技术企业 , 2010 (15) :16-17.

[14] 李奇 ,王义刚 ,谢锐才 .桥墩局部冲刷公式研究进展 [J]. 水利水电科技进展 , 2009 ,29 (2) :85-88.

(收稿日期 2012-02-09 编辑 骆超)

· 简讯 ·

《河海大学学报(自然科学版)》和《水利水电科技进展》再次入选中文核心期刊

《河海大学学报(自然科学版)》编辑部和《水利水电科技进展》编辑部接到《中文核心期刊要目总览》2011 年版编委会的正式通知《河海大学学报(自然科学版)》入编《中文核心期刊要目总览(2011 年版)》(即第六版)之综合性科学技术类的核心期刊《水利水电科技进展》入编《中文核心期刊要目总览(2011 年版)》之水利工程类的核心期刊。

《中文核心期刊要目总览(2011 年版)》是由中国科学院国家科学图书馆、中国社会科学院文献信息中心、中国人民大学书报资料中心、国家图书馆、北京地区十几所高校图书馆、中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、中国农业科学院农业信息研究所、北京万方数据股份有限公司等相关单位的百余名专家和期刊工作者研究完成的。这次对中文核心期刊的评价仍采用定量评价和定性评审相结合的方法。定量评价指标体系采用了被引量、被引量、他引量、被摘率、影响因子、被国内外重要检索工具收录、基金论文比、Web 下载量等 9 个评价指标。选作评价指标统计源的数据库及文摘刊物达 60 余种 ,统计文献量达 221 177 余万篇次(2006—2008 年) ,涉及期刊 14 400 余种。参加核心期刊评审的学科专家达 8 200 多位。经过定量筛选和专家定性评审 ,从我国正在出版的中文期刊中评选出 1 982 种核心期刊。

目前 ,在我国自然科学领域较有影响的核心期刊评定主要有中国科学院文献信息中心的《中国科学引文数据库》(CSCD)、北京大学图书馆的《中文核心期刊要目总览》、中国科技信息研究所的《中国科技论文统计源期刊》(中国科技核心期刊)三大体系。其中《中文核心期刊要目总览》已于 1992 年、1996 年、2000 年、2004 年、2008 年出版过 5 次。由河海大学主办的《河海大学学报(自然科学版)》和《水利水电科技进展》能多年持续被评为“中文核心期刊” ,标志着这两个期刊保持了较好的发展势头 ,对提升河海大学学术声誉 ,促进学科建设将起到有力的推动作用。

(本刊编辑部供稿)