

海峡西岸城市群地质环境特征研究

林 军

(福建省地质调查研究院, 福建 福州 350003)

提要: 福建南部沿海是全国城市化水平最高的地区之一, 国内生产总值占福建省的 51.64%, 现已成为“海峡西岸经济区”建设的核心区域。城市是以人类社会为主体的生态系统, 是城市社会(人口、劳动、智力)与城市空间(地质、资源、环境)对立统一的系统。区域地壳稳定是城市建设的基本条件, 水是城市发展不可缺少的自然资源, 闽南沿海花岗岩风化壳发育, 软土环境工程地质问题突出。本文重点讨论城市区域稳定性问题、城市水资源供需平衡问题和城市开发建设可能涉及的工程地质问题。

关键词: 城市地质; 区域稳定; 水资源; 工程地质; 福建沿海

中图分类号: X141 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2006)02-0444-07

1 城市区域稳定性问题

1.1 影响区域稳定性的因素

(1) 断裂活动程度: 按断裂走向, 可分为 EW 向、SN 向、NE 向、NNE 向、NEE 向和 NW 向 6 个系统, 本区共有 4 条地壳断裂 (b、A、B、Z), 9 条基底断裂 (h、J、O、N、D、F、T、S、R) 和 12 条盖层断裂 (图 1), 第四纪以来有过明显活动的断裂带有 15 条^[1-2](表 1)。其中, 以 NE 向及 NW 向两组断裂活动较明显, 活动强度相对较大, 其代表性断裂有: 滨海断裂 (b)、长乐—南澳断裂 (A)、福安—南靖断裂 (B)、德化安村—湄州湾断裂 (U)、九龙江西溪断裂 (S)。

(2) 历史地震分布: 本区大部分处在泉州—汕头地震带内, 历史上发生强震 19 次 (表 2)。其中, 陆域发生 13 次, 震中位于 NE 与 NW 向的地壳或基底断裂带交汇形成的 NW 向断陷盆地或海湾内, 仅部分受 NNE 及 SN 向断裂控制; 海域发生的 6 次强震, 受滨海断裂及长乐—南澳断裂带控制。

(3) 地壳形变特征: 宏观上西北部较东南部上升强烈, 显示了由内陆向沿海掀斜上升特点。丘陵、红土台地、河口平原为东部断块差异上升区, 受 NE、NW 和 EW 向活动断裂控制, 漳州、泉州为相对沉降的断陷盆地。本区地壳形变的微观特征, 如重力场及梯度分布、重力均衡情况等与宏观特征基本对应。

(4) 地壳应力场特点: 根据构造应力场宏观分析、震源应力场分析及数字模拟, 本区现今构造应力场最大主压应力方向以 EW 向为主, 最大主压应力值为 53.0~69.1 MPa, 最大剪

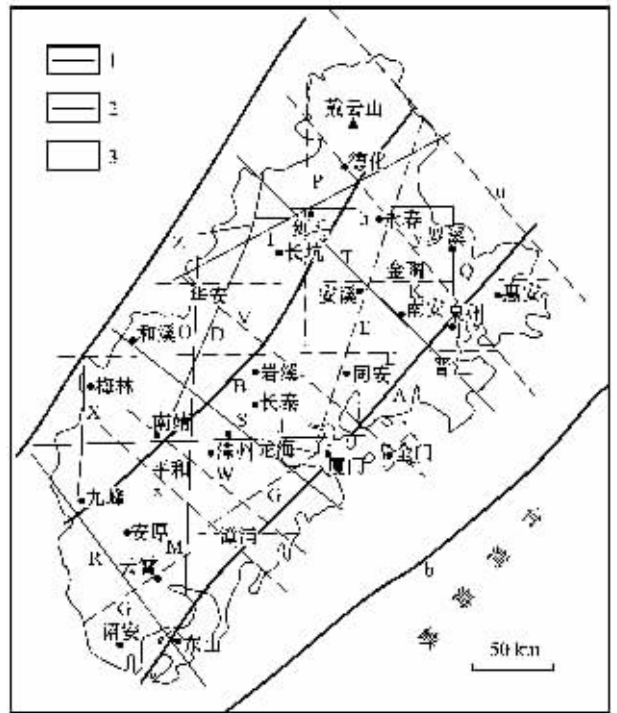


图 1 福建南部沿海地区地质构造断裂系统分布简图
1—地壳断裂; 2—基底断裂; 3—盖层断裂
Fig 1 Distribution of the fault system in the coastal area of southern Fujian
1—Crustal fault; 2—Basement fault; 3—Cover fault

收稿日期: 2005-07-07; 改回日期: 2005-11-28

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(0200135007)资助。

作者简介: 林军, 男, 1964年生, 高级工程师, 从事水文地质工程地质研究; E-mail: linjun5603@sina.com。

表 1 福建南部沿海地区断裂系统第四纪活动情况

Table 1 Quaternary activity of the fault system along the coast of southern Fujian

断裂活动性	NE 向	NW 向	NNE 向	NEE 向	EW 向	SN 向
第四纪活动断裂带	b: 滨海断裂带 A: 长乐—南澳断裂带 B: 福安—南靖断裂带 Z: 政和—大埔断裂带	T: 永安—晋江断裂带 S: 九龙江西溪断裂带 R: 上杭—云霄断裂带 U: 德化安村—湄州湾断裂带 y: 永春锦斗—惠安洛阳断裂带 V: 华安横奎—金門断裂带	D: 松溪—南靖断裂带	G: 厦门岛—诏安汀洋埔断裂带	h: 仙游—漳平断裂带 J: 厦门—南靖断裂带	O: 将乐—华安断裂带
第四纪活动不明显断裂带		X: 南靖长圳尾—漳浦赤湖断裂带 W: 南靖上版寮—漳浦旧镇断裂带	E: 德化石柱—厦门田边断裂带	F: 闽江口—永定断裂带	K: 惠安—龙岩东肖断裂带 L: 泉州湾—永定湖雷断裂带 M: 龙海港尾—平和五寨断裂带	Q: 蒲城—永泰嵩口断裂带 P: 崇安星村—安溪西坪断裂带 N: 泰宁—龙岩断裂带

表 2 福建南部沿海及其附近地区强震 Ms≥4.75 震中分布

Table 2 Distribution of epicenters of strong earthquakes (Ms ≥ 4.75) along the coast of southern Fujian and in its adjacent areas

序号	发震时间(年月日)	震中位置	强震震级
1	1445.12.12	漳州 E117° 36' N24° 36'	6.00
2	1516.09.12	安溪 E118° 12' N25° 06'	4.75
3	1519.09	诏安 E117° 12' N23° 42'	4.75
4	1596.10	晋江安海 E118° 30' N24° 42'	4.75
5	1600.09.29	惠安西南 E118° 42' N25° 00'	4.75
6	1604.12.29	广东南澳	7.00
7	1604.12.29	泉州海外 E119° 00' N25° 00'	8.0
8	1607.10	泉州 E118° 36' N24° 54'	5.50 ~ 6.00
9	1609.06.07	泉州海中 E118° 48' N24° 48'	5.50 ~ 6.00
10	1691.05	晋江安海 E118° 30' N24° 36'	4.50 ~ 5.00
11	1791.04.08	漳浦东南海中 E117° 48' N23° 48'	5.50
12	1832.01	平和 E117° 18' N24° 24'	5.00
13	1907.10.15	泉州海中 E118° 42' N24° 48'	5.00
14	1918.02.13	广东南澳 E117° 00' N23° 30'	7.25
15	1934.05.21	安溪 E118° 12' N25° 00'	5.75
16	1937.06.28	莆田兴化湾 E119° 18' N25° 18'	4.75
17	1962.09.25	漳浦海外 E118° 00' N24° 00'	4.75
18	1968.04.01	华安新街 E117° 30' N24° 54'	5.20
19	1978.08.10	平潭东海面 E120° 36' N25° 18'	5.30

应力值为 19.3~29.9 MPa, 诏安—东山、厦门—漳州、泉州海外、泉州、德化等地为应力集中区。

1.2 区域地壳稳定性评价

区域地壳稳定是城市建设的重要条件。在综合分析地壳结构、深大断裂、活动断裂、地球物理场、地壳应力场、地壳形变特征及历史地震的时空分布等因素的基础上,对区域地壳稳定性作出综合评价分区。全区划分为稳定区、次稳定区和不稳定区。本区陆域地壳处于稳定与次稳定状态,城市及工程建设基本上是安全的;海域地壳大部分处在不稳定状态,工程建设需要防震设计。从地壳稳定程度分区展布位置看,

除华安—漳州一带外,地壳稳定程度总体是由西向东逐渐降低。造成以上格局的变化趋势,明显与距离太平洋板块与欧亚大陆板块接触带的远近有密切相关。厦门、泉州、漳州 3 个中心城市均处于次稳定区,因此城市新建开发区及重要工程项目建设等,需有一定的防震救灾设施。根据《中国地震动参数区划图》(GB18306-2001),福建省建设厅和省地震局联合有关专家,对福建省现有建制乡(镇)制定了《中国地震动峰值加速度区划图》福建省区划一览表。依据该表,福建南部沿海地区所涉及的厦门、泉州、漳州各次级行政区,其抗震设防烈度陆域部分基本处在 VII 度和部分 VI 度区,海域大部分处在 VIII 度区。陆域 VIII 度区仅 4 处,分别位于晋江的金井、深沪,石狮的祥芝、永宁,龙海的隆教和金门岛全部。泉州—厦门—漳州—东山绝大部分地区处于抗震设防 VII 度,具体包括惠安、泉州、晋江、石狮、南安、同安、厦门、漳州、华安、南靖、长泰、龙海、漳浦、云霄、平和、诏安、东山等 17 个市(区)县城关;VI 度区包括永春、德化全部,安溪大部分和南靖、平和、华安部分地区。

2 城市水资源供需平衡问题^[3]

2.1 厦门市

厦门市总面积 1565.09 km²,人口 1289876 人,人均拥有水资源量 982.17 m³/a, 约占全国人均水平 (2497.7 m³/a) 39.32%。其中市区面积 195.2 km²(除集美、同安),人口 585276 人,约占厦门市总人口的 45.37%。由于城市地处滨海丘陵岛屿、半岛区,地表水和地下水资源贫乏。厦门市现有水资源调蓄能力:地表径流约 10.16×10⁸ m³/a,地下水天然资源约 2.52×10⁸ m³/a,但其时空分布很不均匀。岛内莲坂、田厝、上里、厦大等 4 个水源地,可开采资源量为 8177 m³/d,仅能作为分散居民用水和小型工矿企业用水。厦门市现有蓄水工程 158 处,总库容 2.4×10⁸ m³/a,不能满足城市大量集中供水 (4.35×10⁸ m³/a) 的需求。因此,厦门城市供水只能依靠调岛外

地表水解决。从1980年开始,由境外九龙江北溪引水工程向厦门市供水,分配流量约 $17.0\text{ m}^3/\text{s}$ ($5.36\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$)。其中,市区生活供水量 $2.0\text{ m}^3/\text{s}$ ($0.63\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$),海沧区供水量 $5.0\text{ m}^3/\text{s}$ ($1.58\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$),杏林区工农业用水 $1.0\text{ m}^3/\text{s}$ ($0.32\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$),郊区农业用水 $9.0\text{ m}^3/\text{s}$ ($2.84\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$),基本上缓解了厦门市水资源供需矛盾。但从九龙江北溪引水,该溪水已不同程度遭受污染,并且枯水期水量不是太充裕;所以,一方面应改善供水方式,并采取水质防护措施;另一方面应积极开辟新的供水水源地。在岛内应避免发展耗水量大的工业项目,农业生产方面也要根据土壤灌溉条件和市场经济要求,合理调整产业结构,把厦门市建设成为节水型工业和农业,并全面、协调和可持续发展的海岛生态城市。

2.2 漳州市

漳州市总面积 $12\,608.0\text{ km}^2$,人口4511165人,人均拥有水资源量 $2\,208.3\text{ m}^3/\text{a}$,约占全国人均水平的88.41%。现有水资源调蓄能力:地表水资源 $200.47\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$ (其中客水 $73.2\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$),地下水天然资源 $41.37\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$,可开采资源 $4.30\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$ 。境内有小(二)型以上水库430座,总兴利库容 $7.0\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$;引水工程共28042处,引水能力 $3\,000\text{ m}^3/\text{s}$ (相当 $946\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$)。全市水资源总量远大于需水量,但其时空分布仍然很不均匀,各地多靠引水工程来调剂解决。滨海岬角、海岛、红土地、山坡地等地表、地下水资源贫乏,据不完全统计,目前仍有 $30\,000\text{ hm}^2$ 耕地,83万人口缺水。

漳州市区面积 552.3 km^2 (芗城、龙文),人口478821人,约占漳州市总人口的10.61%。本区地表水主要来源于九龙江西溪和北溪,地表水资源 $82.46\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$ (其中客水 $81.0\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$);地下水天然资源 $2\,252\times 10^4\text{ m}^3/\text{a}$,可开采资源 $615.7\times 10^4\text{ m}^3/\text{a}$,水资源总量约 $82.52\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$ 。漳州市区人均水资源量 $17\,234.33\text{ m}^3/\text{a}$,相当于全国人均水平的6.90倍。1990年漳州市区供水量22059.2万 m^3 ,仅占水资源总量的2.67%;2000年漳州市区规划用水量 $24\,291.9\times 10^4\text{ m}^3$,也不过占水资源总量的2.94%。说明漳州市区水资源丰富,可以满足城市规划发展需要。但从生态地质环境保护和建设角度,城市供水水源开发仍需注意以下几个问题:

(1)漳州市区地下水资源不足,而地表水资源丰富。今后,城市扩大供水规模,应以选择地表水源为主,地下水源为辅。

(2)九龙江西溪和北溪上游,均有一定地方工业,又是居民聚集地带和农业发达地区,因此要注意水源环境保护,以利城市供水安全。

(3)目前,西溪水污染较严重,枯水季节流量小且含沙量大;北溪仅轻度污染,水量大且自净能力强;故北溪可作为城市扩大供水的首选水源。

(4)沿河地段松散岩类孔隙水,水量较丰富,可作中型集中供水水源;风化岩类网状裂隙水和基岩构造裂隙水,虽然水量有限,但水质甚佳,可作为分散供水的小型水源。

2.3 泉州市

泉州市总面积 $10\,865.87\text{ km}^2$,人口6580494人,人均拥

水资源量 $982.17\text{ m}^3/\text{a}$,约占全国人均水平的39.32%。现有水资源调蓄能力:地表水资源 $105.21\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$,地下水天然资源 $16.2\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$,可开采资源 $1.67\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$ 。全市有蓄水工程24807处,总库容 $12.98\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$,引水工程共28042处。金鸡拦河闸引水流量 $61.0\text{ m}^3/\text{s}$ (相当 $19.24\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$)。其中,南干渠(向晋江、南安)引水流量 $38.0\text{ m}^3/\text{s}$,北干渠(向泉州洛阳桥)引水流量 $22.5\text{ m}^3/\text{s}$ 。据水利部门统计,全市仍有547处,51.1万人口、26.93万头牲畜出现饮水困难。

泉州市区面积 566.3 km^2 (鲤城、洛江、丰泽),人口617458人,约占泉州市总人口的9.38%。目前,市区供水水源均取自北干渠渠首段,相对比较有保证。根据泉州市水电局预测,按保证率75%计算,“十一五”期间水资源供皆大于需;若按保证率90%要求,则每年缺水量约 $3.44\times 10^8\text{ m}^3$ 。其解决途径:一是降低不符合国情的高需水要求,提倡节约用水,提高水资源利用率;二是增建跨流域引水工程,从区外引水,修建大、中型蓄水工程。

3 城市开发建设工程地质问题

3.1 花岗岩风化壳工程地质问题^[4]

(1)花岗岩风化壳工程地质特征:区内燕山期花岗岩分布广泛,而且往往发育有数米至数十米的风化壳,尤其是沿海台地风化壳更为发育,且与工程建筑关系极为密切。岩土的工程地质特征系指抵抗外力作用的力学性质和被水渗透的性质。花岗岩风化壳各带的物质成分及结构不同,它们的工程地质特性也必然不同。从表3可看出,风化壳各带物理性质指标中,除比重没有变化外,孔隙率、吸水率等指标均随风化程度的加深而增大。此外,强风化带指标具有很宽的区间性。如孔隙率最小值1.92%,最大则可达30.94%,充分反映此带的不均匀性。关于风化壳各带的力学性质现分述如下:

弱风化带(残积土):该带为土体,其力学性质由土工实验及原位测试确定。宏观上,此带可分为3层,且各层工程地质特性又有不同。从载荷试验得知,各层的力学性质均易受水的影响。浸水后,其承载能力可降低30%~40%;但随深度变化,含砾量的增加,其强度亦随之提高。

强风化带:未经松动呈整体岩石状,一经钻探却取不出完整岩心,只能采用一些特殊的方法来研究。例如,在钻孔中采用声波测试,对设置此带的桩基进行静力载荷试验,在选取的天然剖面上采取点荷载实验等。强风化带的工程性质是

表3 福建南部沿海地区花岗岩风化壳各带的物理性质
Table 3 Physical properties of various zones of weathering crust of granite along the coast of southern Fujian

风化壳分带	相对密度			孔隙率			吸水率		
	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
弱风化带	2.63	2.77	2.69	31.5	57.0	45.8			
强风化带	2.61	2.76	2.66	1.92	30.9	9.82	1.38	13.7	4.29
中等风化带	2.62	2.75	2.69	1.91	19.9	5.50	0.65	2.37	1.63
微风化带	2.61	2.76	2.69	1.11	2.90	2.24	0.42	0.96	0.54
未风化岩体	2.62	2.75	2.69	0.18	2.61	1.49	0.13	0.41	0.29

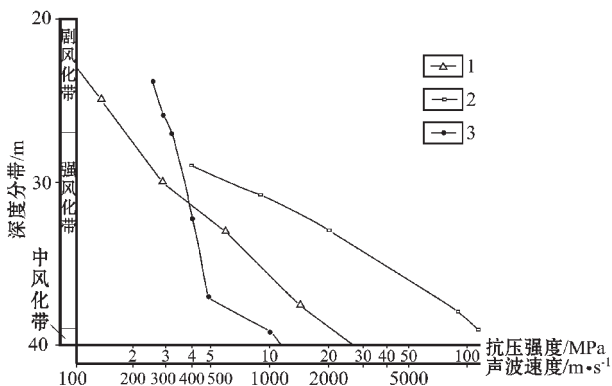


图 2 花岗岩风化带抗压强度随深度变化曲线图

1—点荷载抗压强度;2—岩石抗压强度;3—声波速度

Fig.2 Curve showing the variation of compression strength in weathering zones of granite with depth

1—Compression strength of the point load;2—Compression strength of rocks;3— Speed of sonic waves

较为复杂的,干燥抗压强度 3.43~129.30 MPa,点荷载抗压强度 3.107~97.670 MPa,声波波速 300~1000 m/s,桩载试验端承载力 0.686~3.920 MPa。从整体上讲,其强度值明显高于弱风化带;但就其本身来讲,又不是一个定值;而是从上至下随深度增加逐渐提高,并且呈非线性变化(图 2);所以,此带的不同部位其力学强度值也不同,上部与下部相差悬殊。

中等风化带—未风化岩体:各带均为岩体,从表 4 中可知,从未风化岩体—中等风化带,随风化程度的加深其力学强度都呈降低趋势。

(2)花岗岩残积土斜坡稳定性:本区花岗岩残积土常发育有 3 层。即上部红粘土层,厚 1.0~5.0 m;中部网纹状红粘土层,厚 5.0~20.0 m,一般 10.0 m 左右;下部轻亚粘土层,外观仍保持清晰的母岩结构,厚度大于 10.0 m,一般埋藏较深,可见厚度小。残积土的性状具垂向发育分带特点,但各层间又是逐步过渡的,无明显截然界线;故将残积土视为一种似层状且连续的特殊性土类。它的特殊性还表现在花岗岩风化残积土具有的土体结构特征。区内花岗岩柱状节理发育,在风化残积土中形成有垂向裂隙,尤其在残积土层上部红粘土中

表 5 福建南部沿海地区花岗岩风化残积土的斜坡特征
Table 5 Characteristics of slopes of residual soils of granite along the coast of southern Fujian

斜坡要素	地貌形态			
	中低山	高丘	低丘	台地
海拔高程 (m)	>400	200 ~ 400	80 ~ 200	<80
天然坡角	>1:1.5	1:1.5 ~ 1:2.0	1:2 ~ 1:3	<1:4
坡高 (m)	>30	<25	<20	<10
斜坡结构	单层	单层—多层	单层—多层	多层
土层厚度 (m)	<2	1 ~ 25	1 ~ 20	<50
主要分布	西北部	山边地带	内陆河谷	沿海台地
	西部山区	内陆河谷	沿海残丘	坡地

最为发育。这些母岩残留裂隙及次生裂隙构成不连续的结构面。花岗岩风化残积土的斜坡结构及天然斜坡要素,从沿海台地至内陆山区的发育变化规律(表 5)。笔者采用饱和强度和残余强度,按 1:1.5 坡角及 30.0 m 坡高,对其边坡的稳定性进行试算,并考虑单向情况,在 7 度地震力作用下,其稳定系数数值均大于 1.26。说明该区残积土斜坡仍具有较大的抗滑能力。假如不是处于一定构造部位并形成特定的渗流场,恶化斜坡的水文地质条件;或是由于开挖坡角、削坡等因素,增大转动力矩,降低斜坡抗滑力;或是地表水流掏蚀坡脚,破坏斜坡的动平衡,一般是不会产生滑动的。这就是本区花岗岩残积土斜坡分布区滑坡不甚发育的一个重要原因。

通过斜坡变形破坏区花岗岩残积土的物理力学性质指标,与斜坡稳定区残积土相比较,可以发现斜坡破坏区土体具有天然容重偏低、粗颗粒含量偏高、湿化崩解性较强、抗冲蚀能力较差等特点,尤其是底部的轻亚粘土层更差。室内湿化试验表明,该地区残积土的崩解性强,试样一般在 3min 内即可崩解 57%~85%,并以粒状下落崩解为特征;而且饱水时凝聚力要降低 41.37%~59.25%。这就决定了本区花岗岩风化残积土斜坡破坏的主要形式是滑塌。滑塌体主要分布于大气降水冲蚀、侵蚀切割斜坡形成的冲沟中,沿垂向裂隙结构面发育,以座落式滑塌为主,基本仍保持原土层层序。单个滑塌体规模一般只有几到几十立方米,并形成一系列的小型滑塌堆积群体。滑塌的发生、发展过程与冲沟的发展演化过程密切相关。大致可分为以下 3 个阶段:一是冲沟雏形发育阶段,以线蚀、冲蚀作用为主,滑塌不发育;二是冲沟发展阶段,以侧向侵蚀、掏蚀坡脚作用为主,这是滑塌急剧产生的最活跃时期;三是冲沟进入晚期阶段,当冲沟的纵横(即长宽)比例小

表 4 中等风化带—未风化岩体的工程地质性质

Table 4 Engineering-geological properties of moderately weathered and unweathered granite masses

风化程度分带	极限抗压强度 (MPa)		弹性模量 (MPa)	抗剪强度	点荷载抗压强度	回弹值		
	最小	最大	平均	C (MPa)	Φ	(次)		
中等风化带	15.5	105.2	69.5	2.31	11.36	41.5	0.18	38
微风化带	48.1	149.2	98.8	3.28	24.35	37.6	0.52	55
未风化岩体	95.1	214.7	146.2	4.98	26.95	38.0	5.59	57

表 6 厦门石湖山潮间带软土恒压下物理力学性质变化情况
 Table 6 Variation of physical-mechanical properties of soft soils at constant pressure in the intertidal zone at Hushan, Xiamen

恒压时间 (d)	0	1.5	3.0	6.0	15	30
含水量 (%)	99.7	62.6	57.7	57.3	56.1	56.1
孔隙比	2.622	1.737	1.631	1.606	1.606	1.557
容重 (g/cm ³)	1.47	1.61	1.63	1.63	1.64	1.66
液性指数 (%)	2.62	1.29	1.11	1.10	1.10	1.05
压缩系数 (MPa ⁻¹)	1.67	1.36	1.43	1.30	1.44	1.40
固结系数 (10 ⁻⁴ cm ² /s)	2.14	2.39	3.58	2.29	3.42	7.84
前期固结压力 (kPa ⁻¹)	/	52.0	61.0	65.0	69.0	99.0
直快内聚力 (kPa)	/	14.0	10.0	16.0	20.0	21.0
直快内摩擦角	/	0	1.13	1.70	0	2.30
固快内聚力 (kPa)	/	3.0	7.0	9.0	9.0	16.0
固快内摩擦角	/	16.17	15.60	14.60	16.60	11.30

于 1, 形成内部开阔的漏斗状平底沟, 这时表流侵蚀、掏蚀作用变得十分微弱, 滑塌便趋于停滞状态。

3.2 软土的工程地质问题^[5]

(1) 软土的工程地质特征: 本区软土生成于全新世, 由于泥质土组成, 系一套海相为主, 海陆过度相沉积, 主要分布于九龙江、晋江下游和沿海港湾地区, 厚度 3~10m, 最大 24m, 总面积约 450km²。软土的工程地质性质受其成分和结构控

制, 而成分结构与软土的生成、演化地质环境密切相关。福建南部沿海地区软土存在 7 种成因类型: 浅海同生型、浅海里生型、河口同生型、河口表生型、河口里生型、潮滩表生型、潮滩里生型。软土的工程地质特性是天然含水量高 (大于液限), 孔隙比大, 高灵敏度, 高压缩性, 低强度和低渗透性; 在较大的地震力作用下 (大于 7 度), 易出现附加沉陷, 即软土震陷现象。因此, 对要求按 8 度设防的重要建筑物和构筑物, 不宜采用天然地基, 需采用灌注桩进行加固处理。

(2) 软土的时效固化效应: 时效固化效应是软基不均匀沉降、过量沉降及大范围沉降等工程地质问题产生的内在原因, 也是预压法软基处理和软土区地面沉降评价及预测的重要依据。在恒定荷载作用下, 软土物理力学指标及孔隙特征的变化是其时效固化效应的宏观和微观表现 (表 6、图 3)。软土的时效固化效应, 由固化效应和时间效应组成 (表 7)。时间效应指随恒压时间的延长而产生软土骨架的蠕变和某些物理化学反应, 它贯穿恒压作用全过程; 固化效应指恒压土下的物理效应, 以渗透固结为主, 它主要发生于恒压过程前期。因此, 以主固结稳定时间为界, 将时效固化效应发展过程分为两期。前期以固化效应为主, 称固化期 (I); 后期以时间效应相对显著, 称时效期 (II)。每期又根据指标变化速率, 细分为 3 段; 各期、段的详细特征概括如下:

固化期第一段 (I₁): 自加压开始起, 到主固结稳定时间的



图 3 厦门石湖山潮间带软土恒压下物理力学性质随时间变化曲线图

Pc—前期固结压力 (kPa); C—直快内聚力 (kPa); Φ —直快内摩擦角; γ —容重 (g/cm³); C_v —固结系数 (10⁻⁴cm²/s); a_{1-2} —压缩系数 (MPa⁻¹); I_L —液性指数 (%); W—含水量 (%); e—孔隙比; t_c —预压时间 (d)

Fig.3 Variations of physical-mechanical properties of soft soils with time at constant pressure in the intertidal zone at Hushan, Xiamen.

Pc—antecedent cure pressure (kPa); C—direct quick cohesion (kPa); Φ —direct quick internal friction angle; γ —volume weight (g/cm³); C_v —solid quick cohesion (10⁻⁴cm²/s); a_{1-2} —compression coefficient (MPa⁻¹); I_L —liquid index (%); W—water content (%); e—pore ratio; t_c —pressing time (d)

表 7 软土的时效固化效应发展过程分期
Table 7 Stages of development of age solidification effect of soft soils

时效固化效应划分 期 段	恒压时间与主固结 稳定时间之比	主固结度	变化速率	曲线特征	主要效应	作用强度	
固 化 期 (I)	强固化 (I ₁)	0.132	68	快	陡直	主固结	很强
	中固化 (I ₂)	0.237	74	较快	较陡直	主固结	强
	弱固化 (I ₃)	1.000	100	渐缓	较陡弧形	主固结向 时效过度	较强
时 效 期 (II)	显时效 (II ₁)	1.579	/	缓慢	较平弧线	固化微弱 时效明显	较弱
	亚时效 (II ₂)	2.895	/	很慢	近水平弧线	时间效应	弱
	稳时效 (II ₃)	>2.895	/	趋于零	近水平直线	时间效应	很弱

0.132 倍时间止。该段主固结作用强烈,时效固化强度最大,压缩变形最显著,能很迅速地改变土的结构和性质,很快地提高其强度。

固化期第二段(I₂):止于主固结稳定时间的 0.237 倍。该段的终点是时效固化效应变化速率的转折点。该点以前,土的结构和性质变化迅速;该点以后,其变化速率明显减缓。

固化期第三段(I₃):为主固结作用的后期。该段由于主固结作用迅速减弱,时效固化作用强度变小,致使其压缩变形以及结构、性质的变化速率减小。

时效期第一段(II₁):起于主固结作用的终点,止于主固结稳定时间的 1.578 倍。固化作用较弱,时间效应相对增强,时效固化强度较弱,可产生较弱的压缩变形,并较缓慢地改变土的结构和性质。

时效期第二段(II₂):终止时间为主固结稳定时间的 2.895 倍,时效固化作用微弱,可以造成微弱的压缩变形,缓慢地改变土的结构和性质。

时效期第三段(II₃):为时效固化作用的后期,固化效应极弱,时间效应占绝对优势。由于时效固化效应很微弱,所以压缩变形很小,结构和性质的改变速率极慢,次固结系数 0.0083~0.0084。但该段历时漫长,因此对土的改造作用仍不可忽视。

预压法是软土地基改良中行之有效并广泛应用的方法,从时效固化效应分析中不难看出,固化期的第二段终点是时效固化效应变化速率的转折点;该点之前,软土地基强度增长迅速,借此可在最短时间内获得最好的预压效果。

4 结 语

福建南部沿海是中国城市化水平最高的地区之一,其国内生产总值占福建省的 51.64%。该区可利用对台的多缘关系及优越的自然条件,在中国国土开发、整治与对外开放的总格局中占有重要战略地位,尤其是这一地区目前已成为“海峡西岸经济区”建设的核心区域,是开展海峡两岸经济、文化、科技交流与合作的窗口,在海内外都具有特定的影响。

区域地壳稳定是城市建设的重要条件。本区陆地地壳处于稳定与次稳定状态,城市及工程建设基本上是安全的;海域

地壳大部分处在不稳定状态,工程建设需要防震设计。水是城市发展不可缺少的自然资源。本区水资源总量丰富,但时空分布不均匀,滨海丘陵、岛屿、半岛多缺水,地下水开发利用水平较低。厦门、泉州、漳州等中心城市,多靠引水工程来调剂,只要能充分利用并提高集约化程度,可以保证中、远期供水需求。沿海台地花岗岩风化壳发育,且与工程建筑关系密切,残积土斜坡破坏的主要形式是滑塌;软土时效固化效应是软基不均匀沉降、过量沉降和大量沉降产生的内在因素。

参考文献(References):

- [1] 高伟生,肖德帆,宇振东,等.环境地质[M].北京:中国科学技术出版社,1992.15~24.
Gao Weisheng, Xiao Dezhen, Yu Zhendong, et al. Environmental Geology[M].Beijing:China Science and Technology Press,1992.15~24(in chinese).
- [2] 邱礼仪.福建闽南三角地区第四纪活动断裂特征及其研究概况[J].福建地质,1991,10(2):114~126.
Qiu Liyi. Features of Quaternary active faults and their study in the Triangle area of Fujian[J]. Fujian Geology,1991,10(2):114~126(in Chinese with English abstract).
- [3] 鲁益钜,张道.全国国土综合开发重点地区水资源及地质环境评价[M].北京:地质出版社,1994.1~30.
Lu Yiju,Zhang Dao.Evaluation of Water Resources and Geological Environment in Key Areas for National Comprehensive Land Development [M]. Beijing:Geological Publishing House,1994.1~30(in China).
- [4] 张宁,陈礼明.闽南地区花岗岩风化壳的分带及特征[J].福建地质,1990.9(3):177~185.
Zhang Ning,Chen Liming. Zoning and characteristics of granite weathering crust in southern Fujian [J]. Fujian Geology,1990.9(3):177~185(in Chinese with English abstract).
- [5] 阎世骏,王秀艳,傅崇远,等.软土的时效固化效应[J].福建地质,1990.9(2):111~117.
Yan Shijun, Wang Xiuyan,Fu Chongyuan,et al.Age-hardening effects of soft soils[J]. Fujian Geology,1990.9(2):111~117(in Chinese with English abstract).

Geo-environmental characteristics in cities of southern Fujian at the west coast of the Taiwan Strait

LIN Jun

(Fujian Institute of Geological Survey, Fuzhou 350011, Fujian, China)

Abstract: The coastal area of southern Fujian is one of the areas with the highest level of urbanization in China, with its GDP accounting for 51.64% of Fujian Province. It has become the core area for the construction of the "economic district at the west coast of the Taiwan Strait". A city is an ecosystem centering on the human society as well as a system of the unity of opposites with the urban society (population, labor and intelligence) on the one hand and the urban space (geology, resources and natural environment) on the other. Regional crustal stability is considered an essential condition for urban construction, while water is an indispensable natural resource for urban development. The weathering crust of granite is well developed along the coast of southern Fujian and the engineering-geological problem of the soft soil environment is prominent. The paper focuses on the regional stability of a city, supply-demand balance of urban water resources and engineering geological problems that may be involved during urban construction.

Key words: urban geology; regional stability; water resources; engineering geology; southern Fujian

About the author: LIN Jun, male, born in 1964, senior engineer, his main research interests are hydrogeology and engineering geology; E-mail: linjun5603@sina.com.