

建筑科学研究报告

REPORT OF BUILDING RESEARCH

1984

No. 1-6

混凝土强度的统计分析及其抽样 检验方案的概率分析

Statistical Evaluation of the Strength
of Concrete and Probability
Analysis of Its Sampling Plan

中国建筑科学研究院
CHINA ACADEMY OF BUILDING RESEARCH

提 要

专题组结合生产实际,对不同龄期的混凝土试块强度及其分布规律,对混凝土验收批的划分及其统计参数的确定方法,以及对取样的合理方法都进行了研究和必要的试验工作。通过对全国十个省市自治区的77个预制厂和104个施工现场的68000多组混凝土试块强度统计调查分析和对当前各国广泛应用的“平均值——最小值”的抽检方案进行研究,提出了确定检验规则和计算接受概率的数学方法,以及采用“平均值——最小值”为检验方案的建议。

目 录

一、混凝土强度的统计分析	(2)
二、混凝土强度抽样检验的概率分析	(19)
结 语	(31)
参考文献	(32)

Statistical Evaluation of the Strength of Concrete and Probability Analysis of Its Sampling Plan

Institute of Building Structures
Han Sufang Chen Jifa Shi Zhihua

Abstract

The research working group has through productive practice with necessary experimental works studied the strength of various aged concrete cubes and its probability distribution, the method of dividing concrete into lots for acceptance, the determination of its statistical parameters and the sampling procedures. The strength of more than 68,000 sets of concrete cubes from 77 precast concrete factories and 104 construction sites in 10 provinces, cities, autonomous regions in China have been investigated and the current sampling plan "mean minimum value" has also been reviewed. Inspection rules and compliance assessment on the basis of sampling plan "mean minimum value" including the calculation of acceptance probability are proposed.

混凝土强度的统计分析及其抽样 检验方案的概率分析

中国建筑科学研究院结构所 韩素芳 陈基发 史志华

混凝土强度是钢筋混凝土结构性能的一个重要指标,是影响结构可靠度的一个主要因素。因此,掌握混凝土强度的变异规律,对于工程结构设计与施工是十分重要的。

众所周知,混凝土强度是受多种因素的影响;每种组成材料性能的变异、由计量误差引起混凝土配比的变异、混凝土拌合物的搅拌、运输、成型和养护等工艺条件的变异以及试验误差等,都会引起混凝土强度的波动,且其波动是有一定规律可循的,即它的取值分布在一定的区间内,以不同的概率出现,因此说,混凝土强度本身,从统计特性上讲,它是一个随机变量。所以可以用数理统计方法予以研究和认识。

随着结构设计理论的发展,也要求对混凝土强度进行统计分析,并明确规定与结构可靠度相适应的混凝土强度取值原则;同时,据此制定相应的混凝土生产管理标准,如生产过程的质量控制、混凝土强度检验标准等,以及设计、施工、生产协调一致。为此,我们对混凝土试块的抗压强度进行了试验研究、统计调查及分析工作,并提出混凝土强度检验标准的建议方案。

一、混凝土强度的统计分析

(一)在混凝土生产中应用的各种试块抗压强度

目前在混凝土生产中,由于检验目的不同,对试块的养护条件和龄期的要求也不同,现行《钢筋混凝土工程施工及验收规范》(GBJ10—65修订本)的规定:混凝土的抗压强度,应以标准条件下养护28天的试块(试块在灌注地点制作)作抗压试验,根据试验结果评定结构或构件中的混凝土是否达到设计标号(见规范132条);为了检验混凝土的养护质量,对重要的结构或构件,尚宜采用与结构或构件相同条件养护28天的试块进行抗压强度的试验,并以试验结果作为检查结构或构件中混凝土强度增长是否正常的参考(132条注④);当有必要时,还应多留几组与结构或构件相同条件养护的试块,作为检查拆模、出池、出厂、起吊、张拉、放松和加荷时混凝土强度之用(见133条)。

归纳国内外在混凝土生产中应用的试块强度,约有四种:(1)标准养护条件(简称

* 在平均值——最小值抽检方案的接受概率的计算方面,曾得到中国科学院数学所概率室吴传义同志的指导和帮助,在此表示感谢。

标养)28天的试块强度;(2)与结构或构件同条件养护28天的试块强度;(3)先随结构或构件同条件蒸汽养护,然后再标养共28天的试块强度;(4)与结构或构件同条件养护,检查早期强度用的试块强度。现将这四种试块强度的应用情况及其存在的一些问题分述如下:

标养28天的混凝土试块强度的统计资料,我们认为可作为评定混凝土配合比、原材料管理及混凝土搅拌质量的依据。对于混凝土原材料的管理和控制良好,并且搅拌均匀的生产单位,其标养28天强度的离散性就小,反之就大。所以,标养28天强度的离散性指标的统计结果,可作为检查和衡量混凝土原材料控制与拌和物搅拌质量的依据,而标养强度的平均值统计结果,可用来检查试验室配合比设计是否符合混凝土设计标号的要求。但是,目前在很多生产企业中,试块养护条件达不到标准要求,有的工厂甚至没有标准养护室,或即使有标养室,但温湿度条件控制很差,特别在南方地区,夏季气温较高,难以控制到标准温度;再者,由于标准养护强度在生产过程中对混凝土结构或构件质量的控制作用不大,因而工厂对完善标准养护条件常常不予重视。因此,目前很多混凝土预制构件厂只能做到相近于标准养护的条件。例如上海混凝土制品某厂,混凝土标养试块在春、夏、秋三季都是集中堆放在室外,冬天或气温低于 15°C 时才放进养护室,而养护室采用升火烧开水来加温加湿。可见,养护条件的波动很大,由此带来的强度附加变异就不易估计。

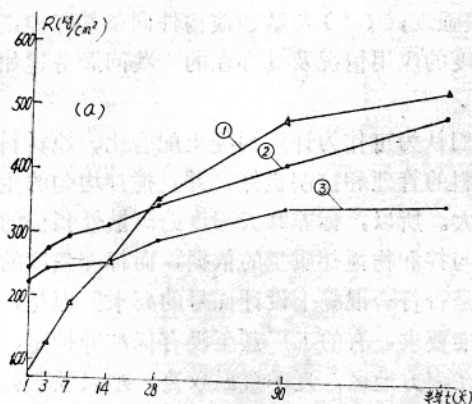
同条件养护28天的试块强度,施工验收规范中规定作为观察混凝土强度增长是否正常之用,并只是用在重要结构中。我们认为,这种强度综合地反映了混凝土配合比设计,原材料控制,搅拌、运输、振捣及养护等全部生产工艺条件的影响,因而用它来考查结构和构件中混凝土的强度可能更为恰当。将这种强度与标养28天强度进行比较,可以判断混凝土构件振捣、养护条件的优劣。

对于蒸汽养护的构件,也有采用先随构件同条件蒸养,而后再放入标准养护室共28天的试块强度。将这种强度与标养28天的强度进行比较,可以判断蒸养条件的优劣。在苏联现行国家标准《混凝土均质性及强度的检验和评定》(ГОСТ18105-72)中,将这种试块强度定为蒸养混凝土的标准强度,主要考虑了混凝土经蒸汽养护后,减缓了混凝土强度的后期增长。

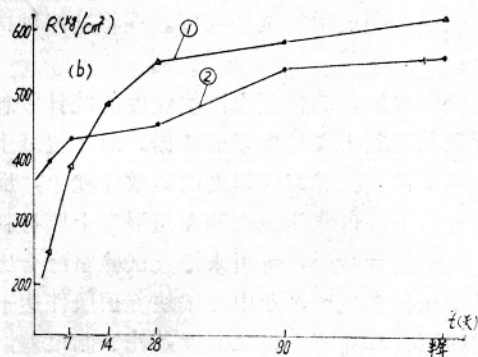
为了了解蒸养后的混凝土强度及其龄期的增长规律,1977年我们在北京市第一建筑构件厂做了15批试验,并与标养的试块相对比。此次试验包括两种不同水泥配制的不同标号的混凝土,即:400#矿渣水泥配制的300#混凝土和500#普通水泥配制的400#混凝土。试块试压的龄期分别为1天、3天、7天、14天、28天、90天、180天。试验结果表明:蒸汽养护的混凝土强度,当龄期为28天时比标养条件下的强度平均低15~20%,直至180天两者的强度仍保持一定的差距(见图1),但这差距是在缩小的。

根据该厂1976年与1979年两年混凝土强度的历史资料的统计结果,蒸养混凝土28天与标养28天强度的平均比值在0.725至0.795之间,可见蒸养构件的混凝土强度若用标养28天强度来表征,是不大合理的。

混凝土试块与构件同条件养护的早期强度,主要出于工艺的要求而进行检验的。现行施工验收规范对此没有明确的要求,是由工厂和工地根据设计要求自行掌握。应当指出,



- ①—在标养条件下 8 批混凝土试块强度平均值的
增长规律
- ②—蒸养后自然养护条件下 (4~5 月份)
8 批试块强度平均值的
增长规律
- ③—蒸养后自然养护条件下 (严冬) 3 批
试块强度平均值的
增长规律



- ①—标养条件下 4 批试块强度平均值
增长规律
- ②—蒸养后自然养护条件下 (4~5 月份) 4 批
试块强度平均值的
增长规律

图 1 混凝土强度随龄期的变化规律

(a) 400 号矿渣水泥配制的 300 号混凝土

(b) 500 号普通水泥配制的 300 号混凝土

在不少情况下,混凝土施工配制强度是根据早期强度要求确定的,因此,早期强度的规定是否合理,对水泥用量很有影响。

统计混凝土强度的目的,一般有两个:其一是掌握混凝土生产质量,改善混凝土生产管理,以达到既经济又能保证工程质量的目的;其二是了解混凝土强度的实际变异,为规范设计强度取值提供依据,以达到安全的目的。因此,要根据不同的目的,选取不同的混凝土强度进行统计。

(二) 混凝土强度的统计总体及其分布规律

关于混凝土强度的分布规律,一直是有争议的问题。有人认为混凝土强度服从正态分布,但在有些资料中,也有人认为要考虑偏态的其他分布。产生这些意见分歧的原因,主要在于所依据的统计对象总体的范畴不同,以及所依据的分布检验方法和检验标准也不尽相同。但从目前看,各个国家的有关规范、标准中多采用正态分布或对数正态分布。

以天(班)、月、季和年的混凝土强度分别作为统计总体,进行正态分布的假设检验。其中有的是根据生产积累的历史资料,有的是一段时间内(6~10天)每天专门组织的、在生产线上抽数量较大的混凝土强度试验资料。

我们采用两种假设检验方法:对样本容量大于 50 组的,采用 χ^2 拟合优度检验;对样本容量小于 50 组的,采用 W—正态检验方法。上述两种检验方法均取显著性水平为 5%。其检验结果分别列于表 1 和表 2 中。

混凝土强度正态分布检验(按 χ^2 检验)

表 1

编号	生产单位	生产年月	试块强度 性质	资料来源	试块 组数	R _{max}	R _{min}	$\bar{R}$	σ	Cv (%)	正态分布检验		检验结果
											D	χ^2 (m-3, 0.05)	
设计标号 R ^b =200													
1	贵阳四局二公司预制厂	65/1-6	自养28天	历史资料	144	352	138	243	34.6	14.2	7	8.89	是
2		65/7-12	"	"	145	312	118	232	34.7	15.0	6	6.28	"
3		73/6-10	"	"	101	388	153	259	53.5	20.7	7	5.60	"
4	贵州省预制厂	75/10-12	"	"	106	358	152	256	45.7	17.9	9	8.65	12.59
5		75/1-6	"	"	106	365	163	239	44.1	18.5	8	12.53	11.07
6		75/7-12	"	"	131	325	121	217	37.4	17.2	6	3.91	7.82
7	广西凤建五公司加工厂	76/1-10	"	"	141	358	133	229	36.4	15.9	6	5.93	7.82
8		76/1-12	"	"	134	410	181	276	47.8	17.3	9	5.01	12.59
9		66/1-10	"	"	142	422	60	217	60.0	27.6	8	6.25	11.07
10	广西区建一公司	71/	"	"	90	362	104	242	55.3	22.9	6	1.79	7.82
11		76/	"	"	8	335	145	209	40.5	19.4	5	9.49	5.99
12		76/1-3	标养28天	"	99	516	204	378	66.0	17.5	7	6.58	9.49
13	北京市建三公司	76/4-6	"	"	112	513	213	385	62.4	16.2	6	5.38	7.82
14		76/7-9	"	"	102	534	244	390	61.2	15.7	8	8.87	11.07
15		76/10-12	"	"	48	486	210	368	69.5	18.9	4	3.07	3.84
16	上海混凝土制品一厂三、四车间	76/1-12	"	"	361	534	204	382	64.2	16.9	17	26.30	23.69
17		76/1-3	自养23天	"	121	497	180	330	63.4	19.2	8	3.64	11.07
18		76/4-6	"	"	79	432	153	283	65.7	23.2	7	8.72	9.49
19	"	76/7-9	"	"	100			284	39.7	14.0	8	3.85	11.07
20		76/10-12	"	"	109			300	56.6	18.9	7	11.43	9.49
21		76/1-12	"	"	409	497	153	302	60.3	20.0	20	42.34	27.59
22	上海混凝土制品一厂	77/4-5	标养28天	试点资料	300	495	189	340	58.8	17.3	15	22.64	21.03
23		77/4-5	自养28天	"	300	495	180	337	50.9	15.1	12	13.53	16.92
24		77/3	标养28天	"	181	473	183	322	56.3	17.5	11	2.42	15.51
25	贵阳四局	77/4-5	自养28天	"	77	362	201	279	34.2	17.3	6	3.09	7.82
26		77/1-12	同条件28天	历史资料	123	384	119	227	40.5	17.8	7	4.37	9.49
27		77/1-12	标养28天	"	138	456	228	310	42.2	13.6	9	5.87	12.59

续表 1

编 号	生 产 单 位	生 产 年/月	试块强度 性 质	资料来源	试决 组数	设计 标 号			σ	Cv (%)	正 态 分 布 检 验		检验结果	
						R _{max}	R _{min}	R̄			分 组 数 m	D		χ ² (m-1, 0.05)
R ^b =300														
1	北京市第一构件厂	76/1	同条件28天	历史资料	113	462	216	336	50.5	15.0	9	5.71	12.59	是
2	"	76/2	"	"	127	525	270	357	40.9	11.5	7	3.25	9.49	"
3	"	76/3	"	"	167	507	288	380	40.7	10.7	9	2.58	12.59	"
4	"	76/4	"	"	161	542	279	390	44.8	11.5	9	14.12	12.59	否
5	Σ	76/5	"	"	213	474	252	354	45.4	12.8	10	16.50	14.07	"
6	"	76/6	"	"	183	450	248	340	36.9	10.9	9	11.03	12.59	是
7	"	76/7	"	"	199	459	231	370	46.0	12.4	9	5.72	12.59	"
8	"	76/8	"	"	165	510	297	382	47.6	12.5	10	17.26	14.07	否
9	"	76/9	"	"	196	450	212	340	43.8	12.9	8	15.84	11.07	"
10	"	76/10	"	"	191	531	252	366	45.5	12.4	6	4.01	2.87	是
11	"	76/11	"	"	167	432	243	332	36.8	11.1	9	5.05	12.59	"
12	"	76/12	"	"	92	491	255	363	47.2	13.0	7	8.14	8.49	"
13	"	76/1-3	"	"	407	525	216	361	47.2	13.1	14	9.14	19.68	"
14	"	76/4-6	"	"	557	476	248	360	47.0	13.1	16	18.38	22.36	"
15	"	76/7-9	"	"	560	510	212	363	48.9	13.5	15	24.68	21.03	否
16	"	76/10-12	"	"	450	531	243	353	45.6	12.9	12	33.39	16.92	"
17	"	76/1-12	"	"	1174	542	212	359	47.4	13.2	20	34.00	27.59	"
18	北京市第一构件厂二车间(5)	76/1-12	出 池	"	516	371	113	235	42.1	17.9	11	30.77	15.51	"
19	"	76/1-12	同条件28天	"	517	483	136	315	54.0	17.1	9	8.63	12.59	是
20	"	76/1-12	标养28天	"	205	567	267	399	48.3	12.1	8	3.89	11.07	"
21	上海混凝土制品厂一厂三、四车间	76/1	自养28天	"	60	518	276	389	52.7	13.6	5	1.78	5.99	"
22	"	76/2	"	"	45	621	346	474	61.7	13.0	4	2.50	3.84	"
23	"	76/3	"	"	71	522	288	413	55.7	13.5	6	7.81	7.82	"
24	"	76/4	"	"	61	540	200	395	57.5	14.6	4	0.46	3.84	"
25	"	76/5	"	"	61	504	225	344	54.1	15.7	4	1.13	3.84	"
26	"	76/6	"	"	82	477	237	372	43.4	11.7	5	3.16	5.99	"
27	"	76/7	"	"	87	468	180	331	45.4	13.7	4	8.14	3.84	否

28	上海混凝土制品厂一厂三、四车间	76/8	自养28天	历史资料	74	423	225	341	42.3	12.4	5	1.19	5.99	是
29	"	76/9	"	"	78	450	243	352	41.5	11.8	5	2.63	5.99	"
30	"	76/10	"	"	73	504	280	379	57.7	15.2	6	5.60	7.81	"
31	"	76/11	"	"	66	507	245	378	60.1	15.9	6	2.37	7.81	"
32	"	76/12	"	"	89	562	266	420	70.8	16.9	7	2.88	9.49	"
33	"	76/1-3	"	"	176	621	276	420	64.9	15.5	12	19.85	16.92	否
34	"	76/4-6	"	"	204	540	200	371	54.6	14.7	9	3.78	12.59	是
35	"	76/7-9	"	"	239	468	180	341	44.0	12.9	7	5.24	9.49	"
36	"	76/10-12	"	"	228	562	245	395	66.6	16.9	18	9.13	18.31	"
37	"	76/1-12	"	"	847	621	180	379	64.5	17.0	18	28.10	25.00	否
38	上海混凝土制品厂二厂	76/1-9	"	"	227	723	333	497	80.4	16.2	9	36.77	12.59	"
39	"	76/1-12	同条件28天	"	480	600	223	385	61.7	16.0	13	27.49	18.31	"
40	北京市第一构件厂一车间	76/1-3	"	"	148	486	225	349	45.9	13.2	7	2.88	9.49	是
41	"	76/4-6	"	"	155	486	223	347	46.8	13.5	8	5.92	11.07	"
42	"	76/7-9	"	"	135	493	252	357	41.9	11.7	7	50.9	9.49	"
43	"	76/10-12	"	"	104	495	273	346	39.9	11.5	6	10.55	7.82	否
44	"	76/1-12	"	"	542	495	223	350	44.2	12.6	16	30.04	22.36	"
45	"	76/1-12	标养28天	"	218	571	331	440	50.7	11.5	10	8.16	14.07	是
46	北京市第一构件厂二车间	76/1-6	出池	"	271	399	150	251	45.2	18.0	10	26.02	14.07	否
47	"	76/7-12	"	"	229	408	167	246	39	15.9	8	5.53	11.07	是
48	"	76/1-6	同条件28天	"	271	500	186	325	52.8	16.3	9	10.92	12.59	"
49	"	76/7-12	"	"	230	428	228	325	42.3	13.0	10	11.89	14.07	"
50	"	76/1-12	标养28天	"	247	594	297	442	52	11.8	9	13.04	12.59	否
51	上海混凝土制品厂大车间	76/1-12	出池	"	548	450	131	274	61.6	22.5	11	27.31	15.51	"
52	"	76/1-3	同条件28天	"	110	513	225	353	68.8	19.5	12	20.55	16.92	"
53	"	76/4-6	"	"	122	517	225	369	63.7	17.3	11	12.60	11.51	是
54	"	76/7-9	"	"	161	513	234	387	60.4	15.6	11	11.23	15.51	"
55	"	76/10-12	"	"	115	468	228	325	59.6	18.3	10	28.41	14.07	否
56	"	76/1-3	"	"	121	558	293	372	56.3	15.1	7	8.95	9.49	是
57	"	76/4	"	"	43	540	315	420	59.4	14.1	4	3.75	3.84	"
58	"	76/5	"	"	48	540	257	393	64.5	16.4	4	3.21	3.84	"
59	"	76/6	"	"	84	504	270	480	60.7	15.7	8	8.93	11.07	"
60	贵阳四局一公司	75/4-76/3	标养28天	"	177	456	225	344.6	47.5	13.8	9	2.33	12.59	"
61	广西区建五公司加工厂	75/1-6	自养28天	"	90	455	249	341	44.3	13.0	8	12.31	11.07	"

续表 1

编 号	生 产 单 位	生 产 年/月	试块强度 性 质	资料来源	试块 组数	R _{max}	R _{min}	R̄	σ	C _v (%)	正 态 分 布 检 验		检验结果	
											分 组 数 m	D		
62	广西区建五公司加工厂	75/7-12	自养28天	历史资料	100	476	235	351	51.8	14.8	8	4.21	11.07	是
63		76/1-6	"	"	93	456	184	309	47.3	15.3	6	2.90	7.82	"
64		76/7-12	"	"	144	475	223	330	48.8	14.8	9	4.24	12.59	"
65	北京市建三公司	75/1-12	标养28天	"	70	540	240	329	49.7	15.1	4	7.82	3.84	否
66		77/1	出 池	点试资料	201	443	254	329	36.7	11.2	8	7.30	11.07	是
67	北京市第一构件厂	77/1	标养28天	"	201	612	381	492	40.1	8.2	8	18.99	11.07	否
68		77/1	出 池	"	180	469	189	297	57	19.2	10	12.16	14.07	是
69		77/1	标养28天	"	200	603	297	457	42.9	9.4	9	7.92	12.59	"

设 计 标 号 R⁰=400

1	北京市第一构件厂一车间	76/1-3	同条件28天	历史资料	74	636	293	453	59.4	13.1	4	4.83	3.84	否
2		76/4-6	"	"	73	555	324	443	50.1	11.3	5	5.24	5.99	是
3		76/7-9	"	"	51	554	324	473	56.2	12.9	4	0.99	3.84	"
4		76/10-12	"	"	50	495	261	400	46.1	11.5	4	1.28	3.84	"
5		76/1-12	标养28天	"	110	654	420	525	49.8	9.5	7	6.20	9.49	"
6		76/1-12	出 池	"	209	456	185	312	50.0	16.0	9	1.61	12.59	"
7		76/1-12	同条件28天	"	210	561	257	396	63.0	15.9	11	10.799	15.51	"
8		76/1-12	标养28天	"	187	606	336	486	55.4	11.4	9	5.80	12.59	"
9		76/1-12	出 池	"	238	584	198	356	63.7	17.9	11	26.71	15.51	否
10	上海混凝土制品一厂六车间	76/1-12	同条件28天	"	225	594	279	445	57.1	12.8	12	22.29	15.92	"
11		77/4-5	出 池	试点资料	180	540	270	421	41.6	9.9	7	26.2	94.9	是
12		77/4-5	标养28天	"	161	666	315	489	71.9	14.7	8	3.91	11.07	"
13	北京市第一构件厂一车间	76/1-3	出 池	历史资料	74	513	248	344	54.6	15.9	6	60.4	7.82	"
14		76/4-6	"	"	73	404	232	331	38.0	11.5	6	4.53	7.82	"
15		76/7-9	"	"	51	413	234	319	41.8	13.1	5	3.76	5.99	"
16	"	76/10-12	"	"	50	392	234	303	32.3	10.7	4	7.82	3.84	否

混凝土强度正态分布检验(按W检验)

表 2

编号	生产单位	生产 年/月	试块强 度性质	资料 来源	设计 标号	批数 m	每批试 块组数 n	各批混凝土强度分布检验					批间分布检验			
								W					W _{0.05}	W _R	W _{0.95}	
1	北京市第一 构件厂	77/2	出池	试点 资料	300	10	20	0.947 0.932	0.950 0.903	0.924 0.808	0.952 0.927	0.957 0.978	0.905	0.977	0.852	
2	"	77/2	标养 28天	"	300	10	20	0.934 0.960	0.950 0.973	0.859 0.980	0.928 0.979	0.926 0.934	0.905	0.933	0.842	
3	"	77/5	出池	"	300	11	5	0.927 0.918	0.879 0.872	0.896 0.859	0.969 0.972	0.957 0.868	0.897 —	0.762	0.948	0.850
4	"	77/5	自养 28天	"	300	11	5	0.978 0.957	0.972 0.889	0.789 0.932	0.867 0.770	0.957 0.892	0.929 —	0.762	0.918	0.850
5	"	77/5	标养 28天	"	300	11	5	0.787 0.984	0.894 0.784	0.800 0.993	0.968 0.883	0.860 0.982	0.946 —	0.762	0.929	0.850
6	上海混凝土 制品厂一厂	77/1	自养 28天	"	300	10	20	0.895 0.945	0.946 0.924	0.980 0.971	0.962 0.962	0.895 0.956	0.905	0.850	0.842	
7	"	77/1	出池	"	300	10	20	0.658 0.945	0.972 0.973	0.888 0.955	0.945 0.912	0.763 0.948	0.905	0.954	0.842	
8	"	77/4	自养 28天	"	200	10	10	0.973 0.968	0.944 0.964	0.964 0.965	0.812 0.954	0.924 9.903	0.842	0.839	0.842	
9	"	77/4	标养 28天	"	200	10	10	0.926 0.958	0.942 0.980	0.939 0.851	0.937 0.847	0.977 0.929	0.842	0.956	0.842	
10	"	77/4 —5	"	"	400	10	6	0.851 0.963	0.883 0.968	0.883 0.961	0.942 0.881	0.951 0.876	0.788	0.959	0.842	
11	"	77/4 —5	自养 28天	"	400	10	6	0.932 0.869	0.979 0.897	0.972 0.951	0.922 0.796	0.955 0.967	0.788	0.994	0.842	
12	"	77/4 —5	出池	"	400	10	6	0.807 0.654	0.917 0.787	0.957 0.887	0.913 0.905	0.984 0.745	0.788	0.890	0.842	

表 1 是对样本较大的强度数据,采用 χ^2 拟合优度检验的结果。资料多取自各工厂积累的历史资料记录,分标号按强度的性质、统计总体的大小(月、季、年)分别统计。从检验结果看,混凝土强度总体按正态分布的假设未被否定的占71.4%,按标号和按混凝土强度性质的不同,并无很大出入。但统计总体的统计期的长短对分布颇有影响:在按年统计的总体中,未被否定正态分布假设的占50.0%;在按季统计的总体中占76.9%;在按月统计的总体中占81.3%。因此,当统计期限在一个季度以内时,混凝土各种强度的分布一般可近似认为服从正态分布。

关于统计期为一天或一个台班的情况，我们虽然组织了一天内的混凝土强度抽样试验，但每天的抽样数量还是有限的，最多只有20组。对这种小样本的情况，我们采用W—正态分布假设检验方法，表2是检验的结果。结果表明，在123批资料中有112批按正态分布假设未被否定，占总批数的91.1%。用同样的方法，检验了批平均强度的分布，其结果也表明可按正态分布考虑。

综上所述，目前工厂生产混凝土各类试块强度，在相同的统计前提下，总体的范畴不要取得太大，一般可按正态分布考虑。

(三) 每一批混凝土强度统计参数的确定

在明确混凝土强度的分布类型以后，下一步是如何确定正态分布的两个统计参数—平均值 μ_R 和标准差 σ_R 。

总体的统计参数 μ_R 及 σ_R ，事实上只能根据样本试验数据整理而得的估计值 $\bar{R}$ 和 $\hat{\sigma}$ 来确定：

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2$$

式中： R_i ——第*i*组混凝土强度值，以 kgf/cm^2 计。

n ——混凝土强度的样本容量。

下面将讨论如何在生产企业中确定每批混凝土强度的统计参数。

1. 方差齐性和均值相等的假设检验

在工厂中生产的各批混凝土，虽然都在相同条件下生产，但将各批中抽样取得的混凝土强度数据，经统计计算，分别求得的各批统计参数估计值 $\bar{R}$ 和 $\hat{\sigma}$ ，在多数情况下是不相等的。这里，可能是各批混凝土之间生产条件实际上存在显著的差异性，但也有可能完全是由于抽样数据的随机性所造成。为了区分这两种原因，我们首先讨论各批混凝土之间混凝土强度统计参数 μ_R 及 σ_R 是否相等的假设检验，弄清楚各批混凝土强度的均值和方差是否存在显著性的差异，然后才能确定有代表性的混凝土强度的批平均值与标准差。检验的前提条件是假定各批统计总体符合正态分布。

(1) 多个正态统计总体的标准差 σ_R 是否相等（方差齐性检验），可应用M.S巴特利特的检验方法^[1]。

设*m*个正态总体，第*j*个总体的样本容量为 n_j ，样本的总容量 $N = \sum_{j=1}^m n_j$ 。而第*j*个正

态总体的样本离差平方和（简称平方和）为：

$$S_j = \sum_{i=1}^{n_j} (R_{ij} - \bar{R}_j)^2$$

式中, R_{ij} ——第j批混凝土第i组试块强度值;

$\bar{R}_j$ ——第j批混凝土强度平均值, $\bar{R}_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} R_{ij}$ 。

若m个总体方差 σ_R 相等, 且 $n_j \geq 4$, 则统计量 $B = \frac{1}{C} \left[(N-m) \ln \frac{\sum_{i=1}^m S_i}{N-m} - \sum_{j=1}^m (n_j-1) \ln \frac{S_j}{n_j-1} \right]$ 将近似服从自由度为 $m-1$ 的 χ^2 分布。

式中 $C = 1 + \frac{1}{3(m-1)} \left(\sum_{j=1}^m \frac{1}{n_j-1} - \frac{1}{N-m} \right)$ 。

若m个总体的样本容量相等时, 即 $n_j = n$, 而 $N = m \cdot n$, 则统计量B可简化为

$$B = \frac{1}{C} (n-1) \left[m \ln \frac{\sum_{j=1}^m S_j}{m(n-1)} - \sum_{j=1}^m \ln \frac{S_j}{n-1} \right]$$

式中 $C = 1 + \frac{m+1}{3m(n-1)}$ 。

如经检验, 统计量B值低于显著性水平 $\alpha = 0.05$ 的界限值 χ_{α}^2 时, 一般可以认为m个总体方差(或标准差)基本相同, 此时可以不考虑总体间标准差的变异性。

(2) 多个正态总体的均值 μ_R 是否相等, 可应用统计量F的检验方法。反映各批量之间

差异的平方和 $S_1 = \sum_{j=1}^m n_j (\bar{R}_j - \bar{R})^2$, 相应的自由度 $f_1 = m-1$, 其中, $\bar{R} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} R_{ij}$ 。

反映各批量内部差异的平方和 $S_2 = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} (R_{ij} - \bar{R}_j)^2$ 相应的自由度 $f_2 = \sum_{j=1}^m (n_j - 1) = N - m$ 。

此时, 以两个方差比值为统计量的 $F = \frac{S_1/f_1}{S_2/f_2}$ 将服从自由度为 (f_1, f_2) 的F分布。若各批总体的平均值 μ_{Rj} 为相等的假设成立, 则比值F不应超过按显著性水平 α 要求的界限值, 否则摒弃这个假设。 α 一般可取0.05~0.10。

上述的F检验仅适用于相当多批总体标准差基本上相等的情况。若标准差相等的假设经方差齐性检验未能证实, 其均值是否相等的检验方法, 在此不作介绍。

2. 统计参数确定方法

目前混凝土预制构件厂的产品, 一般按天或台班验收。因此, 我们曾在北京市第一构件厂和上海混凝土制品厂, 以一个台班生产的混凝土为一批, 进行了若干批专门的抽样检

验工作。有的还分析了同时期生产的历史资料,采用上述方法,进行了统计检验。结果表明,各批混凝土强度的方差在一定期限内,一般能满足齐性检验(见表3),只是有个别不能满足,但只要仔细检查,剔除少数异常批量的数据后,也能满足齐性检验。这说明在生产企业中,当生产正常时,在一段时期内,可以认为各批量的标准差 σ_R 为一定值,各批计算所得标准差的估计值 $\hat{\sigma}_R$ 之所以不同,仅是由抽样的随机性造成的。此时,每批混凝土强

混凝土强度方差齐性检验

表 3

编号	生产年月	试块强度性质	资料来源	设计 标号	批数 m	每批试 块组数 n	B	$\chi^2 (m-1, 0.05)$	$\bar{R}$	σ_p	$C_{v p}$
北京市第一建筑构件厂一车间											
1	77年2月	R _出	试 点	300	9	20	7.528		323.03	23.55	7.29
2	"	R _{2.8}	"	300	10	20	12.056	16.619	491.19	32.07	6.53
3	"	R _出	日班历史	300	22	2—4	19.340	32.671	264.65	19.51	7.37
4	"	R _{2.8}	"	300	22	2—3	16.492	32.671	36.101	28.54	7.91
5	"	R _出	夜班历史	300	22	2—4	14.500	32.671	260.10	23.48	9.03
6	"	R _{2.8}	"	300	22	2—4	14.170	32.671	352.02	31.67	9.00
7	77年5月	R _出	试 点	300	11	5	22.610	18.307	295.47	23.63	8.00
8	"	R _{2.8}	"	300	11	5	15.885	18.307	411.65	30.32	7.37
9	"	R _{2.8}	"	300	11	5	12.067	18.307	497.44	25.99	5.22
10	"	R _出	日班历史	300	27	2—4	37.480	38.885	280.94	29.51	10.50
11	"	R _{2.8}	"	300	27	2—4	18.152	38.885	420.32	40.88	9.72
12	"	R _出	夜班历史	300	28	2—3	27.174	40.113	274.90	30.50	11.09
13	"	R _{2.8}	"	300	28	2—3	31.800	40.113	398.95	38.84	9.74
上海混凝土制品厂一厂六车间											
1	76年11月	R _出	试 点	300	6	17—30	5.11	11.070	268.62	44.39	16.53
2	77年1月	R _出	"	300	10	20	14.352	16.919	281.43	37.85	13.45
3	77年4—5月	R _出	"	400	10	6	12.428	16.919	422.42	25.24	5.98
4	"	R _{2.8}	"	400	10	6	16.616	16.919	537.78	40.76	7.58
5	"	R _{2.8}	"	400	10	5	13.027	16.919	501.33	41.98	8.37
6	77年4月	R _出	602 历史	300	17	2—5	18.40	26.296	253.50	35.50	14.00
7	"	R _{2.8}	602 "	300	16	2—5	22.20	24.996	364.50	39.30	10.80
8	"	R _出	609 "	300	21	2—5	21.60	31.410	278.50	36.60	10.70
9	"	R _{2.8}	609 "	300	21	2—5	22.30	31.410	361.20	38.70	10.80
10	77年7月	R _出	609 "	300	25	2	20.60	36.415	260.40	35.20	13.50
11	"	R _{2.8}	609 "	300	19	2	14.13	28.869	383.40	37.50	9.80
12	77年11月	R _出	602 "	300	16	2	13.60	24.996	291.40	38.00	13.10
13	"	R _{2.8}	602 "	300	16	2	12.65	24.996	360.00	41.20	11.40
14	77年9月	R _出	602 "	400	18	2—6	30.20	27.587	348.62	30.86	8.85
15	"	R _{2.8}	602 "	400	18	2—6	17.40	27.587	486.12	38.69	7.96
16	"	R _出	606 "	400	13	2—5	12.28	21.026	384.63	31.65	9.08
17	"	R _{2.8}	606 "	400	13	2—5	9.93	21.026	510.56	47.18	9.24
18	77年10月	R _出	602 "	400	16	2—6	20.90	24.996	373.40	36.30	9.75
19	"	R _{2.8}	602 "	400	18	2—6	6.80	27.587	479.60	39.10	8.15
20	"	R _出	606 "	400	19	2—5	15.00	28.869	365.6	52.5	14.55
21	"	R _{2.8}	606 "	400	15	2—5	21.06	23.685	47.6	56.6	11.90

度的方差可按其方差的期望值来确定。

但是, 均值相等的假设检验, 按前述方法一般都得不到证实。因此每批混凝土强度均值仍以其各批的均值来估计。

这样在确定企业生产的每批混凝土强度的标准差 σ_R 时, 建议根据情况采取下述两种方式:

(1) 根据积累的来自生产的历史资料

在生产企业中, 对每批混凝土强度数据掌握得比较充分、积累的批量较多且数据比较稳定, 一般可按该资料来确定混凝土强度的批标准差 σ_R 。统计期可取一个月。从表3可以看出, 在一个月内存各批混凝土强度的方差齐性检验基本上都能得到满足, 因此一般可不进行齐性检验, 直接取各批混凝土样本方差的平均值

$$\sigma_R^2 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \hat{\sigma}_j^2$$

为每批混凝土强度总体方差的期望值, 从而 σ_R 的均值为所求的批标准差。

为了能算出每批总体的样本方差, 要求每批抽样数量不少于二次。

(2) 根据专门的抽样试验资料

在某些企业中, 由于生产量小或不连续生产, 每批混凝土中抽样数量少, 且批量也过少, 即混凝土强度数据不充分, 这样就不能根据历史资料来估计每批混凝土强度的方差。这时, 可在一段时间内组织专门的抽样检验, 由此确定每批混凝土强度的标准差。为了取得比较可靠的结论, 并考虑现实的可能性, 建议每批的取样次数至少5次, 即 $n \geq 5$, 批数 m 不小于10。

(四) 盘内混凝土强度的变异性及混凝土取样的方法

目前, 在混凝土生产中, 一般在成型区或搅拌地点, 从一盘混凝土中取出一部分拌合物, 制作三个试块, 形成一组, 以其平均强度来估计该盘混凝土强度。这样在一组内的混凝土强度的差异反映了盘内混凝土拌和物的不均匀性以及试验误差。实际上常以这一盘的混凝土质量来代表一天(或一个台班)生产的一批混凝土质量, 用这一盘混凝土强度的高低来判断一批混凝土的合格与否。有些单位用于制作三个试块的拌和物, 往往取自一盘混凝土的同一个部位; 个别单位还存在搅拌机组专门搅拌为取样用的“高质量混凝土”, 这样就破坏了抽样的随机性, 使试样缺乏代表性。

实际上取自一盘内同一部位的混凝土并制成三个试块, 当混凝土骨料粒径不大时, 可以认为三个试块强度的差异很小, 因此一组试块强度的差异性, 主要反映了混凝土强度的试验误差。我们曾进行过这样的试验: 从每盘混凝土中同一部位取样制作三个试块, 连续取很多盘, 用极差法求出盘内标准差 $\sigma_{\text{盘内}}$ 和变异系数 C_v 盘内, 结果见表4。其平均变异系数为4.42%; 同时还对三种不同试块尺寸(即 $10 \times 10 \times 10\text{cm}$, $15 \times 15 \times 15\text{cm}$, $20 \times 20 \times 20\text{cm}$)各制作了30个试块, 拌合物取自一盘混凝土, 因为在整盘内取样, 因而30个试块强度差异也包括了盘内混凝土由于搅拌不均匀而导致的强度差异, 连续取四盘混凝土, 结果见表4。为了进行对比, 取用 $10 \times 10 \times 10\text{cm}$ 试块数据, 由表4可见盘内混凝土强度的平

均变异系数为5.81%。若其中试验误差取4.42%，则反映盘内混凝土强度本身变异性的变异系数应为 $\sqrt{(5.81^2 - 4.42^2)\%} = 3.77\%$ 。而当时该厂300#混凝土的总变异系数为12.2%，盘内变异系数按 $C_v = 5.81\%$ 计，则盘间变异系数为10.8%。当然这是一个比较粗略的估计，只说明盘内混凝土强度本身变异更小，因此，用一盘混凝土取三个试块，其平均强度代表一批混凝土的质量是不大合理的。

盘内混凝土强度变异系数 表 4

编号	生产年月	资料来源	强度种类	设计标号	盘数	每盘取样数 (块)	$\bar{R}_{\text{盘}}$	$\sigma_{\text{盘内}}$	$C_{v\text{盘内}}$ (%)	$\bar{C}_{v\text{盘内}}$ (%)
北京市第一建筑构件厂										
1	77.2	试 点	R_{1s}^b	300	200	3	492.0	22.20	4.60	
2	77.2	"	R_{1s}^b	300	200	3	323.1	13.87	4.29	
3	77.5	"	R_{1s}^b	300	55	3	498.0	19.67	3.95	
4	77.5	"	R_{1s}^b	300	55	3	412.0	17.48	4.24	
5	77.5	"	R_{1s}^b	300	55	3	296.0	14.88	5.03	4.42
6	73	"	R_{1s}^b		1	30	206.07	6.77	3.29	
7	73	"			1	30	315.17	16.92	5.37	
8	73	"			1	30	341.60	20.83	6.10	
9	73	"			1	30	380.23	32.20	8.47	5.81

注：试块尺寸为边长10cm的立方体。

此外，由抽样检验理论可知，在一定的抽样检验规则下，抽样数量愈多，检验效率愈高（指正常总体拒收概率和不正常总体通过概率均较小，见图2）。目前许多预制构件厂以一天（或一个台班）为一个验收批，假如一天只留置三个试块，若三个试块取自一盘混凝土，那么抽检样本大小就为1；若三个试块取自三盘混凝土则样本大小为3。它们的检验效率显然不同。

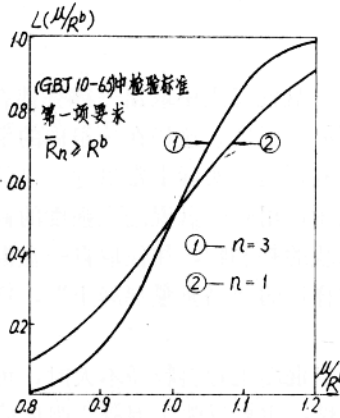


图 2 对于 $\bar{R}_n > R^b$ 的抽检特性曲线

检验工作增加一些麻烦，但为了提高检验效率，这个尝试还是值得的。

（五）混凝土质量的现状及分析〔2〕

由前述可知，混凝土强度作为随机变量，其内在规律可近似地用正态分布来描述。因此，通过混凝土强度来评定质量管理好坏的数量标志是混凝土强度的平均值及标准差或变异系数。在常用的混凝土标号范围内，许多国家70年代的统计资料表明，平均变异系数多在

13%—15%之间。美国76年发表的《混凝土强度试验结果评定建议》(ACI214-65的修改建议)中,给出反映总变异的标准差大于700psi($\approx 49.2\text{kgf/cm}^2$)是属于劣等混凝土(见表5)。也就是说,这样单位的混凝土生产管理水平是极差的。苏联的现行国家标准《混凝土匀质性及强度的检验和评定》(ГОСТ18105-72)中规定:“在统计期内混凝土强度的批变异系数或总变异系数如相应地超过16%或20%,则混凝土的匀质性便认为不合格”。

美国混凝土质量评定等级(ACI214-65) 表 5

质量评定等级	甚 优	优 等	良 好	及 格	劣 等
一般情况下反映总变异的标准差 σ	<400	400(28.1)	500(35.2)	600(42.2)	>700
psi (kg/Cm ²)	(28.1)	500(35.2)	600(42.2)	700(49.2)	(49.2)

近年来,在苏联对莫斯科等一些大城市的预制构件厂67条工艺生产线的200#、300#、400#混凝土强度所作的统计调查,结果表明,混凝土强度变异系数的平均值已降到了6.5%;而在10年前对这类预制厂的混凝土强度进行过统计调查,其变异系数的平均值为13%,接近当时全苏统计的平均值。为什么10年时间变异系数会有这样大幅度的降低?他们认为主要是执行《混凝土匀质性及强度检验和评定》(ГОСТ18105-72)标准的结果。

1.全国混凝土强度的统计调查概况及分析

在原国家建委施工局和原建工总局科技局规范处的主持下,我们组织有关单位从79年开始对10个省市的混凝土强度进行统计调查,直到80年二季度,共取得混凝土强度统计资料916份,(每份资料的统计期为一个季度),约6万多组混凝土立方体试块抗压强度数据,其中包括77个预制构件厂和104个现场施工单位。表6是全国混凝土强度按标号统计的各项参数汇总表。

全国混凝土强度统计结果 表 6

R^b		n	$\bar{R}$	σ_1	$C_{v1}\%$	σ_2	$C_{v2}\%$
预 制 厂	150	1716	193	36.0	19.1	38.7	20.1
	200	9377	267	44.3	16.6	51.8	19.4
	300	31569	357	45.7	12.8	53.2	14.9
	400	4353	438	43.1	10.0	44.8	10.4
现 场	100	415	146	34.0	23.3	34.4	23.6
	150	5891	194	42.8	22.1	45.4	23.4
	200	12363	252	49.5	19.6	54.0	21.4
	300	2663	345	55.2	16.0	59.3	17.2
	400	337	451	50.5	11.2	54.9	12.2

注: R^b ——混凝土设计标号;
 n ——参加统计的混凝土试块总组数;
 $\bar{R}$ ——全国混凝土试块强度的加权平均值;
 σ_1 ——为各单位内同标号、同龄期及配比和工艺条件都基本相同的试块强度标准的全国加权平均值;
 C_{v1} ——为相应的变异系数($C_{v1}=\sigma_1/\bar{R}\times 100\%$)的全国加权平均值;
 σ_2 ——为各单位同一标号混凝土试块强度标准差的全国加权平均值;
 C_{v2} ——为相应的变异系数($C_{v2}=\sigma_2/\bar{R}\times 100\%$)的全国加权平均值。