

文章编号: 1006-6616(2001)02-0104-07

深圳市东水西调输水隧洞工程地震危险性分析

谭成轩¹, 孙叶², 杨美伶¹

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 中国地质科学院城市与工程场地稳定性研究中心, 河北 燕郊 056201.)

摘要:在前人对深圳地区地震烈度的鉴定和评价基础上, 结合地震地质分析和地震危险性超越概率计算, 确定深圳市东水西调输水工程以 ZD_2 与 ZD_3 之间近 EW 向一线为界, 以北地震基本烈度定为 VI 度区, 以南属于 > VI 度区, 核定为 VII 度区。

关键词: 输水隧洞工程; 地震危险性; 地震烈度

中图分类号: TU435

文献标识码: A

0 引言

深圳市自 1985 年以来, 城市高速发展, 人口增长 7 倍以上, 达 350 多万。为了解决城市供水, 实施东水西调隧洞输水工程(东江→深圳市西沥水库, 全长约 100km)。输水隧洞在坪山以西穿过深圳断裂带(图 1)^[1~4], 该段隧洞长约 47.7km, 断面 4.2m×4.2m, 为保证工程选线合理, 保障安全施工和正常运行, 对输水隧洞工程进行地震危险性分析, 为工程设计和施工提供依据并对工程设防提供建议。

1 深圳地区地震烈度的鉴定与评价概况^[5]

解放初期, 我国采用历史地震烈度影响场等震线以及震源危险区影响场, 确定深圳所在地区的地震烈度均 < VI 度, 故定为 VI 度区。1976 年国家地震局编制的中国地震烈度区划图, 根据历史地震影响场以及地震地质条件划出未来地震危险区, 综合各种因素确定深圳地区今后 100 年内地震基本烈度为 VI 度。1980 年, 广东省地震局将深圳市东部的大亚湾核电站站址的地震基本烈度定为 VI 度区, 但 1981 年又修改为 VII 度区, 并注明 VI 度区仅适用一般中、小型工程建设。1987 年胡海涛等编写《广东核电站规划选址区域稳定性分析与评价》中, 对该区地震危险性预测认为影响烈度最大不超过 VII 度。1988 年地质矿产部组织编写《深圳市区域稳定性评价》, 对地震危险性预测分析认为深圳市中心的地震基本烈度为 VI 度区。1990

收稿日期: 2001-02-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 49802017); 地质力学开放实验室项目(dlkf-9803)

作者简介: 谭成轩(1964—), 男, 理学博士, 副研究员, 从事三维构造应力场及其在地壳稳定性评价、石油勘探开发、地质灾害等方面的应用研究。

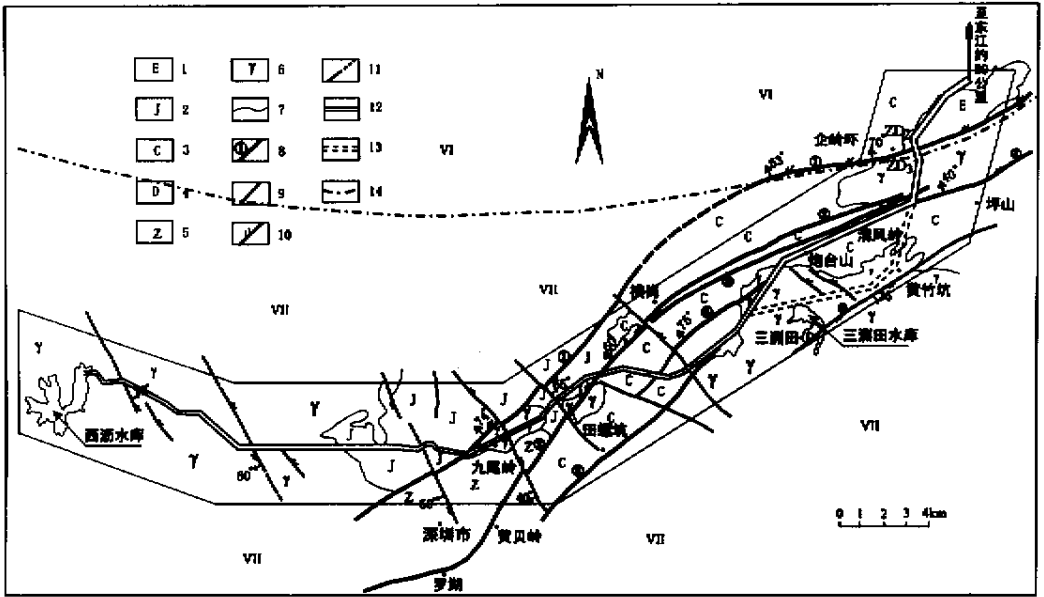


图 1 深圳市东水西调输水工程廊道地区构造地质略图

Fig.1 Tectonic geological map in the corridor area of the diversion tunnel in Shenzhen

1. 第三系; 2. 侏罗系; 3. 石炭系; 4. 泥盆系; 5. 震旦系; 6. 花岗岩与混合花岗岩; 7. 地质界线; 8. 主要断裂及编号 (即深圳断裂带): ①企岭吓—九尾岭断裂; ②横岗—罗湖断裂; ③清凤岭断裂; ④炮台山断裂; ⑤田螺坑断裂; ⑥黄竹坑断裂; 9. 次级断裂; 10. 压扭性断裂; 11. 实测与推测断裂; 12. 输水隧洞; 13. 输水管线备用方案; 14. 地震基本烈度Ⅵ度区与Ⅶ度区界线

年国家地震局按 50 年超越概率为 10% 编制中国地震烈度区划图, 1992 年经国务院批准发布实施, 深圳地区地震基本烈度定为Ⅵ度。同年 5 月深圳市人民政府办公厅发文 (304 号), 根据国家地震局烈度评定委员会于 1988 年 7 月和 1989 年 6 月两次会议审定, 深圳市西部 (福田至松岗以西) 及东部大鹏半岛 (盐灶—沙坑一线以东) 定为Ⅶ度区, 其它为Ⅵ度区。1995 年 10 月 12 日, 广东省人民政府文件 (粤府 [1995] 85 号), 根据国家地震局资料, 编制了 1:180 万广东省地震烈度区划图, 给定在一般场地条件下, 50 年超越概率为 10% 的烈度值。地震烈度Ⅶ度与Ⅵ度分界线位于松岗—平湖—坪山一线, 分界线以南为Ⅶ度区, 以北为Ⅵ度区。

综上所述可以看出, 深圳市根据以往实际地震地质资料, 经过分析预测, 地震基本烈度多数被定为Ⅵ度区, 鉴于工程及城市发展的需要, 部分地段地震基本烈度提高为Ⅶ度, 并不断扩大Ⅶ度区的范围。为此, 对于深圳市东水西调输水隧洞工程, 以输水隧洞为中心进行地震危险性分析, 确定隧洞不同地段的地震基本烈度, 对于工程合理选线和安全设防具有重要意义。

2 输水隧洞工程地震危险性分析^[6,7]

2.1 潜在震源区的划分

本文在区域地震活动性分析的基础上，以输水管线为中心，在半径约 200km 范围内，划分了 16 个潜在震源区（图 2）。

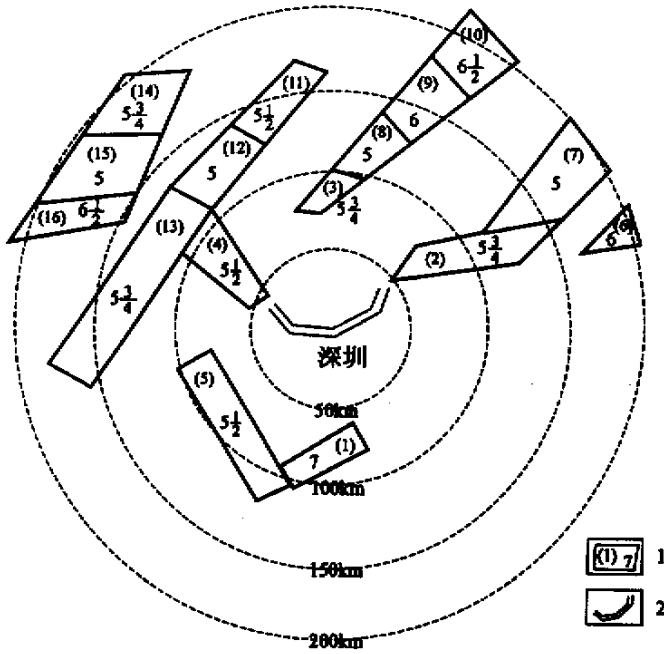


图 2 深圳及周围区域潜在震源区划分示意图

Fig.2 Zonation of potential focal sources in Shenzhen and its adjacent area

1. 潜在震源区编号与最大震级上限；2. 输水管线

2.2 各潜在震源区地震活动性参数的确定

依据确定地震活动性参数的有关原则和方法，图 2 所示潜在震源区的活动性参数如表 1。

2.3 各潜在震源区对输水管线的影响

2.3.1 烈度衰减规律的分析 本区烈度衰减规律采用华中南地区的衰减公式^[6]：

$$\text{长轴: } I_a = 4.600 + 1.212M_u - 1.393\ln(R + 15) \quad \delta = 0.56$$

$$\text{短轴: } I_b = 3.354 + 1.160M_u - 1.153\ln(R + 7) \quad \delta = 0.51$$

式中： M_u 为最大震级， R 为各潜在震源区震中到输水管线的最小距离， δ 为标准差。依据研究区各潜在震源区最大震级和最小距离，计算各潜在震源区对输水管线的最大影响烈度（表 2）。

2.3.2 地震危险性超越概率分析

(1) 各潜在震源区对输水管线的年平均发生率总影响矩阵 $[\lambda]$ 计算

对于输水管道周围 16 个潜在震源区将 $4 \leq M \leq 7$ 地震按 $\Delta M = 0.5$ 分为 6 级，并用 M_i 表示 ($i = 1, 2, \dots, 6$)；将 $50\text{km} \leq R \leq 200\text{km}$ 按 $\Delta R = 25\text{km}$ 分为 7 级，并用 R_j 表示 ($j = 1, 2, \dots, 7$)。震源 K 在离输水管道距离为 R_j ，震级为 M_i 的年发生率为：

$$\lambda_{ijk} = \lambda_{ik} \frac{A_{jk}}{A_k}$$

式中： λ_{ik} 为震源 K 震级为 M_i 的年平均发生率（表 3）； A_k 为震源 K 的面积； A_{jk} 为以输水管线为中心，以 $(R_j - \Delta R/2)$ 及 $(R_j + \Delta R/2)$ 为半径的两圆弧所切割震源 K 的面积（图 2）。

表 1 各潜在震源区地震活动性参数

Table 1 Parameters of seismicity of potential focal sources

潜在震源区编号	最小震级 M_o	最大震级 M_u	活动频度 β	年平均发生率 λ_{ik} /次/a					
				M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6
				4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
1	4	7.00	1.5803	0.00967	0.00438	0.00199	0.0009	0.00041	0.00018
2	4	5.75	1.5803	0.01023	0.00464	0.00210	0.00095		
3	4	5.75	1.5803	0.01023	0.00464	0.00210	0.00095		
4	4	5.50	1.5803	0.01057	0.00479	0.00217	0.00098		
5	4	5.50	1.5803	0.01057	0.00479	0.00217	0.00098		
6	4	6.00	1.5803	0.01001	0.00454	0.00206	0.00093	0.00042	
7	4	5.00	1.5803	0.01207	0.00547	0.00248			
8	4	5.00	1.5803	0.01207	0.00547	0.00248			
9	4	6.00	1.5803	0.01001	0.00454	0.00206	0.00093	0.00042	
10	4	6.50	1.5803	0.00977	0.00443	0.00201	0.00091	0.00041	0.00018
11	4	5.50	1.5803	0.01057	0.00479	0.00217	0.00098		
12	4	5.00	1.5803	0.01207	0.00547	0.00248			
13	4	5.75	1.5803	0.01023	0.00464	0.00210	0.00095		
14	4	5.75	1.5803	0.01023	0.00464	0.00210	0.00095		
15	4	5.00	1.5803	0.01207	0.00547	0.00248			
16	4	6.50	1.5803	0.00977	0.00443	0.00201	0.00091	0.00041	0.00018

表 2 各潜在震源区对输水管线的最大影响烈度

Table 2 The maximum intensity caused by every potential focal source to the tunnel

潜在震源区编号	距输水管线的最近距离/km	最大震级 M_u	计算影响烈度 I	
			长轴 I_a	短轴 I_b
1	72	7	6.8	6.4
2	50	5.75	5.7	5.3
3	72	5.75	5.3	4.9
4	50	5.5	5.4	5.0
5	75	5.5	4.9	4.6
6	165	6	4.6	4.3
7	107	5	3.9	3.6
8	90	5	4.1	3.8
9	128	6	4.9	4.6
10	170	6.5	5.2	4.9
11	125	5.5	4.3	4.1
12	105	5	3.9	3.7
13	105	5.75	4.9	4.5
14	165	5.75	4.3	4.0
15	154	5	3.5	3.2
16	150	6.5	5.3	5.0

表 3 地震危险性超越概率计算结果

Table 3 Results of the calculated probability of exceedence on seismic risk

加速度值 (a_i) / cm/s^2	年发生率 ($\lambda \geq a_i$) / 次/a	重现周期 ($1/\lambda \geq a_i$) / a	超越概率/%			对应地震 基本烈度*
			$T = 50\text{a}$	$T = 100\text{a}$	$T = 200\text{a}$	
5	0.2784	3.5915	99.99	100	100	
10	0.2028	4.9292	99.99	100	100	
15	0.1443	6.9278	99.92	99.99	100	
20	0.1346	7.4274	99.88	99.99	100	Ⅵ
25	0.0550	18.163	93.62	99.59	99.99	
30	0.0494	20.224	91.56	99.28	99.99	度
35	0.0287	34.770	76.25	94.36	99.68	
40	0.0169	59.014	57.14	81.63	96.62	区
45	0.0169	59.014	57.14	81.63	96.62	
50	0.0108	92.208	41.85	66.19	88.57	
55	0.0026	375.93	12.45	43.35	61.25	
60	0.0026	380.95	12.30	23.08	40.84	
65	0.0026	380.95	12.30	23.08	40.84	> Ⅵ度区，
70	0.0026	380.95	12.30	23.08	40.84	核定为Ⅶ
75	0.0007	1307.1	3.752	7.364	14.18	度区

* 根据中国地震烈度给定水平加速度 63 (45 ~ 89) cm/s^2 为Ⅵ度区, 125 (90 ~ 177) cm/s^2 为Ⅶ度区

对不同的 M_i 和 R_j 重复计算, 得震源 K 对输水管线的影响矩阵 [λ_{ijk}], 对每个震源重复上述计算并叠加, 即得到所有潜在震源对输水管线的总影响矩阵 [λ]:

		M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6
		4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
[λ] =	R_1	0.00821	0.00372	0.00169	0.00076	0.00008	0.00003
	R_2	0.02965	0.01345	0.00610	0.00265	0.00032	0.00014
	R_3	0.02586	0.01173	0.00532	0.00117	0	0
	R_4	0.02121	0.00962	0.00436	0.00102	0	0
	R_5	0.01636	0.00742	0.00336	0.00124	0.00016	0
	R_6	0.02134	0.00968	0.00439	0.00120	0.00054	0.00009
	R_7	0.03730	0.01692	0.00767	0.00235	0.00095	0.00028
	Σ	0.15993	0.07254	0.03289	0.01039	0.00205	0.00054

(2) 各潜在震源区对输水管线的总加速度 [a_{ij}] 计算^[6]

由衰减公式:

$$a_p = 1230e^{0.8M_i}(R + 25)^{-2}$$

式中 a_p 代表衰减加速度。对不同震源运用衰减公式, 便可得到所有震源影响到输水管线的总加速度矩阵 [a_{ij}] ($i = 1, 2, \dots, 6; j = 1, 2, \dots, 7$):

	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6
	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
[a_{ij}] =	22.53	33.61	50.14	75.80	37.19	55.49
	21.12	31.51	47.00	70.12	20.92	31.21
	24.33	36.30	54.15	53.85	13.39	19.97
	13.14	19.60	29.25	24.93	9.299	0
	13.79	20.57	30.69	27.47	20.49	10.19
	9.51	14.17	21.15	24.54	20.92	15.60
	5.01	7.47	11.14	11.08	12.39	12.33

(3) 输水管线在不同使用期内超越给定加速度的概率

若工程使用期为 T ，假定地震过程是均匀泊松过程，则在使用期 T 内，不发生大于加速度 a_t 的地震概率为：

$$P\{n = 0 \mid a \geq a_t, T\} = e^{-\lambda \geq a_t \cdot T} \quad (\lambda \geq a_t \text{ 为加速度大于 } a_t \text{ 的年发生率}) \quad (1)$$

则超越概率为：

$$P\{n \geq 1 \mid a \geq a_t, T\} = 1 - e^{-\lambda \geq a_t \cdot T} \quad (2)$$

如果 a_t 为工程所能承受的最大加速度，若加速度超过 a_t 工程就会遭到破坏，则 (1) 式就是可信度公式：

$$P = e^{-\lambda \geq a_t \cdot T}$$

而 (2) 式给出的是破坏概率（即危险率）：

$$P_1 = 1 - P = e^{-\lambda \geq a_t \cdot T}$$

假设输水管线的使用期 $T = 50a、100a、200a$ ，可计算超越不同加速度 a_t ($5 \sim 75\text{cm/s}^2$ ， $\Delta a_t = 5\text{cm/s}^2$) 的概率 (表 3)，并可绘出超越年发生率与加速度、超越概率与加速度的曲线 (图 3，图 4)。

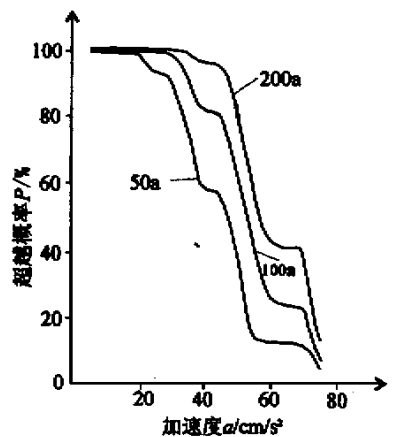
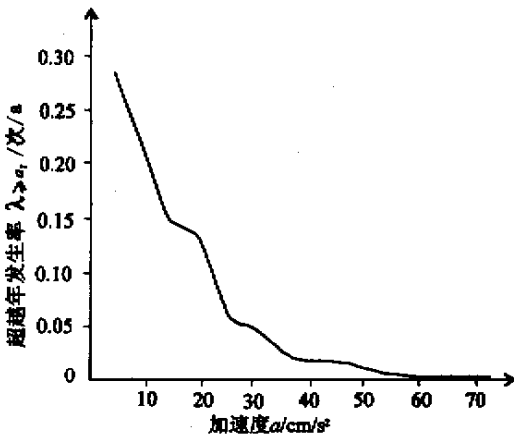


图 3 峰值加速度-超越年发生率曲线

Fig.3 The curve of peak acceleration-annual occurrence of exceedence

图 4 峰值加速度-超越概率曲线

Fig.4 The curve of peak acceleration-probability of exceedence

综上所述,通过前人对深圳地区地震烈度的鉴定和评价,结合地震地质分析与地震危险性超越概率计算,确定深圳市东水西调输水工程以 ZD₂ 与 ZD₃ 之间近 EW 向一线为界,以北地震基本烈度定为Ⅵ度区,100 年超越概率 23.08% 的峰值加速度为 60cm/s²;以南地震基本烈度 > Ⅵ度区,核定为Ⅶ度区,100 年超越概率 7.364% 的峰值加速度为 65 ~ 75cm/s²。核定的理由:①计算结果 > Ⅵ度;②输水管线属于重大生命线工程;③五华—深圳断裂带长达数百公里以上,具有长期活动的特征,输水管线穿越其中主干断裂带长达 30km 左右;④参考了 1995 年 10 月广东省人民政府文件(粤府[1995]85 号),根据国家地震局资料,所编制的深圳市地震烈度区划图。

3 结论

通过前人对深圳地区地震烈度的鉴定和评价,结合地震地质分析与地震危险性超越概率计算,确定深圳市东水西调输水工程以 ZD₂ 与 ZD₃ 之间近 EW 向一线为界,以北地震基本烈度定为Ⅵ度区,以南地震基本烈度 > Ⅵ度区,核定为Ⅶ度区。该研究成果为工程设计和施工提供了重要参考依据,并已运用到工程设计中。

参 考 文 献

- [1] 广东省地质矿产局. 中华人民共和国广东省区域地质志 [M]. 北京:地质出版社, 1988.
- [2] 广东省地质矿产局区域地质调查大队. 深圳地质图(1:5 万)及说明书 [M]. 北京:地质出版社, 1988.
- [3] 地质矿产部《深圳市区域稳定性评价》编写组. 深圳市区域地壳稳定性评价 [M]. 北京:地质出版社, 1991. 5 ~ 73.
- [4] 胡海涛,易明初,向祖廷,等. 广东核电站规划选址区域稳定性分析与评价 [M]. 北京:档案出版社, 1988. 44 ~ 93.
- [5] 国家地震局全国地震烈度区划编图组编. 中国地震等烈度区划图集 [M]. 北京:地震出版社, 1983.
- [6] 胡聿贤. 地震工程学 [M]. 北京:地震出版社, 1988. 66 ~ 105.
- [7] 中国地震学会地震地质专业委员会. 中国活动断裂 [M]. 北京:地震出版社, 1982.

ANALYSIS ON SISMIC RISK OF THE CONVEYANCE WATER TUNNEL ENGINEERING IN SHENZHEN

TAN Cheng-xuan¹, SUN Ye², YANG Mei-ling¹

(1. Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081, China;

2. Urban and Engineering Site Stability Research Centre, CAGS, Yanjiao 056201, China.)

Abstract: With reference to the existing determination and evaluation about seismic intensity in Shenzhen region, according to the analysis of seismogeology and the calculation of exceeding probability, and in consideration of importance of the conveyance water tunnel engineering, the nearly east-west line between ZD₂ and ZD₃ of the tunnel is taken as the zonation boundary of seismic intensity, north of which belongs to an intensity of Ⅵ and south an intensity of Ⅶ.

Key words: conveyance water tunnel engineering; seismic risk; seismic intensity