

# 青岛环胶州湾地区暴雨特征及暴雨灾害风险分析\*

马 艳<sup>1</sup>, 黄 容<sup>1</sup>, 于进付<sup>2</sup>, 王 颖<sup>3</sup>, 董海鹰<sup>1</sup>, 郭丽娜<sup>1</sup>, 李德萍<sup>1</sup>

(1. 青岛市气象局, 山东 青岛 266003; 2. 即墨市气象局, 山东 即墨 266200; 3. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044)

**摘 要:** 通过 37 年(1971–2007 年)的气候资料分析了青岛地区暴雨气候特征和暴雨发生概率及重现期分布特征。基于暴雨是对青岛地区城市建设和发展影响较大的气象灾害, 结合 1984–2007 年的暴雨灾情普查资料, 进行了暴雨气象风险评估。总的看来, 青岛环湾地区暴雨灾害风险最高的地区在崂山区、胶南市和市北区。

**关键词:** 暴雨; 风险评估; 环胶州湾; 山东青岛

**中图分类号:** P333.2   **文献标志码:** A   **文章编号:** 1000–811X(2012)04–0042–05

21 世纪以来, 伴随着全球城市化进程, 经济快速发展的同时, 自然环境不断恶化, 城市成为抵御气象灾害能力最为薄弱的地方。2001 年 12 月 7 日, 北京地区一次突发的小雪天气过程, 全市平均降水量仅为 1~2 mm, 造成北京城区的交通近乎于瘫痪, 数十万辆机动车几乎无法行驶, 近百万市民被困在汽车中达数小时<sup>[1]</sup>。另一方面, 城市是人口、经济高度密集的地方, 一旦发生气象灾害, 城市遭受的损失远远超过其它地区。2007 年 7 月 17 日, 重庆主城区的强降雨导致城区交通几乎瘫痪, 一些著名的文物古迹被洪水冲毁, 工厂大面积停产, 学校停课, 居民生命财产受损。此次暴雨引发的洪涝、泥石流等次生灾害造成 643.5 万人受灾, 42 人死亡, 12 人失踪, 直接经济损失 26.5 亿元<sup>[2]</sup>。城市暴雨灾害已成为气象灾害研究的重点领域。于文金等<sup>[3]</sup>, 莫建飞等<sup>[4]</sup>针对当地城市暴雨灾害进行了评估分析。

青岛也是一个气象灾害频发的城市, 暴雨、大风、大雾、台风以及雷暴等气象灾害对城市的日常运行与市民的生命财产安全造成了严重威胁<sup>[5]</sup>。开展城市气象灾害风险评估分析是青岛市防灾减灾工作中必不可少的一环。本文利用 1971–2007 年共 37 年的气候资料和 1984–2007 年近 20 多年来的气象灾情普查资料, 以暴雨为研究对象, 综合分析其空间和时间分布特征; 基于 GIS 利用灾害学风险评估的指标加权综合模型, 进行暴雨灾害风险评估分析。青岛市区、崂山区、胶南市、胶州市、即墨市、平度市和莱西市是本次研究的基本研究单位, 采用的气象资料也是上述 7 个国家基准站的历史资料。

## 1 青岛地区暴雨特征分析

暴雨是指日降水量 $\geq 50$  mm 的降水。青岛暴雨多发生在夏季, 其次是春夏之交和夏秋之间。本文依据 1971–2007 年青岛地区 7 个国家基准站的气候资料和 1984–2007 年暴雨灾情普查资料分析青岛地区暴雨以及暴雨灾害的空间分布特征; 考察了在全球变暖的背景下青岛地区暴雨发生频率特征, 进行了暴雨灾害风险评估。

### 1.1 暴雨空间分布特征

图 1 是 1971–2007 年青岛地区暴雨日数空间分布图, 图中各数字代表了 1971–2007 年间相应站点的暴雨日数。可以看到, 在青岛地区北部的莱西和南部的胶南出现暴雨频次最多, 青岛市区和崂山区等地暴雨日数相对较少。莱西年平均暴雨日数 2.6 d, 主要出现在 4–9 月, 青岛市区和崂山年平均暴雨日数则为 2.1 d, 多发生在夏季。

区域性持续的暴雨常常会引起河流洪水泛滥, 冲毁堤坝、房屋、道路、桥梁, 淹没农田、城镇等, 引发洪涝、山洪、地质灾害等, 造成农业或其他财产损失和人员伤亡。图 2 是依据 1984–2007 年的气象灾情普查资料所获得的青岛地区暴雨致灾分布图, 可以看到暴雨致灾区主要为南北两条: 暴雨在北部的莱西和即墨造成的灾情比较严重, 胶南也是暴雨致灾较重的地区, 青岛市区和崂山等环胶州湾大部分地区的暴雨致灾的次数相对较低。但不容忽视的是, 环胶州湾地区的过程降水极值多在 200 mm 以上, 胶州湾底部的红岛区甚至达到 400~500 mm(图 3)。局地短时强降水易引发洪涝灾害, 影响城市整体防洪, 对城市排水能力和管网设计提出了严峻的挑战和考验。

\* 收稿日期: 2012–04–17    修回日期: 2012–05–24

基金项目: 国家高技术研究发展计划(2008AA09A404–2); 中国气象局城市气象科学研究基金(UMRF200907); 青岛市科技局关键技术攻关计划项目(10–4–1–11–hy)

通讯作者: 马艳(1970–), 女, 宁夏银川人, 博士, 研究员, 主要研究方向为气候与气候变化. E-mail: qdyanma@163.com

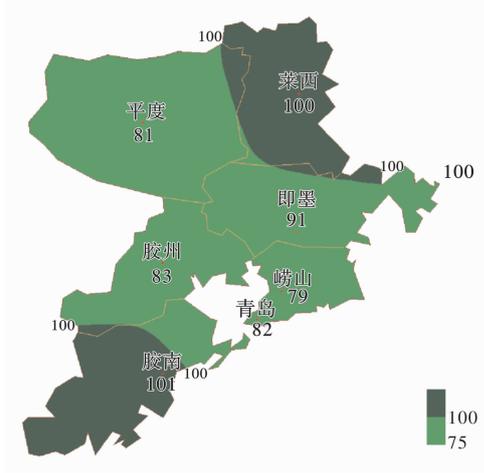


图1 青岛地区 1971 - 2007 年暴雨日数分布图

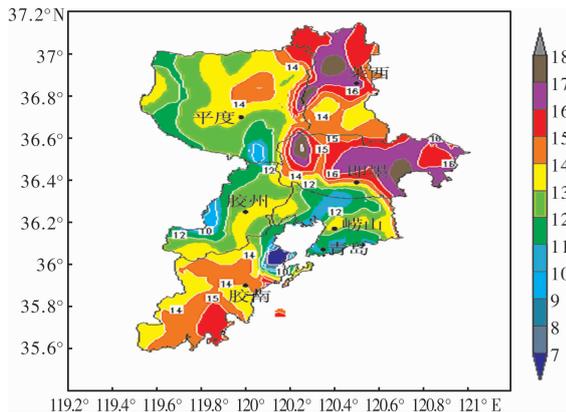


图2 青岛地区暴雨致灾分布(1984 - 2007 年)

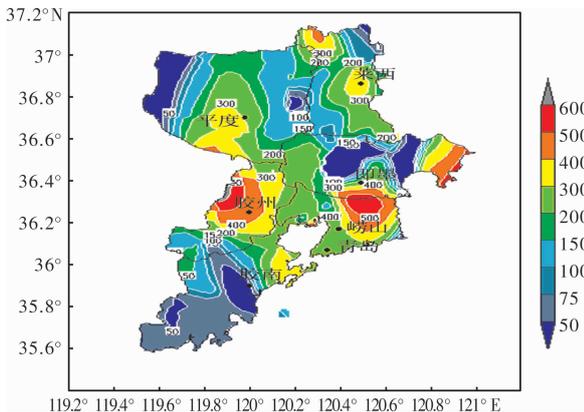


图3 青岛地区暴雨极值分布(1984 - 2007 年)

### 1.2 暴雨时间分布特征

本文对青岛地区日降水量达到暴雨程度(日降水量  $\geq 50$  mm)的降水频次进行分析,发现近 10 年(1997 - 2007 年)暴雨发生次数占近 30 年(1978 - 2007 年)总次数的 58%,其中青岛市区为 46.2%,崂山区为 63.6%,胶南市为 64.3%,超过近 30 年暴雨发生频数的一半,近 10 年暴雨发生频率明显增加。表 1 中进一步统计分析了 1978 - 2007 年 30 年间青岛地区日降水量超过 200 mm 的大暴雨的时

间分布特征。可以看出,这种极端降水事件都发生在 1990 年代以后,21 世纪发生暴雨的频率增加极为明显。这与青岛快速的城市化进程密切相关。

表 1 1978 - 2007 年青岛日降水量大于 200 mm 的极端降水事件

排序	时间	台站	降水量/mm
1	1990 - 08 - 16	胶南	299.9
2	1997 - 08 - 19	即墨	303.5
3	2000 - 08 - 29	胶南	236.4
4	2001 - 08 - 01	青岛 / 胶州	219.1 / 211.3
5	2006 - 08 - 26	即墨	211.7
6	2007 - 08 - 11	青岛	241.2
7	2007 - 09 - 20	胶南	203.7

## 2 暴雨出现概率及其重现期特征

基于青岛地区 7 个站点 1971 - 2007 年共 37 年的最大日降水量资料,利用皮尔森 - III 型概率分布分析青岛地区暴雨发生概率及重现期特征。分别对日降雨量大于 100 mm、大于 150 mm 和大于 200 mm 暴雨的出现概率进行分析。

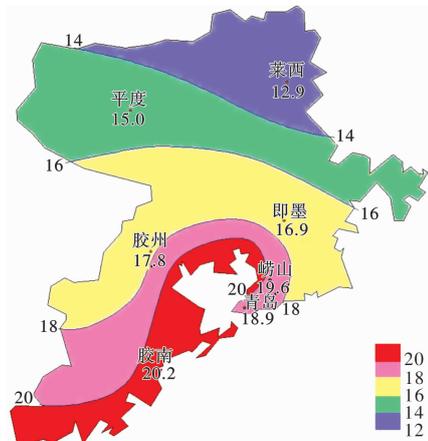


图4 青岛地区暴雨出现概率( $\geq 100$  mm)

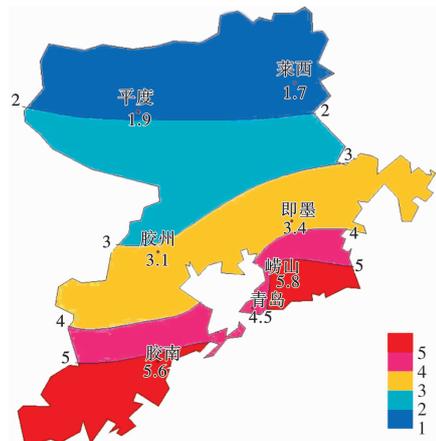


图5 青岛地区暴雨出现概率( $\geq 150$  mm)

由日降雨量大于 100 mm 的暴雨出现概率来看(图 4),其分布呈南部以及胶州湾沿岸大、北部小的趋势,胶南出现日雨量为 100 mm 的暴雨频率最

大,为20.2%。日雨量大于150 mm的暴雨出现频率分布呈现南部大、北部小的趋势,其中崂山出现日雨量为150 mm的暴雨频率最大为5.8%,胶南次之为5.6%(图5)。日雨量大于200 mm的暴雨出现频率的空间特征也是南部大北部小的趋势,崂山出现日雨量为200 mm的暴雨频率最大为1.8%,胶南次之为1.7%,青岛为1.5%(图略)。

由各重现期暴雨的日雨量极值分布来看(表2),青岛50年一遇的暴雨日雨量分布呈南部大北部小的趋势,青岛、崂山、胶南、即墨四区50年一遇暴雨日雨量均大于240 mm。100年一遇的暴雨日雨量分布同样呈南部大北部小的趋势,其中胶南最大为308 mm,即墨次之为297 mm。200年一遇的暴雨雨量分布有两个极大值中心,其中胶南最大为358 mm,即墨次之为346 mm,青岛和崂山200年一遇暴雨的日雨量极值均在300 mm以上。因此在未来城市规划和建设中,应加强水利防洪设施建设,制定新的市政工程施工标准,考虑暴雨可能给城市运行带来的灾害。

表2 青岛地区7个站多年一遇暴雨极值

站名	50年一遇日雨量/mm	100年一遇日雨量/mm	200年一遇日雨量/mm
青岛	245.0	289.0	335.0
崂山	240.0	276.0	313.0
胶南	259.0	308.0	358.0
胶州	210.0	239.0	268.0
即墨	251.0	297.0	346.0
平度	186.0	209.0	232.0
莱西	173.0	191.0	210.0

### 3 暴雨灾害风险评估

暴雨灾害作为自然灾害的一部分,也是致灾因子、孕灾环境与承灾体综合作用的产物<sup>[6-7]</sup>。本文从致灾因子、孕灾环境和承灾体构成三个方面进行青岛地区暴雨灾害评估。其中评估的数据主要基于青岛1971-2007年七个基准站气候资料、1984-2007年的各地区各类气象灾情普查资料。

#### 3.1 致灾因子-暴雨的危险性

首先根据1971-2007年青岛地区基准站的数据,以3个等级降水量日数(降水量50 mm, 100 mm和150 mm)为指标,按照暴雨概率公式计算不同等级降水概率,再对不同等级的暴雨频率取权重0.17、0.33、0.50,最后利用危险度公式计算致灾因子的危险度值(表3)。

$$\text{暴雨频率} = \frac{\text{不同等级暴雨日数}}{\text{统计时段总年数}} \quad (1)$$

$$\text{危险度} = \sum_{i=1}^3 (\text{权重} \times \text{频率}), i = 1, 2, 3. \quad (2)$$

从表3中不难发现,青岛环湾地区暴雨危险度值普遍偏高,且空间差异不大,最小值为0.778,最大值为1。胶南、胶州东南部、城阳区北部值相对较高,在均值以上。

#### 3.2 青岛孕灾环境的敏感性

青岛常见的暴雨灾害主要是由暴雨引发的洪涝和泥石流等次生灾害。这些灾害的发生与青岛的地形和河网有着密切的关系。青岛位于山东半岛南部沿海,西有胶州湾,东、南有黄海环绕。青岛全市大体有3个山系:东南是崂山山脉(主峰海拔1132.7 m),向西、北绵延至青岛市区;北部为大泽山(海拔736.7 m),南部为大珠山(海拔486.4 m)等组成的胶南山群。市区有浮山(海拔384 m)、太平山(海拔150 m)、青岛山(海拔128.5 m)。此外,还有许多地形高度小于100 m的小山散布在市区内。青岛地区分布着大沽河水系和胶莱河水系两大水系,以及沿海其他一些较小的独流入海的河流,全市共有大小河流224条。除南胶莱河、北胶莱河、大沽河等少数河流属平原河流外,其他均属于山区丘陵季节性河流。河流源短流急,自成体系单独入海<sup>[8]</sup>。本文选用地形指数和综合河网密度指数来描述青岛环胶州湾地区孕灾环境的敏感性。如图6所示,青岛环胶州湾地区孕灾环境敏感度最高的是崂山区,其地形指数和综合河网密度指数都较高;其次是胶南区、市北区、李沧区、四方区、胶州市,敏感度指数都在均值之上;城阳区、黄岛区和市南区均低于平均值,其中市南区暴雨灾害的敏感性最小。

表3 青岛各基准站不同等级降水概率和致灾因子危险度

站点	≥50 mm		≥100 mm		≥150 mm		危险度	危险度标准值
	日数/d	概率	日数/d	概率	日数/d	概率		
青岛	82	0.606	17	0.125	6	0.044	49.578	0.848
崂山	79	0.584	16	0.118	4	0.029	45.508	0.778
胶州	83	0.614	17	0.125	5	0.037	48.838	0.835
胶南	101	0.747	18	0.133	7	0.051	58.457	1.000
即墨	91	0.673	18	0.133	5	0.037	52.538	0.898
平度	81	0.599	16	0.118	3	0.022	45.138	0.772
莱西	100	0.740	13	0.096	2	0.014	48.838	0.835

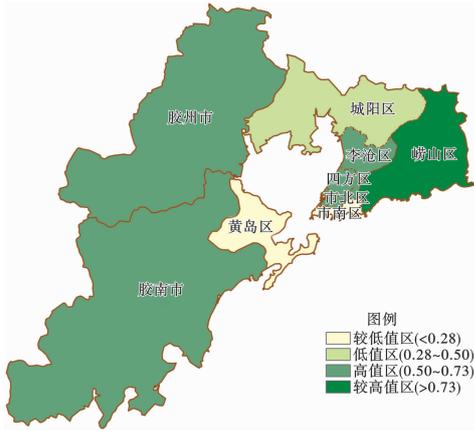


图6 暴雨灾害孕灾环境的敏感性空间分布图

### 3.3 暴雨灾害承灾体的易损性分析

承灾体即气象灾害作用的对象, 是灾害形成的必要条件, 也是影响灾情大小的重要因子。暴雨灾害损害的对象主要是人和建筑设施。考虑指标的可取性, 本文采用人口密度指标和地均 GDP 指标来表征人和物的损失。综合分析人口密度标准值和地均 GDP 指数获得承灾体的易损度指标。其中人口、GDP、各区市面积的数据均从《2008 青岛统计年鉴》获取。

从统计特征分析出发, 选取均值和标准差作为指标, 将易损度分成 4 级(表 4): 极低值区 (<0.29), 高值区(0.29~0.62), 极高值区(0.62~0.95), 超高值区(>0.95)。由表 4 可知, 青岛环湾地区承灾体易损度空间差异很大, 市南区、市北区、四方区是人口密集、经济密集的地方, 也是易损度较高的区域。李沧区、黄岛区、城阳区、崂山区、胶州市和胶南市易损度均远低于平均值。

### 3.4 暴雨灾害风险度分析

利用气象灾害风险度指标加权综合模型<sup>[7]</sup>, 综合考虑致灾因子的危险度、孕灾环境的敏感性以及承灾体的暴露度三个方面在青岛环胶州湾地区暴雨灾害的权重, 获得了如图 7 所示的暴雨灾害的风险度空间分布。可知, 青岛环湾地区暴雨灾害风险最高的地区在崂山区、胶南市和市北区, 这是暴雨灾害重点防御区。崂山区风险度值高的主要

原因是孕灾环境敏感度值高, 该区的 50~250 m 高程指数、坡度指数和综合河网密度指数都很高; 暴雨引起的山洪、泥石流等灾害是该区防御的重点。胶南市则是因为不同等级暴雨概率高导致其致灾因子危险度值最高, 另外该市 50~250 m 高程的地形比重和河网密度值高导致其孕灾环境敏感度较高。市北区是由于其河网密度、人口密度和地均 GDP 这些因素值较高导致该区风险度高, 其主要防御的是暴雨引起的洪涝灾害。胶州南部主要是因为河网密集, 其重点防御的也是暴雨引起的洪涝灾害。

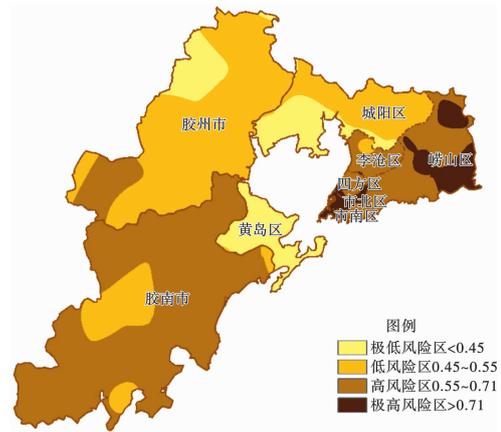


图7 青岛环湾地区暴雨灾害风险区划图

## 4 结论

通过分析 1971 - 2007 年青 岛地区 7 个基本站气候资料和 1984 - 2007 年的暴雨灾情普查资料, 表明在青岛地区北部的莱西和南部的胶南出现暴雨频次最多; 伴随着快速城市化进程, 青岛地区极端降水频次增多。虽然胶州湾地区暴雨发生频率较低, 但过程降雨极值很大, 易引发洪涝灾害, 影响城市整体防洪。建议在未来在新增城市建设和旧城改造中, 应加强城市防洪设施和排水系统的建设, 提高泄洪能力, 保证城市排水系统在暴雨袭击时可以正常运转。暴雨风险评估分析表明, 青岛环湾地区暴雨灾害风险最高的地区在崂山区、胶南市和市北区, 这是暴雨灾害重点防御区。

表 4 青岛环湾地区承灾体易损度指数

市、区名称	人口密度		地均 GDP		易损度指数	分级
	(人/km <sup>2</sup> )	标准值	(亿元/km <sup>2</sup> )	标准值		
市南区	18 014.37	1.000	11.100	1.000	1.000	超高值区
市北区	16 493.03	0.915	6.371	0.574	0.707	极高值区
四方区	11 231.57	0.623	3.437	0.309	0.432	高值区
李沧区	3 063.58	0.170	1.823	0.164	0.166	低值区
黄岛区	1 192.16	0.066	2.152	0.193	0.144	低值区
城阳区	891.04	0.049	0.868	0.078	0.067	低值区
崂山区	575.56	0.032	0.646	0.058	0.048	低值区
胶州市	654.74	0.036 3	0.345 9	0.031 2	0.033 2	低值区
胶南市	442.10	0.024 5	0.208 6	0.018 8	0.021 0	低值区

注: 平均值 0.291, 标准差 0.330

## 参考文献:

- [1] 孙继松. 北京地区一次小雪天气过程造成路面交通严重受阻的成因分析[J]. 大气科学, 2003, 27(6): 1057-1067.
- [2] 赫晓菊. 浅谈城市气象灾害[J]. 青海气象, 2008(3): 66-69.
- [3] 莫建飞, 陆甲, 李艳, 等. 基于 GIS 的广西农业暴雨洪涝灾害风险评估[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 38-43.
- [4] 于文金, 闫永刚, 吕海燕, 等. 基于 GIS 的太湖流域暴雨洪涝灾害风险定量研究[J]. 灾害学, 2011, 26(4): 1-7.
- [5] 杨育强, 马艳, 刘学忠, 等. 胶州湾气象变化和城市规划关系研究[R]. 青岛: 青岛市气象局, 2010.
- [6] 史培军. 三论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(3): 1-9.
- [7] 张继权, 李宁. 主要气象灾害风险评价与管理的数量化方法及其应用[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2007: 20.
- [8] 尹明泉, 谭俊龄, 王治良, 等. 青岛市崂山区地质灾害气象预报预警[J]. 水文地质工程地质, 2006, 33(2): 96-99.

## Characteristics of Rainstorm and its Disaster Risk Assessment around the Region of Jiaozhou Bay

Ma Yan<sup>1</sup>, Huang Rong<sup>1</sup>, Yu Jinfu<sup>2</sup>, Wang Ying<sup>3</sup>, Dong Haiying<sup>1</sup>, Guo Lina<sup>1</sup> and Li Deping<sup>1</sup>  
(1. Qingdao Meteorological Bureau, Qingdao 266003, China; 2. Jimo Meteorological Bureau, Jimo 266200, China; 3. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** Rainstorm characteristics, distribution characteristics of occurrence probability and recurrence interval in Qingdao are analyzed based on the climate data of 37 years (1971-2007). Rainstorm is the main meteorological disaster in the process of developing and constructing the region. The rainstorm disaster risk is assessed by analyzing the survey data from 1984 to 2007. In general, the high risk regions are the districts of Lao Mountain, Shibei and the city of Jiaonan.

**Key words:** rainstorm; risk assessment; Jiaozhou Bay; Qingdao

(上接第 33 页)

## Study on Influences of Abnormal Moisture Transport in Southwest China

Li Changshun, Tang Decai and Song Ping  
(School of Economics & Management, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** Airflow Trajectory Model (HYSPLITv4.9) based on Lagrange method is applied to weather and climate diagnose. By simulating three-dimensional airflow trajectory in the target area, 2 problems are solved mainly: ① Source region and sink area of airflow are determined precisely. ② Spatial location and physical state change of the airflow transportation is definitely reflected. Influences of moisture transport in Southwest China are analyzed concretely according to Airflow Trajectory Model (HYSPLITv4.9) based on Lagrange method, time-dependent curve of air mass and height dependent curve of specific humidity of the same air mass.

**Key words:** Southwest arid region; trajectory model; moisture transport; Lagrange method

(上接第 36 页)

## Seismic Response Analysis of Large Substations under Near-fault Ground Motions

Wen Bo, Cao Meng and Niu Ditao  
(Civil Engineering Institute, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** Combining with the characteristics of near-fault ground motions, and according to the specific conditions in China, a three dimensions dynamic analysis model considering interactions of main structure and electrical equipment of the substations is established. The nonlinear time-history dynamic method with a series of near-fault ground motion waves is used in seismic response analysis of large substations, and the results are comparative analyzed with the results of seismic response under far-fault ground motions. It is shown that the reactions of substation buildings under near-fault ground motions are stronger than those in common ground motions and the destruction of the former is more serious than the latter. Meanwhile, the seismic reactions of substations with isolation technology under near-fault ground motions are investigated to compare with those in normal substations. It can be learned that the seismic reactions of isolation substations under near-fault ground motions are better than those substations without isolation technology, which is feasible for the substations built in the regions of near-fault ground.

**Key words:** substation; finite element model; near-fault ground motions; interaction; isolation design