

混凝土配制强度标准差的选取

王铁城

(小浪底工程咨询有限公司, 河南 济源 454681)

摘要:通过小浪底工程高强混凝土施工实践和统计分析,验证了当混凝土配制强度 f_{cr} 大于30 MPa时,混凝土强度标准差 σ 随 f_{cr} 增大而递增仍然比较明显,因此不可视 σ 为常数,在进行配制强度计算时,应按不同混凝土设计标号采用不同的 σ 值,这样既可保证满足设计要求,又能取得较好的经济效益。

关键词:混凝土;配制强度;标准差;设计标号;回归分析

中图分类号: TU528.31

文献标识码: B

文章编号: 1006-7647(2001)05-0044-02

1 问题的提出

小浪底主体工程中有3个标为国际招标工程,其中某标混凝土方量约300万 m^3 ,设计标号分级较多,最低为C15,最高为C70。该标外商采用美国ACI 214-77(1989年重新批准)规范进行配制强度设计,即采用以标准差 σ 为主要参数的计算方法,其表达式为

$$f_{cr} = f_c' + t\sigma \quad (1)$$

式中: f_{cr} 为混凝土配制强度,MPa; f_c' 为混凝土设计标号,MPa; t 为设计强度保证率系数; σ 为混凝土强度标准差,MPa。

美国ACI(美国混凝土学会)规范指出:当平均强度 $f_{cr} > 21$ MPa(折算立方体试件强度为25 MPa)时,标准差 σ 接近常数,其 σ 值为3.2 MPa(折算立方体为4.2 MPa),该标试验室用式(1)进行配制强度计算时,无论低标号还是高标号混凝土, σ 一律取4.0 MPa(合同规定采用15 cm $\times$ 15 cm $\times$ 15 cm立方体试件强度(以下简称强度)),即视 σ 为常数。

施工初期现场抽样统计结果见表1。从表1可见,低标号混凝土C30以下,强度保证率不但能满足设计要求,而且还有富余,而高标号C70却达不到设计要求,各种级别混凝土都是在使用相同的原材料、统一的拌合系统和相同的质量管理人员,即生产管理水平是一样的,为什么生产的高强混凝土保证率却达不到设计要求呢?相比较而言, σ 取值在高标号与实际统计中相差较大,这就向人们提出一个疑问,即当 $f_{cr} > 25$ MPa时, σ 是否就保持常数或接近常数,这是值得进一步探讨的问题。

为什么美国ACI规范会得出当 $f_{cr} > 25$ MPa时,

表1 现场抽样统计结果

设计标号 (28 d)	组数 n	平均值 /MPa	标准差 σ /MPa	保证率/%	
				实测值	设计值
C70	36	77.2	7.5	82.9	<90
C30	136	36.2	3.8	94.8	>90
C25	64	31.9	4.1	95.5	>90
C15	105	19.0	4.0	84.1	>80

σ 接近常数的结论呢?查阅他们当时的统计资料,其结论是在20~45 MPa设计强度范围内作出的。国内学者在20世纪80年代初也曾对全国水利水电混凝土工程资料进行数理统计分析,得出:当 $f_{cr} > 30$ MPa时, σ 变化很缓慢,大致接近常数,其平均值大约为4.3 MPa,其结论是在10~40 MPa设计强度范围内得出的^[1],因为在20世纪80年代以前高强混凝土还没有大量应用到工程上来。

GB50204-92《混凝土结构工程施工及验收规范》规定,当施工单位不具有近期的同一品种混凝土强度资料时,其混凝土强度标准差 σ 可按GB50204-92中表4.2.4取用,当混凝土强度等级低于C20时, σ 取4.0 MPa;C20~C35时, σ 取5.0 MPa;高于C35时, σ 取6.0 MPa。这是根据当 f_{cr} 在强度较低时, σ 的增大是随 f_{cr} 的增大有明显的递增而制订的,而对C50以上高强混凝土强度标准差的选取,因受当时实践条件的限制也没有做出具体论证。

2 24个水利水电工程 $\sigma \sim f_{cr}$ 回归分析

小浪底泄洪工程,因混凝土抗冲耐磨的需要,设计标号为C70,其浇筑方量约30多万 m^3 。抽样检查已达1500组,已具备进一步进行数理统计分析的客观条件了。

作者简介:王铁城(1938—),男,辽宁海城人,高级工程师,从事混凝土施工与试验研究。

为了考察 σ 与 f_{cr} 的关系,笔者收集了包括小浪底工程在内的 24 个水利水电工程现场混凝土抽样资料共 316 批,按强度大小顺序排列、实测强度范围内对应的 σ 值列于表 2。由表 2 可见, σ 随 f_{cr} 增大而递增的趋势较明显,即使当 $f_{cr} > 30$ MPa 以后, σ 并不是常数或接近常数,递增的趋势仍然明显,不可视为常数。

表 2 24 个水利水电工程的混凝土 f_{cr} 与 σ 统计结果 MPa

平均强度范围	σ	平均强度范围	σ
5.8 ~ 10.0	1.87	40.1 ~ 43.4	4.61
10.1 ~ 15.1	2.46	45.6 ~ 48.3	5.48
15.2 ~ 19.9	3.38	51.6 ~ 53.5	5.33
20.1 ~ 25.2	3.99	56.1 ~ 61.0	6.33
25.2 ~ 29.7	4.30	67.1 ~ 70.7	5.86
30.1 ~ 35.0	4.74	71.1 ~ 74.7	6.16
35.2 ~ 39.8	4.54		

用收集到 24 个工程统计资料,采用加权回归分析,选取直线、自然对数曲线、双曲线和指数曲线相关式进行比较,其回归分析电算成果列于表 3。由表 3 可见,这 4 种相关式的相关系数都大于可信度为 1% 的临界相关系数,说明这 4 种曲线都能描述 σ 与 f_{cr} 的相关性。但比较起来, $\sigma \sim f_{cr}$ 回归分析以自然对数相关系数为最大,相关性比较好,精度高。

表 3 混凝土 $\sigma \sim f_{cr}$ 相关式

线型	批数	回归相关方程	相关系数 /%	临界相关系 数($\alpha_0 = 1\%$)
直 线	316	$\sigma = 1.23 + 0.10 f_{cr}$	0.729	0.148
对数曲线	316	$\sigma = 1.96 \ln f_{cr} - 2.27$	0.793	0.148
双 曲 线	316	$\sigma = \frac{1}{0.11 + 3.94 / f_{cr}}$	0.659	0.148
指数曲线	316	$\sigma = 6.24 \exp(-\frac{10.70}{f_{cr}})$	0.721	0.148

将这 4 种曲线绘于图 1,由图 1 可以看出:当 $f_{cr} \leq 30$ MPa 时, σ 随 f_{cr} 的增大而递增非常明显,目前国内研究者对此已达成共识;当 $f_{cr} > 30$ MPa 时, σ 随 f_{cr} 的增大递增趋势虽然变缓,但仍然很明显,因此不可视其为常数。特别是高强混凝土 C70,若 σ 取 4.0 MPa 进行配制强度设计,则显然是不安全的。

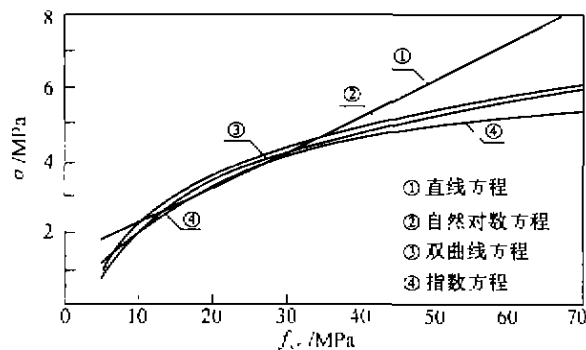


图 1 国内 24 个水利水电工程的 $\sigma \sim f_{cr}$ 关系曲线

3 混凝土配制强度标准差的选取

由前述可知,在计算施工配制强度时,不仅要考

虑现场施工管理水平,而且还应按不同设计标号选取不同的 σ 值。但目前美国 ACI214 最新规范和我国现行 SDJ207-82《水工混凝土规范》,都没有按不同混凝土设计标号给出 σ 的具体取值。

鉴于此,为了既保证工程安全,又能做到经济合理,我们选取 $\sigma \sim f_{cr}$ 相关精度较高的自然对数相关式作为依据,即

$$\sigma = 1.96 \ln f_{cr} - 2.27 \quad (2)$$

由式(2)估算出在不同设计标号计算施工配制强度选取 σ 时的推荐值为: C10 ~ C15, $\sigma = 3.5$ MPa; C20 ~ C25, $\sigma = 4.0$ MPa; C30 ~ C35, $\sigma = 4.5$ MPa; C40 ~ C45, $\sigma = 5.0$ MPa; C50 ~ C55, $\sigma = 5.5$ MPa; C60 ~ C65, $\sigma = 6.0$ MPa; C70 ~ C75, $\sigma = 6.5$ MPa。因统计分析时使用的 24 个水利水电工程资料中,缺少三峡工程和五强溪工程的资料,现按式(2)计算出不同强度范围的 σ 值,与对应的三峡、五强溪、乌江渡 3 个工程实测强度范围的 σ 值及它们的平均 σ 值列于表 4。由表 4 可知,式(2)计算的 σ 值与 3 个工程标准差平均值比较接近,因此可以认为本文推荐的不同设计标号 σ 的取值,可以代表目前水利水电混凝土工程施工质量控制的平均水平。施工初期没有同等级混凝土强度资料, σ 可参照本文推荐值选取,施工管理水平比较稳定后,再根据实际控制水平对 σ 值进行调整。

表 4 实测混凝土强度标准差 σ 比较 MPa

实测强度范围	三峡 28 d	三峡 90 d	五强溪 28 d	乌江渡 28 d	平均值 28 d	式(2)计算值 28 d
15 ~ 20	2.97		3.50	3.44	3.30	3.34
20 ~ 25	3.11		4.03	3.74	3.60	3.83
25 ~ 30	3.93	4.25	4.61	4.59	4.43	4.23
30 ~ 35	4.10	4.64	5.09	4.43	4.54	4.55
35 ~ 40	6.10	4.80			6.10	4.83
40 ~ 45		4.74	5.39		5.39	5.08
45 ~ 50		4.53				5.30
75 ~ 80					6.40	6.26

注:①3 个工程的数据摘自《水工混凝土施工规范(征求意见稿)》条文说明表 19;② C75 ~ C80 高强混凝土 $\sigma = 6.40$ MPa 是小浪底工程实测平均值。

4 结 论

目前,SDJ207-82《水工混凝土施工规范》正在修订和征求意见之中,混凝土配制强度计算,由原来以离差系数 C_v 值为主要参数改为以标准差 σ 为主要参数的计算方法。借此之机,根据全国 24 个水利水电工程,尤其小浪底高强混凝土施工资料的数理统计分析,就 σ 值的选取标准,特别是混凝土强度大于 35 MPa 的强度等级对 σ 值的取值提出具体建议,抛砖引玉而已。

参考文献:

- [1] 黄国兴. 现场混凝土强度均方差与平均强度的关系[J]. 混凝土及加筋混凝土, 1983(4): 8 ~ 13.

(收稿日期: 2000-04-07 编辑: 张志琴)