

水工钢筋混凝土结构裂缝计算中的若干问题探讨

卢业成

(广东省水利电力职业技术学院 广东 广州 510610)

摘要 针对水工钢筋混凝土构件裂缝计算中的若干问题,例如验算时的取值标准,最大裂缝容许值,裂缝对钢筋锈蚀的影响分析等进行探讨,提出解决裂缝问题的有效方法是采用预应力混凝土结构,它能有效地减小构件的裂缝宽度或根本不使构件产生裂缝。

关键词 钢筋混凝土;水工结构;外荷载;裂缝计算

中图分类号:TV431

文献标识码:A

文章编号:1006-764X(2001)08-0050-02

钢筋混凝土强度极限状态计算是保证结构安全可靠的前提条件。但是对于有些构件,仅仅满足承载能力极限状态是不够的,还必须根据它的使用要求进行正常使用极限状态的验算,即抗裂(或裂缝宽度)验算。

在水工建筑物中,裂缝问题却是一个相当重要的问题。例如,对于水工建筑物中的少数构件(如承受水压力的轴心受拉构件、小偏心受拉构件等),在无可靠防渗措施时,裂缝的存在不仅使结构渗漏,影响环境和结构耐久性,而且在缝面上形成较大渗透压力,降低抗渗性能,可能危及结构安全。特别是海岸建筑受浪花溅、飘沫或盐雾影响的部位,海水的氯离子容易通过裂缝渗入混凝土内部,会使钢筋锈蚀。因此,对水工钢筋混凝土构件需要根据不同使用条件进行抗裂(不允许裂缝发生)或限制裂缝宽度的验算。本文仅就外荷载引起的裂缝在计算中的一些问题进行探讨。

1 裂缝计算中的一些问题

1.1 裂缝验算时的取值标准

由于正常使用极限状态是在承载能力极限状态得到保证的前提下进行验算,且超过正常使用极限状态所带来的后果也远不如超过承载能力极限状态那样严重。因此,在混凝土结构进行正常使用极限状态的验算中,对其可靠性的保证率可适当放宽,荷载和材料指标采用标准值,而不是设计值。

1.2 关于裂缝宽度容许值

最大裂缝宽度的容许值随不同的工作环境与工作条件而定,它主要从两方面来考虑:一是裂缝过宽

使结构表面的外观受到损害,或给建筑物的使用者在心理上造成不安全感;二是裂缝过宽使钢筋易于锈蚀。

钢筋锈蚀过程必须有水分和氧气的共同作用。当空气中相对湿度低于 60% 时,钢筋实际上不太会生锈。相对湿度接近于 100% 时,裂缝中充满了水分,氧气不易向钢筋表面扩散,锈蚀也不易发生。当相对湿度在 80% 左右,以及在干湿交替的环境中,如有裂缝存在,钢筋就易锈蚀。(SL/T 191-96)《水工钢筋混凝土结构设计规范》^[1]根据结构构件所处的具体条件,规定了不同最大裂缝宽度的容许值。

我国在 20 世纪 80 年代的研究证明^[2],水工建筑物中最易发生钢筋锈蚀的部位并不是水位变动区而是水面以上受浪花飞溅、飘沫或盐雾水气影响的部位。因为在这些部位,导致钢筋锈蚀的条件——水分和氧气都极为充分。而水位变动区却因为基本上常处于饱和状态,且有泥砂微粒、油污等堵塞裂缝,氧气不易渗入,钢筋的锈蚀并不太严重。至于一般大气条件下的室内构件调查表明,钢筋基本上未发现明显的锈蚀,因此裂缝宽度的容许值国内外均有放宽的趋势^[3]。据此,有人认为配置变形钢筋的室内构件,从防止钢筋锈蚀的角度来说,不需要验算裂缝宽度。

1.3 影响钢筋锈蚀的内因分析

目前,国内外的大部分设计规范都是以裂缝的表面宽度大小作为指标来验算裂缝宽度的。普遍认为,与纵向受力钢筋相垂直的横向裂缝的表面宽度是影响钢筋锈蚀的主要因素。但事实上,横向裂缝的开展只有在裂缝截面附近很短的范围内造成锈蚀,它只导致钢筋锈蚀的开始而不控制锈蚀的速度与锈

蚀的程度. 钢筋锈蚀的主要前提是混凝土的碳化, 因此锈蚀的速度主要取决于水泥品种、混凝土的密实性与保护层的厚度. 混凝土越密实, 保护层越厚, 混凝土碳化区达到钢筋表面所需的时间就越长, 氧气以及氯离子之类的侵蚀性介质的扩散速度也就越慢, 锈蚀的程度就越轻或根本不锈. 反之, 混凝土不密实或保护层过薄, 则锈蚀速度加快, 并易于使钢筋在顺筋方向发生锈蚀. 这种顺筋锈蚀不仅削弱钢筋与混凝土的粘结, 有时还会引起钢筋体积膨胀而导致沿钢筋的纵向裂缝(顺筋裂缝)的发生. 顺筋裂缝发生后, 锈蚀就会更加速发展.

控制钢筋锈蚀的内因并不是横向裂缝的宽度而是混凝土的密实性和保护层厚度 c . 为此, 在港工及海工建筑中均特别规定 c 不得小于 $4 \sim 5 \text{ cm}$. 但 c 越大, 裂缝表面宽度也越大(不少裂缝计算公式中均包含有 c 的影响). 因此有人认为, 把限制横向裂缝的表面宽度作为建筑物表层的美观条件是可以的, 但把它作为衡量耐久性的指标并不是最恰当的.

1.4 裂缝宽度计算公式的适用性

影响裂缝开展的因素极为复杂, 要建立一个能精确概括各种因素的计算方法是十分困难的. 目前国内外的研究者根据各自的试验数据, 提出的裂缝宽度计算公式有几十种之多, 这些计算公式大体上分为两类: 一类是根据裂缝开展的机理, 推导出理论公式, 再用试验资料来确定公式中的一些计算系数, 这种公式常称为半理论半经验公式; 另一类是将大量实测资料用回归分析的方法分析不同的参数对裂缝开展宽度的影响程度, 选择其中最合适的参数, 然后在数理统计的基础上建立起一些主要参数组成的经验公式. 文献 [1] 采用的就是前一类公式.

从试验和工程实践得知, 裂缝的发生、开展与许多因素有关. 目前的计算公式还不能全面反映这些因素, 即使其中最精确的公式, 所算出的最大裂缝宽度的容许值有可能是实测最大裂缝宽度的 $0.5 \sim 1.5$ 倍, 大部分公式的离散性相当大.

目前规范所采用的公式是在以受拉钢筋应变实测结果建立的裂缝宽度计算理论模式的基础上, 经简化处理后得出的. 其计算结果与各种受力构件的试验值的吻合程度, 与理论模式公式大体相当, 可满足工程设计计算精度的要求. 但必须考虑到, 它所引用的试验资料大多数是一般尺寸的试件, 并没有能完全反映水工钢筋混凝土结构那种截面尺寸大、纵向配筋率低、箍筋较少、保护层又比较厚的特点. 在水工钢筋混凝土结构中, 例如有些船闸底板, 厚度可达 5 m 以上, 其配筋率虽很低, 但集中布置在受拉区边缘不大范围内的钢筋数量仍不少, 常常需要 2

~ 3 层密集排列, 而且钢筋直径很粗, 有时可达到 $30 \sim 36 \text{ mm}$. 对于这样一种截面特性, 它的裂缝开展的规律与一般配筋率较大及截面较小的试件并不完全一致. 因此文献 [1] 所推荐的裂缝计算公式比较适用于工作桥、胸墙、闸门等一类构件.

1.5 抗裂计算与裂缝宽度计算之间的关系

有时一个构件用抗裂公式来验算, 得出的抗裂安全系数大于所需数值, 说明已能抗裂, 而如再用裂缝宽度计算公式去验算, 却发现所求得裂缝宽度很大, 甚至超过容许值. 这种矛盾情况是因为抗裂计算公式与裂缝宽度计算公式是分别由两个完全不同的物理概念和力学模型建立的, 两者之间并不衔接. 因此, 满足抗裂验算的构件, 并不一定能满足限裂验算. 所以文献 [1] 规定, 当钢筋混凝土构件已满足抗裂要求时, 可不进行裂缝宽度的验算.

但也有人认为, 抗裂安全可靠度定得较低, 相应的混凝土强度保证率只有 84% , 安全储备不高. 万一发生裂缝, 则裂缝宽度可能很大, 因此主张对一些重要结构, 即使已满足抗裂, 还需同时提出限制裂缝宽度的要求. 对此, 规范仅规定对于特别重要的钢筋混凝土构件, 如经论证认为确有必要时, 可同时提出这两种验算的要求. 其实, 在抗裂的情况下再提出限裂验算, 规范采用的计算公式(考虑裂缝宽度的不均匀性及荷载长期作用影响后的最大裂缝宽度计算公式)已不再适用, 因为这些公式是在使用荷载作用下必然开裂的条件下导出的. 对某些重要的结构, 如果考虑到抗裂安全储备不高, 较好的办法是在计算中适当提高抗裂安全系数或降低混凝土抗裂设计强度值, 或者采用专门的防护面层、表面加配细钢筋网等措施. 如果同时提出抗裂及限裂的双重保证, 则势必大量增加钢筋用量.

1.6 钢筋类型对裂缝的影响

影响裂缝开展的因素比较复杂, 要改善构件的裂缝情况应从多方面来加以考虑. 从计算理论分析中看出, 裂缝截面钢筋应力是影响裂缝宽度最重要的因素. 所以为了控制裂缝宽度, 在普通钢筋混凝土中, 不宜采用高强度钢筋.

螺纹钢筋比光面钢筋的粘结力好得多, 采用螺纹钢筋可以有效地减小裂缝宽度. 过去一些试验认为, 裂缝的宽度几乎与 d 或 d/μ 成正比关系(d 为钢筋直径, μ 为配筋率). 这个结论对于光面钢筋或旧式的变形钢筋(如竹节钢)是合适的, 但对于一些新式的具有横肋的变形钢筋来说, 由于粘着力极好, 裂缝明显较小, 钢筋直径 d 已不再是影响裂缝的首要因素.

(下转第 55 页)

落距,以此确定趸船定位的准确位置.

$$L = 38.4HV/W^{0.693}$$

式中: L 为抛投落距, m; V 为水流流速, m/s; H 为水深, m; W 为排体重量, kg.

b. 进行趸船定位.因在窝塘口门处沉排时梢排纵轴线与水流流向平行,且沉排在近岸进行,因此确定沉放定位如图3所示.

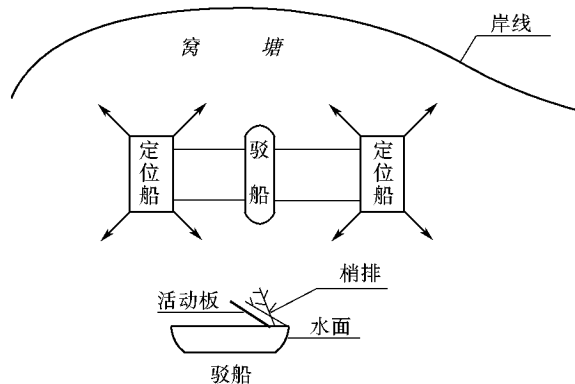


图3 沉梢示意

c. 将制作好的树枝石排用挂机船装运至抛投区.根据计算出的该点理论落距并做相应调整后,由定位船定位抛投.

因梢排具有一定的韧性,且水流变化较快而使部分梢排偏出沉放区域.按设计数量进行抛投后可能仍没有达到设计所需要的顶高程,这时应根据经验加抛设计量的30%即可达到设计要求.

3 沉梢坝的效果

a. 沉梢坝的刹流效果.和畅洲李彪岸头窝塘沉梢封口潜坝测流结果表明:在坝外平均流速0.4 m/s,面流流速0.7 m/s时,坝后塘内呈静水状态,说明沉梢潜坝发挥了明显的刹流效果.

b. 沉梢坝内窝塘的淤积效果.李彪岸头窝塘经过治理后出现了明显的淤积,在两年内普遍淤高了2~3 m,最大淤高达8 m.说明沉梢坝起到了很好的促淤效果.

(收稿日期 2001-08-27 编辑 张志琴)

(上接第51页)

2 减少裂缝的技术措施

提高施工质量是解决裂缝问题的一个基础,混凝土浇筑初期养护的好坏更是关键.因此,除了进行必要的计算外,应采取以下一些措施:

a. 钢筋越细,排列越密,与混凝土的粘结力就越好,可使裂缝间距及裂缝宽度均随之减小,也就是说能把裂缝分散成为密而细的裂缝.所以只要不增加施工的难度,选用细直径钢筋是有利的,这往往是解决裂缝开展过宽的最方便的办法.

b. 保护层增厚会使构件裂缝的表面宽度加大,所以当为了结构表面美观而控制裂缝宽度时,保护层不宜用得厚.但保护层加大明显地有利于钢筋防锈^[4],所以,当为了防锈而控制裂缝宽度时,保护层宜适当加厚.

c. 尽量避免结构构件的外形出现尖锐的突变,并适当布置构造钢筋.必要时在结构局部表面可加设细钢筋网以减小裂缝的宽度;布置足够的分布钢筋以承担未经计算的混凝土收缩温度应力;设置沉降缝和温度伸缩缝以改善结构受力情况,避免裂缝过宽.

d. 采取增加钢筋用量的办法来减少裂缝宽度不是一个经济的办法,改善构件的开裂情况除了作必要的理论计算外,更重要的是提高施工质量和采取正确的构造措施,必要时在结构表面设置专门的

防渗面层,如沥青混凝土、树脂沥青、环氧砂浆、甚至钢板衬面.

3 结 语

引起裂缝的原因是多方面的,根据产生原因的不同,混凝土的结构裂缝可分为3类:混凝土的早期裂缝、温度和收缩裂缝;由外荷载引起的裂缝.其中最主要的是由于荷载引起的裂缝.钢筋混凝土构件裂缝宽度过大,就会使构件内的钢筋严重锈蚀,截面面积被削弱,从而影响构件的耐久性.因此,进行结构构件设计时,应根据需要进行构件裂缝宽度的验算,按使用要求对裂缝进行控制.当然,解决裂缝问题的最根本的办法是采用预应力混凝土结构,它能有效地减少构件的裂缝宽度或根本不使构件产生裂缝.

参考文献:

- [1] SL/T 191-96, 水工混凝土结构设计规范[S].
- [2] 南京水利科学研究所. 港工钢筋混凝土结构容许裂缝宽度值的研究与确定[M]. 南京:江苏科技出版社,1979.
- [3] 耐久性专题研究组. 对钢筋混凝土结构裂缝宽度限值分类及取值的意见[J]. 建筑技术通讯——建筑结构,1982(3):25~28.
- [4] 建委四局建筑科学研究所. 钢筋混凝土及预应力混凝土构件裂缝宽度限值和保护层厚[C]. 译文集第一辑. 北京:中国建筑工业出版社,1978.

(收稿日期 2001-02-14 编辑 张志琴)