

# 关于《水运工程混凝土结构设计规范》的建议

赵瑞军

(中交天津港湾工程设计院有限公司, 天津 300461)

**摘要:**《水运工程混凝土结构设计规范》中混凝土构件裂缝宽度计算公式计算的裂缝宽度较大,一般裂缝宽度要求控制截面的配筋,限制了高强钢筋强度的发挥,不利于高强钢筋的推广,建议修订水运规范裂缝宽度计算公式,裂缝宽度计算公式可参考公路工程中公式。规范中未规定先张法预应力混凝土构件的预应力传递长度的确定方法,对采用冷拉预应力钢筋的先张预应力构件,建议规范给出预应力传递长度确定方法,现阶段可按建筑规范公式计算。工程中采用大直径吊环的情况比较普遍,吊环材质建议采用HPB300钢筋或Q235b圆钢。

**关键词:**水运工程;裂缝宽度;预应力传递长度;吊环

中图分类号:U655.2;TU528  
doi:10.7640/zggwjs202006009

文献标志码:A

文章编号:2095-7874(2020)06-0039-03

## Suggestions on "Design Code for Concrete Structures of Port and Waterway Engineering"

ZHAO Rui-jun

(Tianjin Port Engineering Design & Consulting Company Ltd. of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd.,  
Tianjin 300461, China)

**Abstract:** In the "Design Code for Concrete Structures of Port and Waterway Engineering", the crack width calculated by the formula for calculating the crack width of concrete members is large. Generally, the cracks width requires the control of cross-section reinforcement, which limits the use of high-strength steel bars and is not conducive to the promotion of high-strength steel bars. It is suggested to revise the formula for calculating crack width in the code. The revised formula can refer to the formula in highway engineering. The method for determining the prestressed transmission length of the pretensioned prestressed concrete members is not specified in the code. For the pretensioned prestressed members using cold-drawn prestressed steel bars, it is recommended to specify the method for determining the prestressed transmission length. At this stage, it can be based on the building code. It is common to use large diameter lifting rings in the project. It is recommended to use HPB300 steel or Q235b round steel for the material of the lifting rings.

**Key words:** port and waterway engineering; crack width; prestress transmission length; lifting ring

JTS 151—2011《水运工程混凝土结构设计规范》<sup>[1]</sup>(以下简称“水运规范”)在混凝土结构设计中发挥了重要作用,但有部分内容与实际需求不一致,本文对国内各混凝土结构设计规范对比分析,对混凝土构件裂缝宽度计算公式、先张法预应力传递长度及吊环材质进行探讨,并提出建议供规范修订时参考。

收稿日期:2020-02-26 修回日期:2020-03-24

作者简介:赵瑞军(1971—),女,天津市人,高级工程师,从事港口工程设计工作。E-mail:1902302760@qq.com

### 1 裂缝宽度计算

#### 1.1 现行各规范计算公式

水运规范采用数理统计公式,裂缝宽度计算公式与旧规范<sup>[2]</sup>相同,是根据低强钢筋试验分析给出的<sup>[3]</sup>,裂缝宽度计算公式如下:

$$W_{\max} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \frac{\sigma_s}{E_s} \left( \frac{c + d}{0.30 + 1.4 \rho_e} \right) \quad (1)$$

式中:  $W_{\max}$  为最大裂缝宽度;  $\alpha_1$  为构件受力特征系数;  $\alpha_2$  为考虑钢筋表面形状的影响系数;  $\alpha_3$  为考虑作用的准永久组合或重复荷载影响的系数,取

1.5, 对短暂状况的正常使用极限状态作用组合取 1.0~1.2, 对施工期可取 1.0;  $\sigma_s$  为钢筋混凝土构件纵向受拉钢筋的应力;  $E_s$  为钢筋弹性模量;  $c$  为最外排受拉钢筋的保护层厚度;  $d$  为钢筋直径;  $\rho_{te}$  为纵向受拉钢筋的有效配筋率。

GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》<sup>[4]</sup>(以下简称“建筑规范”)调整了计算时的荷载组合和受力特征系数, 即在计算纵向受拉非预应力筋的应力时, 采用荷载准永久组合而不是旧规范<sup>[5]</sup>的标准组合, 并将反映裂缝间混凝土伸长对裂缝宽度的影响系数  $\alpha_c$  从旧规范的 0.85 降低为 0.77。使得裂缝宽度计算较旧规范略有放松, 主要是考虑到我国现阶段要大力推广应用 500 MPa 高强钢筋这一现实需求, 裂缝宽度计算公式如下:

$$W_{max} = \alpha_{cr} \psi \frac{\sigma_s}{E_s} (1.9c_s + 0.08 \frac{d_{eq}}{\rho_{te}}) \quad (2)$$

$$\psi = 1.1 - 0.65 \frac{f_{tk}}{\rho_{te} \sigma_s} \quad (3)$$

式中:  $\alpha_{cr}$  为构件受力特征系数;  $\psi$  为钢筋应变不均匀系数;  $\sigma_s$  为荷载准永久组合计算的钢筋混凝土构件纵向受拉普通钢筋应力或按标准组合计算的预应力混凝土构件纵向受拉钢筋等效应力;  $E_s$  为钢筋弹性模量;  $c_s$  为最外层纵向受拉钢筋外边缘至受拉区底边的距离;  $d_{eq}$  为受拉区纵向钢筋的等效直径;  $\rho_{te}$  为按有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉钢筋配筋率;  $f_{tk}$  为混凝土轴心抗拉强度标准值。

JTG 3362—2018《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》<sup>[6]</sup>(以下简称“公路规范”)采用数理统计公式, 通过对影响混凝土构件裂缝宽度因素的分析及国际上的统一认识, 在原规范公式的基础上进一步改进, 裂缝宽度计算公式如下:

$$W_{max} = C_1 C_2 C_3 \frac{\sigma_s}{E_s} \left( \frac{c + d}{0.36 + 1.7 \rho_{te}} \right) \quad (4)$$

式中:  $C_1$  为钢筋表面形状系数;  $C_2$  为长期效应影响系数;  $C_3$  为与构件受力性质有关的系数,  $\sigma_s$  为由作用频遇组合引起的开裂截面纵向受拉钢筋应力, 其余变量同式(1)。

## 1.2 对比分析

为分析裂缝宽度计算对结构配筋的影响, 设一简支梁, 跨度为 5 m, 梁截面为宽 300 mm, 高 500 mm, 混凝土强度等级为 C35, 裂缝宽度限值为 0.2 mm, 活荷载标准值分别取 5 kPa、15 kPa, 纵向受力钢筋分别采用 HRB335、HRB400、HRB500, 水运规范、建筑规范和公路规范计算所

需钢筋面积见表 1, 为便于分析, 各规范在计算时采用相同的材料参数和相同的内力。

表 1 简支梁不同规范配筋结果比较

Table 1 Comparison of reinforcement results of simple supported beams in different codes

活荷载标准值/kPa	钢筋等级	承载能力计算 钢筋面积/mm <sup>2</sup>	裂缝宽度计算钢筋面积/mm <sup>2</sup>		
			水运规范	建筑规范	公路规范
5	HRB335	344	461	304	339
	HRB400	287	461	304	339
	HRB500	264*	461	304	339
15	HRB335	701	763	555	603
	HRB400	584	763	555	603
	HRB500	484	763	555	603

注:\* 为最小配筋率控制配筋。

由表 1 可知, 相同荷载条件下, 水运规范计算所需的钢筋面积最大, 且均为裂缝宽度控制截面配筋, 所需钢筋面积与钢筋等级无关, 且出现采用 HRB335 级钢筋时, 承载能力计算钢筋面积与裂缝宽度计算钢筋面积最接近, 配筋较合理的情况, 而 GB/T 1499.2—2018《钢筋混凝土用钢 第 2 部分: 热轧带肋钢筋》<sup>[7]</sup>已取消了 335 MPa 级钢筋。

建筑规范计算所需钢筋面积最小, 两种荷载作用下, 采用 HRB400 级时, 承载能力计算钢筋面积与裂缝宽度计算钢筋面积最接近, 配筋较合理, 活荷载为 5 kPa 时, 采用 HRB400 级、HRB500 级钢筋比采用 HRB335 级钢筋最大可节省 11% 的钢材; 活荷载为 15 kPa 时, 采用 HRB400 级钢筋比采用 HRB335 级钢筋最大可节省 17% 的钢材, 采用 HRB500 级钢筋比采用 HRB335 级钢筋最大可节省 21% 的钢材。

公路规范裂缝宽度计算中, 活荷载为 5 kPa 时, 采用 HRB400 级、HRB500 级钢筋比采用 HRB335 级钢筋最大可节省 1% 的钢材; 活荷载为 15 kPa 时, 采用 HRB400 级、HRB500 级钢筋比采用 HRB335 级钢筋最大可节省 14% 的钢材。

## 1.3 问题及建议

水运规范裂缝宽度计算结果最大, 且裂缝要求控制了截面配筋, 虽然采用高强钢筋, 但钢筋用量基本不变, 且出现采用低强度钢筋更合理的情况, 高强钢筋的强度得不到充分利用, 不利于高强钢筋的推广。主要原因是规范未考虑钢筋强度增高的影响, 根据建筑规范条文说明, 近年来国内多家单位完成的配置 400 MPa、500 MPa 带肋钢筋的混凝土梁裂缝宽度加载试验结果, 试验平

均裂缝宽度值均小于旧规范计算值。由于公路工程规范为2018年才开始实施,规范更新的公式也基本符合高强钢筋应用的需求,因此,建议水运工程规范裂缝宽度计算公式可参考公路工程中公式,只是采用的荷载组合按水运规范采用准永久组合。

## 2 预应力传递长度( $l_{tr}$ )

对先张法预应力混凝土构件端部进行斜截面受剪承载力计算以及正截面、斜截面抗裂验算时,应考虑预应力钢筋在其预应力传递长度( $l_{tr}$ )范围内实际应力值的变化。

公路规范和建筑规范规定 $l_{tr}$ 按下式进行计算:

$$l_{tr} = \alpha \frac{\sigma_{pe}}{f_{tk}'} d \quad (5)$$

式中: $\sigma_{pe}$ 为放张时预应力筋的有效预应力; $d$ 为预应力的公称直径; $\alpha$ 为预应力筋的外形系数,对 $\alpha$ 的取值,公路规范规定七股钢绞线取0.16,螺旋肋钢丝取0.14,建筑规范规定七股钢绞线取0.17,螺旋肋钢丝取0.13; $f_{tk}'$ 为放张时与混凝土立方体抗压强度 $f_{cu}'$ 相应轴心抗拉强度标准值。

以上可以看出,两规范 $\alpha$ 取值相差不大,但公路工程 and 建筑工程预应力筋均采用钢绞线、钢丝或预应力螺纹钢筋,不采用冷拉钢筋,而水运工程中码头一般采用冷拉HRB400级钢筋,式(5)是否适用于冷拉钢筋还未明确。旧规范<sup>[2]</sup>中规定了钢绞线不同混凝土强度等级下 $l_{tr}$ 与钢筋公称直径 $d$ 之间的关系表,同时明确,冷拉Ⅱ级、Ⅲ级钢筋和冷拉带肋钢筋的先张法预应力构件,可不考虑预应力传递长度。但水运规范中取消了预应力传递长度计算表,也未说明对冷拉预应力筋是否考虑 $l_{tr}$ ,使该类构件计算出现了不确定性。

因此,根据码头混凝土结构采用冷拉预应力筋的实际需要,建议开展相关研究工作,明确冷拉预应力筋是否需要考虑 $l_{tr}$ 及其确定方法。建议现阶段考虑预应力传递长度 $l_{tr}$ ,其计算公式可采用式(5), $\alpha$ 值根据建筑规范暂取0.14。

## 3 吊环材质

关于吊环材质,水运规范8.14.2.1条规定为“预制构件的吊环严禁使用冷加工钢筋,应采用HPB300钢筋制作。”水运规范及GB/T 1499.1—2017《钢筋混凝土用钢 第1部分:热轧光圆钢筋》<sup>[8]</sup>中HPB300钢筋直径为6~22 mm,在实际使用中,吊环直径均较大,最大直径能达到100 mm,实际

使用中大直径吊环仍只能采用235级钢筋,而规范中未对235级钢筋进行说明,建议本条调整为“预制构件的吊环严禁使用冷加工钢筋,应采用HPB300钢筋或Q235b圆钢制作。”

## 4 结语

1) 采用水运规范计算的裂缝宽度较大,一般裂缝宽度要求控制截面的配筋,设计中虽然采用高强钢筋,但钢筋用量基本不变,限制了其强度的发挥,不利于高强钢筋的推广,因此,建议尽快修订水运规范裂缝宽度计算公式,裂缝宽度计算公式可参考公路规范中公式。

2) 水运规范虽然规定对先张法预应力混凝土构件需要考虑预应力传递长度,但预应力传递长度规范中未规定确定方法,而码头工程先张预应力构件一般采用冷拉预应力钢筋,有别于其他规范,建议规范给出预应力传递长度确定方法,现阶段可按建筑规范公式计算。

3) 水运工程采用大直径吊环的情况比较普遍,而HPB300钢筋直径较小,吊环材质建议采用HPB300钢筋或Q235b圆钢。

## 参考文献:

- [1] JTS 151-1—2011,水运工程混凝土结构设计规范[S].  
JTS 151-1—2011, Design code for concrete structures of port and waterway engineering[S].
- [2] JTJ 267—1998,港口工程混凝土结构设计规范[S].  
JTJ 267—1998, Design code for harbour engineering concrete structures[S].
- [3] 赵国藩,高俊升,廖婉卿,等. 钢筋混凝土构件抗裂度和最大裂缝宽度的试验和计算方法[J]. 建筑结构学报,1980,1(4):1-17.  
ZHAO Guo-fan, GAO Jun-sheng, LIAO Wan-qing, et al. Experiments and calculating method for the cracking strength and the maximum crack width in reinforced concrete members[J]. Journal of Building Structures, 1980, 1(4): 1-17.
- [4] GB 50010—2010,混凝土结构设计规范[S].  
GB 50010—2010, Code for design of concrete structures[S].
- [5] GB 50010—2002,混凝土结构设计规范[S].  
GB50010—2002, Code for design of concrete structures[S].
- [6] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].  
JTG 3362—2018, Specifications for design of highway reinforced concrete and prestressed concrete bridges and culverts[S].
- [7] GB/T 1499.2—2018,钢筋混凝土用钢 第2部分:热轧带肋钢筋[S].  
GB/T 1499.2—2018, Steel for the reinforcement of concrete—Part 2: Hot rolled ribbed bars[S].
- [8] GB/T 1499.1—2017,钢筋混凝土用钢 第1部分:热轧光圆钢筋[S].  
GB/T 1499.1—2017, Steel for the reinforcement of concrete—Part 1: Hot rolled plain bars[S].