

文章编号: 1000-7598 (2009) 增刊 2-0105-06

美国技术标准用弦线模量对我国技术更新的启示

焦五一¹, 赵树德², 郭志恭³, 罗笃敬⁴, 朱书勤⁵, 马怀栓⁶

(1.长安大学 振华岩土工程研究所, 西安 710061; 2.西安建筑科技大学, 西安 710055; 3.西安交通大学, 西安 710049;
4.中国建筑西北设计院, 西安 710003; 5.西安市建委, 西安 710003; 6.渭南市发改委, 陕西 渭南 714000)

摘 要: 用弦线模量计算地基变形是中国的原始自主创新。它改正了压缩模量和各种计算模型存在的问题, 所以对计算结果有很大的改进。它依据土性物理指标用软件计算, 是各种计算方法中最简单的方法。用于地基设计规范能够实现以变形控制设计的目标; 用于黄土地区建筑规范, 能够依据基础面积、基底压力、相邻基础影响等条件, 并考虑地区差异、土性的微结构差异等条件真实地计算不同类型黄土的湿陷量, 实现定量评价黄土湿陷性的目标。在中国对弦线模量研究的同时, 美国在金属材料非线性弹性变形计算中也研究并已经在其技术标准中采用了弦线模量代替杨氏模量, 中国的同类标准也引用了它。这对在我国地基规范中采用弦线模量法进行技术更新, 应该具有重要的启示作用。在简要介绍弦线模量法主要情况的基础上, 进一步阐明这一观点。

关 键 词: 弦线模量; 杨氏模量; 地基变形; 金属材料变形; 技术更新

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

Inspiration for China's technology update drawn from chord modulus being introduced in USA's technical standards

JIAO Wu-yi¹, ZHAO Shu-de², GUO Zhi-gong³, LUO Du-jing⁴, ZHU Shu-qin⁵, MA Huai-shuan⁶

(1.Zhenhua Geotechnical Research Institute, Chang'an University, Xi'an 710061, China; 2.Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 3.Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 4.China Northwest Building Design Research Institute, Xi'an 710003, China; 5.Xi'an City Construction Commission, Xi'an 710003, China; 6.Weinan City Development and Reform Commission, Weinan 714000, China)

Abstract: Calculating foundation deformation by using chord modulus is a China's self-innovation technology. It corrected the faults in compression modulus and various calculation models, and improved the calculated result. The calculation is based on physical indicators of soil and by software; therefore it is also a simplest method. According to it the goal that to control the deformation in the foundation design specification can be reached. Also, taking region differences and micro-structure differences of soil into consideration, the software can calculate the collapse of different types of loesses considering the factors such as the footing area, foundation pressure, adjacent footing influence and so on, thus assessing the quantitative loess collapsibility. During almost the same time when the chord modulus is being researched; it is also researched in the calculation of metal material deformation in USA, which has replaced method of calculating nonlinear elastic deformation by using the Young's modulus and was then introduced in China's related specifications. These facts should give us an important inspiration for technology update to use chord modulus in code for design of building foundation. The paper is going to summarize the chord modulus and further clarify this views.

Key words: chord modulus; Young's modulus; foundation deformation; metal material deformation; technology update

1 弦线模量简介及研究的渊源

80 多年来, 地基变形计算主要用压缩模量 E_s , 但 E_s 值与地基非线性变形特性的真实情况 (模量值应该随附加应力的增加而减小) 相反。这一错误是众所周知, 但一直无法改正。2009 年勘察某场地各层土的 E_s 值如表 1 所示, 除 15 m 外, 其他各层的

E_s 值都是随附加应力的增加而增加。同时, 对相同土性的土, 模量值应该随地基深度的增加而增加, 表 1 的情况也非如此。 E_s 值的错误使计算结果很难反映实际情况, 因此地基基础按变形设计的理想, 一直无法实现, 地基设计只能依据承载力进行。由此引起的经济损失, 据美国统计资料显示, 每年在 100 亿美元以上。

收稿日期: 2009-08-07

第一作者简介: 焦五一, 男, 1933 年生, 工程师, 主要从事地基勘察设计方法的研究。E-mail: jiaowuyi@163.com

E_s 值的错误缘自于其试验仪器 Oedometer 压缩仪的诸多缺陷, 由它求得计算黄土湿陷的湿陷系数 δ_s , 60 多年来更是没有计算成功的一个实例。

表 1 地基不同深度处不同附加应力的 E_s 值
Table 1 Modulus of compressibility in different depths and superimposed stresses

深度/m	自重压力 /MPa	不同附加压力 p (MPa) 下的 E_s 值/MPa				
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
10	0.024	7.5	8.0			
15	0.186	8.2	6.5			
24	0.258	12.0	13.5	15.0	17.0	
33	0.400	14.0	16.0	18.0	20.0	
43	0.482	16.5	17.0	18.5	20.0	22.0
53	0.587	16.5	17.5	19.0	22.0	22.0
65	0.680	17.0	18.0	19.0	20.0	22.0

弦线模量 E_{ch} (Chord Modulus) 的研究就是从改正以上错误出发, 谋求解决地基变形和黄土湿陷计算问题的。弦线模量的机制是用载荷试验沉降曲线不同附加压力段的附加压力和沉降增量计算不同附加压力的弦线模量值。用分层总和法计算沉降或湿陷时按分层附加应力值用相应的弦线模量值。1969 年计算西安机瓦厂烟囱沉降一例中, 不同附加压力的 E_{ch} 值和计算烟囱基底压力为 151 kPa 沉降时不同深度处的 E_{ch} 值如表 2 所示。

表 2 E_{ch} 值和压力、地基深度的关系
Table 2 Relationship between E_{ch} , pressure and depth of foundation

压力/kPa	E_{ch} /MPa	深度/m	E_{ch} /MPa
25	19.09	0.46	1.293
50	7.646	1.38	1.303
75	3.689	2.30	1.323
100	3.253	3.22	1.579
125	1.351	4.14	2.796
150	1.296	5.06	3.427
175	1.222	5.98	3.671
200	1.071	6.90	5.43
225	0.927	7.82	7.013
238	0.750		

表 2 中最小和最大压力的 E_{ch} 值之比为 25, 最深和最浅层 E_{ch} 值之比为 5.4, 它改正了表 1 的错误。第一级压力的 E_{ch} 值就是变形模量 E 值。用 E_{ch} 和 E 值计算烟囱不同基底压力的沉降和实测的对比见表 3。表中基底压力从 34.4 kPa 到 119 kPa 期间为烟囱的施工阶段, 136 kPa 以后为烟囱因倾斜而做的反压矫正阶段。在施工阶段, 由于沉降计算用了观测时的压力, 地基在该压力下的沉降还没有完成, 所以 E_{ch} 计算值大于实测值; 在反压矫正阶段, 在所加压力的沉降稳定以后观测, 计算值与实测吻合。烟囱完全矫直时实际加的铁块重量 (151 t) 与 E_{ch}

计算的预估重量 (150 t) 也十分吻合。根据这一情况说明, 表 2 中 E_{ch} 值和压力以及地基深度的关系反映了地基非线性变形的特性。与之相比, E 值计算在第二级压力以后即随压力的增加而越来越小。显然, E 值随压力和地基深度不变的关系也是错误的。

表 3 两种模量计算烟囱沉降和实测的对比
Table 3 Calculation settlement and measured results of chimney with two moduli

观测阶段	压力/kPa	实测沉降 /cm	两种计算沉降/cm	
			弦线模量	变形模量
施工阶段	34.4	0.60	0.90	0.85
	63.9	2.50	4.92	1.80
	83.2	5.65	10.00	2.57
	90.1	8.00	13.25	3.26
	109.0	12.4	16.60	3.60
	119.0	17.0	23.38	3.91
	136.0	38.1	40.75	4.83
	143.0	40.4	42.06	5.06
反压矫正阶段	146.0	41.5	44.13	5.17
	149.0	42.9	45.79	5.27
	151.0	46.0	47.25	5.35
	153.0	46.1	48.60	5.42

以下为弦线模量的研究渊源。研究开始于 1963 年, 因为在此以前, 从 1958 年起西安和兴平地区地下水位持续上升, 使得 400 多栋建筑物发生了下沉事故。陕西省有关方面责成西北工业设计院和西北建筑科学研究所等单位共同研究处理方案。笔者当时在西北工业设计院参加了该项研究。文献[1]对下沉情况做了比较详细的描述, 但没有解决下沉计算问题。笔者在研究中发现, 下沉无法计算的原因就在于如表 1 所示的错误, 于是在文献[1]中提出了弦线模量的雏形。1967 年弦线模量首次用于受地下水上升影响的西安石油仪表厂, 计算 7 个车间的下沉结果见表 4, 笔者将全部原始资料一直保存至今。

表 4 弦线模量计算西安石油仪表厂沉降 (单位: cm)
Table 4 Calculation settlement with E_{ch} and measured results of the Xi'an oil instrument plant (unit: cm)

弦线模量	车间						
	1	2	3	4	5	6	7
计算值	6.12	3.31	5.10	5.20	6.63	11.90	10.30
实测值	5.75	2.21	4.24	7.07	6.68	9.86	7.44

从以上计算不同部位沉降到计算不同压力沉降的成功, 再结合 400 栋建筑物的调查资料, 笔者在文献[2]中对用 E_{ch} 值计算地基变形提出了 3 点预见: ①它突破了变形模量的线性条件限制, 可以计算非线性变形; ②分析统计求得 E_{ch} 值和土的物理指标

(孔隙比、含水率)关系的弦线模量表,用它即可以计算变形而不必做载荷试验;③用弦线模量表可以计算典型的非线性变形黄土湿陷。

以上预见两年以后实现:文献[3]依据弦线模量表计算了该项目研究单位共同在西安交大场地做的4台模拟地下水上升载荷试验和3栋受水位上升影响建筑物在水位上升不同幅度时的湿陷量以及场地自重湿陷量。还有中国建筑科学研究院在西安南郊和韩森寨做的8台地面浸水载荷试验的沉降和湿陷量,计算结果均与实测高度相符。又测算了《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ20-66)承载力的沉降量,也与承载力取值标准一致。特别是计算两项试验湿陷的分层变形与实测的一致,佐证了表2弦线模量值与深度的关系,对这一问题以后另作介绍。

1971年以后依据压板试验取值和弦线模量表计算了西安、华县和宝鸡等地50多项工程的沉降和湿陷,总计38年来计算国内外100多项不同试验和工程的黄土湿陷量,其结果也都和实测相符。表5给出27项结果,前8项就是1971年完成的。

表5 弦线模量和湿陷系数计算湿陷量与实测的对比
Table 5 Calculation collapse deformation with E_{ch} and δ_s and measured results

项目名称	试验条件		两种计算值/cm		实测 /cm
	边长 /cm	压力 /kPa	用 E_{ch} 计算	用 δ_s 计算	
西安南郊试验1	50.0	200	31.96	97.63	30.72
西安南郊试验2	70.7	200	42.74	97.63	46.16
西安南郊试验3	70.7	300	66.36	97.63	65.82
西安南郊试验4	100.0	200	56.33	97.63	51.72
西安韩森寨试验	80.0	200	98.88	78.05	94.80
西安交大试验	70.7	200	27.09	40.72	26.30
西安理工大学教学楼			37.61		30.46
兴平某厂车间			16.90		18.20
兰州西固试验	150.0	200	58.06	57.55	55.78
富平张桥试验1	70.7	125	21.80	90.96	14.13
富平张桥试验2	70.7	150	27.89	90.96	23.66
富平张桥试验3	70.7	150	27.89	90.96	31.22
富平张桥试验4	70.7	175	32.91	90.96	28.70
富平张桥试验5	70.7	200	37.71	90.96	34.22
富平张桥试验6	70.7	300	58.37	90.96	57.11
兰州东岗试验	200.0	200	142.90	90.15	147.40
甘肃天水试验	115.0	200	144.06	88.13	116.10
兰州二疗试验1	32.0	200	9.86	15.75	6.50
兰州二疗试验2	50.0	200	13.86	15.75	10.60
兰州二疗试验3	70.7	200	19.73	15.75	18.70
兰州二疗试验4	100.0	200	31.93	15.75	30.30
兰州二疗试验5	150.0	200	46.22	15.75	46.10
蒲城电厂试坑			6.56	57.87	8.37
阿塞拜疆试坑			73.67	83.33	76.00
华县肥料厂脱硫框架			19.84		14.40
华县肥料厂329塔			25.72		27.50
西安疾控中心住宅楼			19.10		20.00

湿陷计算应该考虑的因素很多,最基本的是基础面积和基底压力。其他如相邻基础的影响,地下水上升的上升幅度,地面浸水的浸水部位和浸水饱和度和,西安和兰州地区沉积环境的不同,黄土微结构的影响等。表5中 E_{ch} 的计算值考虑了以上所有因素,因此对表中同一场地不同条件试验的计算值不同;而表中 δ_s 的计算,连最基本的两项因素也不考虑,对同一场地不同条件试验的计算值相同,所以是不真实的。

2 弦线模量的普遍适用性

弦线模量的研究从黄土开始,以后编制的两项黏性土和软土软件不限于黄土,而能够用于所有黏性土和软土,以下先介绍计算软土变形的情况。我国《地基基础设计规范》(TJ7-74)的软土承载力 ABC (allowable bearing capacity),形成于1972年的《规范征求意见稿》,以后被国家标准(GBJ7-89)继续应用,此后又被天津市的DB29-20-2000《岩土工程技术规范》和广东省的DBJ15-31-2003《地基基础设计规范》采用。它是37年来各类 ABC 表中最稳定的。按TJ7-74规范说明,它是依据浙江、上海等7省市42份载荷试验资料,以沉降边长比(s/b)0.02为标准的回归方程订出的,规范取值作了微量的调整。表6为按压板尺寸1m×1m,埋深1.0m为条件,用软件计算两种 ABC 的沉降边长比(s/b)。回归 ABC 计算 s/b 非常接近0.02。

表6 软件测算软土 ABC (单位:kPa)的 s/b
Table 6 Calculation s/b of ABC for soft soil with software

含水率/%	回归承载力 /kPa	计算 s/b	规范承载力 /kPa	计算 s/b
36	116	0.021	100	0.016
40	103	0.020	90	0.016
45	90	0.017	80	0.014
50	80	0.015	70	0.012
55	72	0.018	60	0.014
65	59	0.017	50	0.014
75	50	0.017	40	0.013

软件适用的压力范围并不限于 ABC ,表7是计算比萨斜塔从1173-2002年前后829年的沉降和倾斜情况。其中1550年以后的北端抬升是比萨斜塔维护委员会在1997年发现的。反压方案是笔者1980年提给意大利的,1990年开始实施以后,维护委员会原定反压重量为600t,委员会主席亚密乌考夫斯基教授向笔者写信咨询。笔者依据计算结果,回信

建议加到 900 t。1995 年比萨斜塔晃动时加到 900 t 以后得以稳定。两年以后维护委员会首席岩土专家伯兰德在 1997 年 4 月 12 日《泰晤士报》撰文指出：“900 t 反压拯救了比萨斜塔”。本文有关比萨斜塔的叙述，在文献[4]中都有详细论述和资料印证。

表 7 软件计算比萨斜塔沉降和倾斜的情况

Table 7 Calculation settlement and tilt with software and measured results for the Tower of Pisa

编号	年代 加载/MN	计算沉降量/cm		倾斜值	
		南端	北端	计算	实测
1	1 173	39.86	39.86	0°00'00"	0°00'00"
2	1 174	143.76	143.76	0°00'00"	0°00'00"
3	1 178	145.71	145.71	0°00'00"	0°00'00"
4	1 272	242.79	239.15	0°06'23"	0°06'11"
5	1 285	260.64	220.90	1°09'46"	1°06'44"
6	1 360	288.71	224.36	1°52'56"	1°36'39"
7	1 550	349.18	抬升至 180	4°58'18"	4°41'07"
8	1 758	352.01	抬升至 180	5°01'14"	4°49'50"
9	1 817	357.41	抬升至 180	5°10'38"	5°06'11"
10	1 911	360.29	抬升至 180	5°15'39"	5°14'46"
11	1 990	364.59	抬升至 180	5°23'08"	5°28'09"
12	6	364.83	181	5°21'49"	
13	9	363.83	181	5°19'17"	

表 8 是计算我国软土地基上 7 台油罐的沉降量和实测的对比。

表 8 软件计算油罐沉降量和实测的比较

Table 8 Calculation settlement with software and measured results for tanks

油罐所在地址	罐容/m ³	罐底压力/kPa	沉降量/cm	
			计算	实测
上海 1050 油罐中	20 000	171.0	174.85	160.70
上海 1050 油罐边	20 000	171.0	125.73	111.70
天津油罐 1	5 000	197.0	114.29	98.97
天津油罐 2	5 000	197.0	114.29	97.34
天津油罐 3	5 000	197.0	114.29	91.53
天津油罐 4	5 000	197.0	114.29	111.84
武汉油罐	2 000	150.0	80.19	91.00
浙江油罐	10 000	191.4	184.36	179.80

《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ25—90)的 ABC 是依据秦、晋、豫、陇和青海五省 82 份载荷试验资料(去掉低孔隙比和高含水率)以沉降边长比(s/b) 0.02 为标准的回归方程订出的。表 9 为按规范 ABC 表排序,液限用 31 和 27,边长为 1.0 m,埋深为 1.5 m 计算其 ABC 的 s/b 值。从表可见,孔隙比较大时计算 s/b 值都在 0.02 左右,比较小时计算 s/b 值则比较小。这一情况和规范的取值标准很是一致。

表 9 软件测算黄土 ABC 的 s/b

Table 9 Calculation s/b of ABC for loess with software

w_L	e	不同 $w(\%)$ 的 s/b 值					
		10	13	16	19	22	25
31	1.41	0.018	0.021	0.024	0.028	0.020	0.024
27	1.23	0.018	0.019	0.022	0.029	0.020	0.026
31	1.24	0.019	0.017	0.020	0.026	0.018	0.024
27	1.08	0.017	0.017	0.019	0.024	0.017	0.025
31	1.11	0.016	0.018	0.017	0.021	0.015	0.023
27	0.96	0.015	0.016	0.017	0.020	0.015	0.020
31	1.00	0.014	0.016	0.018	0.021	0.015	0.022
27	0.87	0.010	0.015	0.016	0.019	0.014	0.021
31	0.91	0.009	0.014	0.016	0.019	0.014	0.022
27	0.79	0.011	0.011	0.013	0.013	0.009	0.019
31	0.84	0.009	0.010	0.013	0.011	0.009	0.016
27	0.73	0.009	0.009	0.010	0.012	0.010	0.015

国家标准《地基基础设计规范》(GBJ7—89)黏土 ABC 是依据北京、天津、陕西、山西等 20 个省市 169 份载荷试验资料,用与黄土相同的取值标准订的。用弦线模量软件按 ABC 表的排序和 ABC 值,按规范说明的液限、塑限关系图上两个特性点的液限值 27.5 和 37.5,塑限值 17.5 和 20.5 的计算 s/b 值如表 10,表中以液性指数 I_L 反映的含水率没有列出。黏土和黄土相同的是:孔隙比大的 s/b 值在 0.02 左右,孔隙比小的 s/b 值小于 0.02。孔隙比越小, s/b 值越小,数据从略。

表 10 软件测算黏土 ABC 的 s/b

Table 10 Calculation s/b of ABC for clay with software

w_L	e	不同液性指数 I_L 的 s/b 值					
		0.0	0.25	0.50	0.75	1.00	1.20
27.5	1.1	*	0.023	0.015	0.021	0.023	*
37.5	1.1		0.022	0.019	0.019	0.028	
27.5	1.0	0.019	0.023	0.016	0.021	0.021	*
37.5	1.0	0.014	0.020	0.023	0.023	—	
27.5	0.9	0.020	0.023	0.018	0.028	0.023	0.013
37.5	0.9	0.013	0.021	0.021	0.020	—	—

注: *表示规范没有的值, —表示含水率大于按孔隙比饱和的情况。

表 9 中与两种液限值相应孔隙比的差异比较大,表 10 中与两种液限值相应含水率的差异也比较大,但表中两者的计算 s/b 都比较接近,黄土的很多数字相同。这一点进一步证明了液限值是确切反映土微结构的定量指标^[5],所以一般黏性土的软件可以同时适用于黏土、黄土和粉土,粉土测算 s/b 数据略。

20 年来,依据黏性土软件,按变形控制修改了 210 多项大中型建筑物按承载力设计的地基基础方案,从大幅度减小基础尺寸、减小地基处理厚度、缩短桩长以及避免工程事故等方面,节省工程投资

3000 多万元。感谢工程单位的接受和支持,有的以协议形式请设计单位修改设计而自己承担责任。十多家单位负责人接受新华社的调查和应邀发表电视讲话,并多次出席新闻发布会、学术研讨会。从弦线模量开始用于西安石油仪表厂、西安机瓦厂至今 42 年来,工程单位出具的 104 份情况说明,充分肯定了弦线模量按变形控制地基设计的情况。有关弦线模量 70 多篇论文都是结合工程研究得到的结果。

对弦线模量的取值方法(分层按附加压力用载荷试验相应压力的值)这一点,除用计算值和实测值的相同证明以外,文献[2]中计算了两台试验的分层湿陷量与地基埋设玻璃球的测量结果一致,其中一台如表 11 所示,以后又计算了富平张桥两台试验的分层湿陷量,也与实测一致。对于压缩变形的情况,计算表 8 中上海 1050 号油罐地基的分层变形,与深层标点的实测结果一致^[6]。此外,比萨斜塔地基变形发生的层位也证明了这一点。1997 年以前维护委员会专家一直认为直接位于基底以下,土性好的 A 层不发生变形,变形发生于其下的 B1 层。1993 年笔者依据软件计算分层变形结果,A 层和 B1 层都是变形的主要层位,A 层变形还更大一些,并将计算结果函告了亚密乌考夫斯基教授并多次公开发表。4 年以后这一情况终被维护委员会专家认同,并与前述北部抬升同列为其研究的三大发现之一。

表 11 计算分层变形值和实测的比较
Table 11 Calculation deformation of different layers and measured results

土层厚/cm	计算/cm	实测/cm
20	4.62	3.40
20	4.40	3.20
20	4.99	3.30
20	4.30	4.10
20	3.58	4.10
20	2.94	4.00
20	2.40	4.00
20	1.98	3.20

3 美国技术标准用弦线模量的情况及其对我国技术更新的启示

值得注意的是,与笔者研究弦线模量的同一时期(查证的数据显示可能是在其后),美国材料和试验协会 ASTM 在金属材料的变形计算中也发现了杨氏模量不能计算非线性弹性变形的问题,并在其标准中用了弦线模量。“ASTM 标准 E111”用弦线模量比较早的版本是 1982 年。继金属材料之后,美国在 ASTM C469-02 标准中又将弦线模量用于混凝

土材料。此外,英国 Instron 国际仪器公司生产的万能材料试验机也将弦线模量列为(除土以外)各种材料的试验项目。我国用弦线模量的材料试验标准 GB8653-88 和 GB/T 22315-2008 就是参照美国标准订的。

土的变形不仅在受力情况上与金属不同,而且由于土是多孔、多相、松散介质,其变形主要是塑性变形,与金属晶体材料的弹性变形相比,土的非线性变形与线性变形值之差要大得多。

美国及时将弦线模量引入多种材料变形计算的标准,对(更大非线性)土的变形,特别是对湿陷变形,更应该用弦线模量计算。42 年经过数百工程的证明,又用不同数学曲线对不同情况做了证明^[7]。20 多年来笔者一直呼吁,希望有关单位接收弦线模量软件,不希望在离开这一世界时留下遗憾。

有幸的是在今年 3 月 30 日,陕西省老科学技术教育工作者协会发出了第 2 号《老专家建议》文件,恳请对弦线模量的技术性能超过西方,软件用于规范以后的节能减排效益,每年可达 100 亿元(材料节省约为钢材 30 万吨,水泥 100 万吨)的事实进行核查。在建国 60 周年前夕,老科协进一步商定:国庆以后先由老科协接收,以后再作处理,希望支持的专家共同努力。

最近中铁二院薛新华博士专程从成都来西安了解弦线模量的情况。他以两天的时间详细检查了从 1967 年以来各个时期的计算数据,并和笔者反复讨论以后对弦线模量有了高度的认同,主要有四点:第一是,弦线模量的机制表现为表 2 的两个关系非常准确而明晰,任何模型都达不到;第二是,用于规范虽然还有一些没有解决的问题,但与现行规范方法相比,只有改进而没有任何不足之处;第三是,对软件的资料取值问题,除工程证明外,对规范承载力的全面测算结果比回归检验更可靠;第四是,支持陕西省老科协的意见,弦线模量应当尽快用于我国地基规范,为节能减排作出贡献,对黄土规范而言,除经济效益外,计算湿陷变形方法的真实性对我国的科学诚信也是应该考虑的问题。

参考文献

- [1] 焦五一,傅义和,陆德明,等.西安地区地下水上升引起民用建筑沉降和裂缝的分析[J].建筑技术,1966(13): 15-23.

