第23卷 第1期 华侨大学学报(自然科学版) Vol.23 No.1
2002年1月 Journal of Huaqiao University (Natural Science) Jan.2002

文章编号 1000-5013(2002)01-056-04

提高混凝土强度的技术经济分析

叶 青 曾志兴

(华侨大学土木工程系,泉州 362011)

摘要 提高混凝土强度等级,以适应现代土木工程向大跨、重载、高耸发展的需要.文中讨论提高混凝土强度等级对结构性能的影响,通过强度价格比的对比,分析提高混凝土强度可获得的技术经济效益.同时,阐述如何采用强度较高的混凝土,以促进建筑业的技术进步和可持续发展.

关键词 混凝土,强度等级,结构性能,强度价格比,技术经济效益

中图分类号 TU 528:TU 501:F 224.5 文献标识码 A

混凝土是目前世界上用途最广、用量最大的建筑材料.它在建筑工程、公路工程、桥梁和隧道工程、水利及特种结构工程的建设领域中,发挥着不可替代的作用.当今世界,混凝土年产量约28亿m^2.我国每年混凝土使用量约9亿m^2,人均占有混凝土0.65m^3,钢筋年使用量约2 000万t,每年用于混凝土结构的耗资达2 000亿元以上.1999年,全国水泥产量5.3亿t,占世界水泥总产量的三分之一以上[1].我国在短缺型计划经济的年代里,经济困难,强调节约水泥,加上施工技术落后,结构中混凝土强度普遍较低,与发达国家之间存在较大的差距.据报道,美国在70年代末期应用的混凝土强度平均已超过40 MPa,其中预应力构件已达到70 MPa.原苏联混凝土的强度等级大量为50～60 MPa;德国应用的混凝土强度为30～50 MPa;日本应用的混凝土强度多为30 MPa以上[2].而我国在50年代混凝土设计强度平均为15 MPa,70年代平均强度为20 MPa,80年代平均强度才提高到25～30 MPa.近年来,北京地区大量使用的混凝土设计强度已达30～40 MPa.C50以上高强混凝土,已在高层建筑、大跨度桥梁和预制构件中得到日益广泛的应用.这是混凝土技术进步的重要标志[3].本文就提高混凝土强度的技术经济问题,进行必要的分析和研究.

1 提高混凝土强度的技术效益

同世界范围的发展趋势一样,我国混凝土的发展趋势也是不断提高强度.一方面是由于生产水平的提高,另一方面也是由于使用者的要求.提高混凝土的强度等级,对房屋建筑来说,不仅可以减小构件的截面尺寸,增加使用空间,而且可降低配筋率,减轻结构自重,提高抗震性能,降低工程总体造价.对桥梁建筑来说,既可以使桥梁的跨度增大,减小下部的基础结

收稿日期 2001-09-08 作者简介 叶 青(1968-),女,讲师

基金项目:华侨大学科研基金资助项目

© 1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

构, 使桥的大梁间距增宽并减小大梁的数量, 又可以减小堤岸或引桥的高度. 采用较高强度的混凝土, 能使混凝土结构构件的承载力、刚度和耐久性等性能得到提高.

1.1　混凝土强度等级提高对钢筋混凝土受弯构件的影响[4]

根据受弯构件正截面抗弯承载力的计算公式, 可得

$$M_u = f_y A_s\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) = f_y \rho b h_0^2\left(1 - 0.5\rho\frac{f_y}{f_{cm}}\right). \tag{1}$$

对于配筋率在 0.5%～1.5%的受弯构件, 混凝土强度等级由 C20 提高到 C30, 正截面抗弯承载力提高了 2%～9%. 经对比计算可知, 混凝土强度等级的提高, 纵向受拉钢筋的配筋率 ρ 越高, 对受弯构件正截面抗弯承载力提高的影响也越大.

根据受弯构件(承受均布荷载为主)斜截面抗剪承载力的计算公式, 即

$$V_u = 0.07 f_c b h_0 + 1.5 f_{yv}\frac{nA_{sv1}}{s}h_0 = (0.07 f_c + 1.5\rho_{sv} f_{yv}) b h_0. \tag{2}$$

混凝土强度等级提高对 V_u 有明显的作用. 对正常配箍(ρ_{sv}= 0.15%～0.50%)的受弯构件, 混凝土强度等级由 C20 提高到 C30, 斜截面抗剪承载力提高了 15%～30%. 从计算中可以发现, 混凝土强度等级的提高, 配箍率 ρ_{sv}越低, 对受弯构件斜截面抗剪承载力提高的影响也越大. 另外, 根据受弯构件刚度和裂缝宽度的计算公式, 混凝土强度等级提高可以使受弯构件的刚度提高 5%～10%, 使最大裂缝宽度减小 5%～10%[5].

混凝土强度等级的提高, 将大大增加钢筋与混凝土之间的粘结强度, 可对钢筋的锚固性能产生有利的影响. 例如, 当混凝土强度等级由 C20 提高到 C30 时, 对纵向受拉钢筋强度充分利用时的最小锚固长度(l_a)由 30 d 减少到 20 d(Ⅰ级钢筋), 或由 40 d 减少到 30 d(Ⅱ级钢筋). 同时, 混凝土强度等级提高, 对耐久性的影响主要与混凝土的碳化速度有关. 强度等级较高的混凝土, 其密实性较好, 碳化进行的速度较慢, 可以延缓钢筋的锈蚀, 提高结构的耐久性. 如规范[4]规定, 处于露天或室内高湿度环境中的结构, 其混凝土强度等级不宜低于 C25. 当混凝土强度等级由 C30 提高到 C35, 混凝土保护层最小厚度由 25 mm 减小到 15 mm(板), 或由 35 mm 减小到 25 mm(梁).

1.2　混凝土强度等级提高对钢筋混凝土受压构件的影响

混凝土强度等级提高, 能使钢筋混凝土墙、柱、基础和拱壳等受压构件的承载力大幅度增加. 根据配置普通箍筋的轴心受压短柱承载力的计算公式, 得

$$N_u = f_c A_c + f'_y A'_s = f_c A_c + \rho f'_y A_c. \tag{3}$$

对于用Ⅱ级钢筋配筋(f'_y= 310 GPa)、混凝土强度等级为 C20(f'_c= 10 GPa)、配筋率 ρ 为 1.5%的钢筋混凝土短柱, 其受压承载力为

$$N_u = 10A_c + (1.5\%) \times 310A_c = 14.65A_c.$$

混凝土部分占 68.3%, 受压钢筋承担 31.7%. 由此可见, 受压构件承受的荷载大部分由混凝土来承担[6]. 若上例中混凝土强度等级由 C20 提高到 C30, 则受压承载力提高 34.1%. 对于有抗震要求的框架柱, 混凝土强度等级提高可使轴压比(N/f_cA_c)降低, 以满足抗震设计规范对轴压比限值的要求. 此外, 由于混凝土强度等级的提高, 弹性模量增大, 使结构整体刚度增大, 对高层建筑抵抗变形性能也很有利.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://w

1.3 混凝土强度等级提高对预应力混凝土构件的影响

混凝土强度等级提高, 预应力混凝土构件有 3 点优势. (1) 可以更早地施加预应力, 加快台座、锚具、夹具的周转率, 有利提高施工进度. (2) 可以施加更大的预应力. 对于先张法构件, 随着混凝土强度等级的提高, 可增大混凝土的粘结度. 而对于后张法构件, 则可承受构件端部强大的预应力. (3) 因徐变较小而导致较低的预应力损失. 但是, 提高混凝土强度等级也存在着不足. (a) 水泥用量较大, 使得混凝土早期水化热高, 后期收缩率大. (b) 随着混凝土强度的提高, 混凝土变形能力有所下降, 脆性增大, 延性减小. 对地震区的结构而言, 会给结构的安全性和耐久性带来很大威胁. 解决上述问题的对策是, 发展高性能混凝土.

2 提高混凝土强度的经济效果

当混凝土强度等级提高时, 配制每单位体积混凝土的成本费用显然会有所增加. 但是, 混凝土单位体积成本与单位强度成本的比值, 却随着混凝土强度等级的提高而降低. 换句话说, 随着混凝土强度等级的提高, 强度价格比 η(即每元购得的单位体积的混凝土强度) 明显增加[7], 技术经济效益显著. 表 1 列出了各种强度等级混凝土的强度、价格和强度价格比. 表中, E_c 为混凝土的弹性模量, f_{ck} 和 f_c 分别为混凝土的标准强度和设计强度, p 为单位体积混凝土的价格.

表 1 混凝土的强度、价格和强度价格比

强度等级	E_c/ 10^4 MPa	f_{ck}/MPa	f_c/MPa	p/元·m^{-3}	η/MPa·m^3·元$^{-1}$
C10	1.75	6.7	5.0	237	0.021 1
C15	2.20	10.0	7.5	246	0.030 5
C20	2.55	13.0	10.0	263	0.038 0
C25	2.80	17.0	12.5	281	0.044 5
C30	3.00	20.0	15.0	298	0.050 3
C35	3.15	23.5	17.5	318	0.055 0
C40	3.25	27.0	19.5	341	0.057 2

据文献[8]计算, 为了支撑 445 kN 的使用荷载, 当使用强度为 42 MPa 的混凝土时每层楼所需的单位比价为 5.2 美元. 当混凝土强度为 52 MPa 时, 每层楼所需的单位比价为 4.21 美元; 而混凝土强度为 62 MPa 时, 则降至 3.65 美元. 费城某高层办公楼底层钢筋混凝土柱, 保持用钢量不变, 混凝土强度从 41 MPa 提高到 55 MPa 时, 柱截面尺寸从 915 mm×1 170 mm 减小到 760 mm×760 mm, 减小了 46%. 文献[9]表明, 用 600 号混凝土代替 300～400 号混凝土, 可节约混凝土用量 40%, 节约钢材约 39%, 降低工程造价 20%～35%. 从节能上讲, 混凝土强度每提高 10 MPa, 每立方米混凝土可节约标准煤 13 kg.

3 结束语

提高混凝土材料的强度等级, 适应了现代土木工程对结构强度高、刚度大和耐久性好的要求. 因此, 它是增大混凝土强度的一个重要发展方向. 许多国家把高强度钢筋和高强度混凝土

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

应用于大跨、重型、高层结构中去, 取得了良好的技术、经济和社会效益[10]. 本文建议在混凝土结构设计中, 适当提高混凝土强度等级, 即受弯构件取 C20～C30, 受压构件取 C30～C50, 预应力混凝土构件取 C30～C50.

参　考　文　献

1 吴之乃, 郑念中. 我国混凝土工程技术的现状及发展[J]. 混凝土, 2000, (11): 3～7

2 陈肇元, 朱金铨, 吴佩刚. 高强混凝土及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992. 4～20

3 廉慧珍, 路新瀛. 我国混凝土工程发展中的几个问题[J]. 建筑技术, 2000, 31(1): 10～14

4 中华人民共和国原城乡建设环境保护部编. GBJ 10-89 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1989. 2～86

5 罗国强, 罗　刚. 建筑施工中的结构问题[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997. 487～503

6 卓尚木, 季直仓, 卓昌志. 钢筋混凝土结构事故分析与加固[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997. 41～45

7 徐有邻. 采用高强材料提高结构可靠度的建议[J]. 建筑科学, 1999, 15(5): 56～58

8 Schmidt W, Hoffman E S. 9 000 psi concrete why and why not[J]. Civil Engineering ASCE, 1975, 45(5): 52～55

9 陈志源, 林　江. 高强材料学[M]. 上海: 同济大学出版社, 1994. 126～129

10 曾志兴, 王惠芳. 冷轧带肋钢筋及其在工程的应用[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 1999, 20(1): 39～42

Technical and Economical Analysis of Concrete for Promoting Its Strength

Ye Qing　　Zeng Zhixing

(Dept. of Civil Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract　For promoting the strength of concrete so as to meet the need of developing civil engineering towards large-span and heavy load and high-rise, the authors discuss the effect of rising strength level of concrete on its structural behaviour; and analyse technical and economical benefit of rising strength level of concrete by comparing its strength-price ratio; and suggest to adopt concrete with higher strength so as to promote technical progress and sustainable development of building trade.

Keywords　concrete, strength level, structural behaviour, strength-price ratio, technical and economical benefit

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://w