

钢丝网水泥构件 计算与施工

浙江省水电局水利科学研究所编

一九七七年五月重印

201 钢丝网水泥构件计算与施工

江苏工业学院图书馆
藏书章

1977年5月重印

毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

团结起来，争取更大的胜利。

水利是农业的命脉，我们也应予以极大的注意。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

目 录

前言	(1)
钢丝网水泥的材料及其物理力学特性	(3)
一、材料基本性质	(3)
二、钢丝网水泥工作机理	(5)
三、主要静荷性能	(5)
四、主要动荷性能	(8)
五、主要物理性能	(9)
钢丝网水泥的计算方法	(11)
一、建材部科研院计算方法	(11)
(一) 高含钢量计算方法	(11)
(二) 低含钢量计算方法	(19)
二、苏联建科院计算方法	(25)
三、容许应力计算方法	(30)
钢丝网水泥结构的施工	(34)
附录一、钢丝网的技术资料	(44)
附录二、予应力钢丝网水泥计算实例	(45)
附录三、低含钢量钢丝网水泥结构设计指示($K_p < 2$)	(49)
附录四、按容许应力法试行设计提纲	(52)
附录五、各种涂料的配制方法	(57)
附录六、钢丝网水泥在水利工程上应用示例(摘要)	(63)
附录七、钢丝网水泥闸门计算实例	(67)
一、板梁式闸门	(67)
二、折板式闸门	(77)
三、波形板闸门	(84)
四、立拱闸门	(88)
五、膜型扁壳闸门	(101)
六、圆柱短壳闸门	(108)
七、双曲扁壳闸门	(115)
八、予应力钢丝网水泥平板闸门	(149)
九、钢丝网水泥弧形闸门	(161)
附录八 钢丝网水泥渡槽计算实例	(185)
主要参考资料	(220)

前 言

钢丝网水泥是建筑工程上一种新型的结构材料，它是由若干层重叠的钢丝网浇捣高标号水泥砂浆构成的。厚度一般在30毫米以内，也有达40毫米左右。为了增加承载能力，减少钢丝网用量，并便于绑扎成型起见，可在网层间夹填直径为3~8毫米的细钢筋，构成加筋钢丝网水泥，二者通称为钢丝网水泥。若采用高强度钢丝，并经张拉，施加予应力后，则构成予应力钢丝网水泥。

钢丝网水泥是在钢筋混凝土基础上发展起来的，是钢筋混凝土这门学科的一个分支。大家知道，混凝土是一种脆性材料，抗拉强度低，但由于配置了钢筋，就大大改善了它的力学性能，配筋率愈高，分布愈均匀，则构件的弹性与抗裂性就愈好。钢丝网水泥构件就是由于在水泥砂浆中分散地配置了密而细的钢丝网，充分发挥了二种材料的优良性能，因此远较钢筋混凝土有更好的弹性，较高的抗震能力和抗拉强度，以及良好的抗渗能力和耐久性，并能承受冲击荷载和动力荷载。加以自重轻、造价低等方面的特点，所以在建筑、造船、和水利工程上，愈来愈得到广泛的应用。

最早用钢丝网水泥作结构材料的是法国人蓝博，1854年他用钢丝网水泥制造一只小划艇，在世界博览会上展出，此后，过了将近100年时间，在1943年意大利建筑师涅尔维(Nervi P. L)首先对钢丝网水泥的特性，作了较为深入的试验研究，他得出的结果表明：“如果在每立方米砂浆中含钢量达400~500公斤时，钢丝网水泥的弹性可增至5倍以上。”后来，他把这种材料用于造船和建筑工程。如1946年制造的165吨摩托快行帆船，1949年建成的跨度为98米的都灵展览馆中央大厅，1957年建成的直径为78米的罗马奥林匹克体育馆，这些建筑物无论在建筑艺术上，技术上，经济上都是比较成功的。其后世界各国均先后开始研究与应用，目前已有日本、英国、苏联、阿联、美国、朝鲜等数十个国家进行生产和使用。

我国在1958年大跃进中，开始了钢丝网水泥的研究与制品的试制工作。特别在造船方面进展比较迅速，仅在59~60年间即生产水泥船达三万余吨，目前水泥船已在南方诸省中普遍使用，总吨位约达数十万吨，最大吨位达3000吨。最近还用钢丝网水泥制成了万吨级的浮动船坞。在水利工程上，主要用于制作压力管道，各种类型闸门，和输水渡槽。我国现已成批生产的钢丝网水泥或自应力钢丝网水泥压力管，管径一般为150~1000毫米，最大的达2000毫米。小管径最大内水压可达25公斤/平方厘米。仅我省新安江和金华二个水泥制品厂，可年产100公里长度的管道。钢丝网水泥和予应力钢丝网水泥U形薄壳渡槽已被广泛使用，最大流量达18秒立米。各种梁板、折板、壳体、弧形闸门，最大跨度12米，最高水头12米。此外，大型屋面板，100立米水塔，3500立米煤气罐，浮体闸等构件，也采用钢丝网水泥制作，使用情况良好，经济效果非常显著，并能节省大量三材。

由于钢丝网水泥可任意成型，施工简便，因此特别适宜于制作薄壁构件，故一般均设计成薄壁空间结构。对某些重要构件，还采取了专门的防腐蚀措施，以保证其耐久性。

钢丝网水泥的试验研究和应用工作，在毛主席无产阶级革命路线的指引下，已经取得了很大的成绩。我们遵照毛主席“人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创

送，有所前进。”和“古为今用，洋为中用。”的教导，搜集了国内外有关资料，并在汇集有关单位的生产经验和科研成果的基础上，编写了这本《钢丝网水泥构件计算与施工》资料。主要介绍钢丝网水泥的物理力学性能，计算方法和施工工艺，并将涂料配制方法，各种闸门和U形渡槽的计算实例等方面资料编入附录供作参考。由于编者水平所限，一定有不少缺点和错误，恳请读者给予批评指正。

钢丝网水泥的材料及其物理力学特性

钢丝网水泥的材料主要由水泥砂浆、钢丝网和细钢筋组成。现将建材部科研院和苏州水泥制品研究所等单位的试验研究成果，分作材料基本性质、静荷性能，动荷性能，物理性能等四个方面，分别叙述于下：

一、材料基本性质

(一) 水泥砂浆：

1. 水泥砂浆是钢丝网水泥的重要组成材料之一。砂浆标号高低对材料粘结强度，和极限承载能力，都有很大的影响。水泥砂浆常用标号依据其28天抗压强度可分作*300、*400、*500三种。

影响水泥砂浆强度的因素很多，主要有水泥标号、水泥用量、水灰比、灰砂比、养护条件和捣固方法数种。采用高标号水泥，不仅强度大，且具有早期强度高和粘滞性较大的特点。根据国内水泥生产情况，采用500号以上的普通硅酸盐水泥较为合适，水泥用量一般为每立方米砂浆700~800公斤，更高的水泥用量对强度提高并不显著，且容易出现干缩裂缝。水灰比、灰砂比的采用对强度影响很大，一般采用水灰比0.35~0.40，灰砂比1:1.5~1:1.75。因此钢丝网水泥的水泥用量比普通钢筋混凝土的水泥用量要大2~3倍，因此，养护工作相当重要，必须予以充分注意。此外，根据构件形状，应选择适当的捣固方法，必须保证网格内砂浆饱满以及设计规定的保护层厚度。

确定砂浆强度的试件，常用下列尺寸和形状：

抗压——7.07×7.07×7.07厘米立方体试件

抗拉——断面积为5平方厘米的8字形试件

抗折——2×2×13厘米的条形试件

2. 砂浆强度计算：

(1) 砂浆标号设计：

砂浆标号设计时，水泥用量可用下式计算

$$Q_n = \frac{R}{K R_n} \times 1000 \quad (1-1)$$

式中： Q_n ——1立方米砂子所需的水泥用量(kg)

R ——砂浆标号(28天抗压强度 kg/cm^2)

R_n ——水泥标号

K ——系数

普通水泥 $K = 0.9$ ；

砂浆标号还可用于下式进行校核

$$R = \alpha R_n \left(\frac{U}{B} - 0.4 \right) \quad (1-2)$$

式中: R ——砂浆标号

R_H ——水泥标号

$\frac{H}{B}$ ——灰水比

α ——系数, 由试验得出, 用0.35。

(2) 抗拉强度计算:

砂浆抗拉强度可根据砂浆抗压强度按下式确定

$$R_P = 0.65 R^{\frac{2}{3}} \quad (1-3)$$

式中: R_P ——砂浆抗拉强度(kg/cm^2)

R ——相同龄期砂浆抗压强度(kg/cm^2)

(3) 抗折强度的确定:

砂浆的抗折强度实际上是由抗拉极限强度控制的。当砂浆标号为300~700号时, 抗折强度 R_{PH} 与抗拉强度 R_P 的比值在2.0~2.5之间。在钢丝网水泥中采用转换系数 $A = 2.0$ 是适宜的。即 $R_{PH} = 2R_P$ 。

3. 砂浆强度和龄期的关系:

(1) 抗压强度: 当砂浆处于水中或潮湿状态养护条件下, 养护温度 $20^\circ \pm 5^\circ\text{C}$, 其28天以内的抗压强度以下式计算。

$$R_t = R_{28} \frac{\alpha T}{28(\alpha - 1) + T} \quad (1-4)$$

式中: R_t ——龄期 T 天的抗压强度(kg/cm^2)

R_{28} ——砂浆28天的抗压强度(kg/cm^2)

α ——系数。普通水泥 $\alpha = 1.35$

采用人工抹实成型时需另乘0.85修正系数。

(2) 抗拉强度:

$$R_{Pt} = R_{P28} \frac{\alpha T}{28(\alpha - 1) + T} \quad (1-5)$$

式中: R_{Pt} ——龄期 T 天的抗拉强度(kg/cm^2)

R_{P28} ——龄期28天的抗拉强度(kg/cm^2)

α ——系数。普通水泥 $\alpha = 1.15$

(二) 钢丝网和细钢筋:

钢丝网水泥所用的钢丝网, 一般采用 A_3 , $\phi 6\text{mm}$ 低碳盘圆多次冷拔并经回火处理的钢丝编织而成。盘圆经冷拔后, 其抗拉极限强度可达 $5500\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上, 而弹性模量则有所降低。通用钢丝网规格见附录一。

为了满足构件强度和刚度的需要, 钢丝网水泥应保持有一定的厚度, 同时, 为减少钢丝网用量和便于施工, 往往在网层中间填夹直径为3~8毫米的细钢筋, 构成加筋钢丝网水泥。直径 $\phi 3 \sim \phi 4$ 和 $\phi 5 \sim \phi 7$ 的细钢筋, 应分别由 $\phi 6 \sim \phi 6.5$ 和 $\phi 8 \sim \phi 10$ 的 A_3 盘圆, 经多次冷拔而成, 其抗拉极限强度可达 $5500\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上。如网内填夹未经冷拔的细钢筋, 则其强度亦相应降低。当采用高强钢丝、钢绞索, 低冷拔炭丝等高强钢筋, 经张拉施加予应力后, 则制成为予应力钢丝网水泥构件, 其承载能力将大为提高。

二、钢丝网水泥工作机理

关于钢丝网水泥的工作机理问题，是有不同见解的。

一种论点是苏联В·В·米哈伊洛夫(Михайлов)等人提出的所谓联系变形的假说。这种假说认为当混凝土或砂浆受荷时，内部的拉应力将引起水泥石与胶体颗粒间的分离，增大二者的间距，而混凝土或砂浆是一种非匀质材料，在其薄弱处，变形会集中迅速发展。如果混凝土或砂浆中含有大量的分散弹性体(钢丝)，由于弹性体共同工作的影响，将阻止变形集中于局部，而使混凝土或砂浆的变形分布得较为均匀。这样在受荷的一定阶段，虽然砂浆的塑性变形有了一定的发展，然而借助于仍处于弹性工作阶段的钢丝存在，在卸荷时，随着钢丝变形的恢复，砂浆基本上亦能得到相应的恢复。也就是说，大量分散配筋，能使受拉砂浆上的塑性变形能充分地发展，因而能大大提高受拉砂浆的极限延伸值。

另一种论点是苏联建科院钢筋混凝土研究所提出的。他们认为均匀分散配筋并不能对混凝土或砂浆的微细裂缝发生重大影响。他们利用超声波等方法，发现在钢丝网水泥中微细裂缝的形成与普通混凝土或钢筋混凝土一样，即极限延伸值仍为 $10 \times 10^{-5} \sim 15 \times 10^{-5}$ ，并指出在裂缝形成以后，钢丝网水泥构件具有残余变形，因此，不能认为是弹性的。他们认为均匀分散的配筋能影响裂缝的发展，能缩小裂缝扩展的宽度从而使裂缝细而密，(与钢筋混凝土构件相比，裂缝宽度仅达 $1/10 \sim 1/15$)正是这种细而密的裂缝造成了所谓极限延伸值提高的表面现象。

钢丝网水泥是钢筋混凝土这门学科中一个新的分支。关于配筋混凝土的抗拉极限延伸值是否比素混凝土提高的问题，从1899年，法国的康西杰尔(Конендор)提出以来，到目后为止一直是个争论的问题，这个有争议的问题也很自然的带到钢丝网水泥中来。随着国内外大量的试验研究工作的开展，国内某些单位也认为配筋不能推迟微裂出现的时刻，可见钢丝网水泥的工作机理问题，迄今尚不能取得一致的认识，还有待今后进一步的研究和探索。下面只能就一些单位的试验研究成果来叙述钢丝网水泥的物理力学性能，以供读者参考。

三、主要静荷性能

钢丝网水泥的各种静荷性能，系将钢丝网水泥做成各种不同形状的试件，并按匀质弹性体的假设，用材料力学的方法，求出各种不同静荷载下的应力，极限强度、弹性模量以及变形特征。兹将建材部科研院和苏州水泥制品研究所等单位对抗拉、抗弯、抗压、抗剪等基本性能试验的成果分析，摘要叙述于下：

(一) 中心受拉：

抗拉性能对钢丝网水泥来说具有特别的意义，它充分反映分散均匀配筋的效果，根据较多的试验资料表明，钢丝网水泥的抗拉性能比钢筋混凝土有较大的提高。

1. 钢丝网水泥受拉时，在微裂($a_T < 0.005$ 毫米)形成前夕，应变值比素砂浆抗弯板的受拉极限延伸值，小 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ 左右，这说明配筋不能推迟微裂出现时刻。

2. 当钢丝网规格相同，则钢丝网水泥的抗裂强度 σ_{TP} (出现可见裂缝 $a_T = 0.005 \sim 0.01$ 毫

米前一级荷载所对应的应力)，随着用钢量 A 的增多而显著提高。当用钢量相同，减小钢丝直径以增加配筋的分散性，也能提高抗裂强度。

3.当网丝直径 d 相同，配筋系数 β 相同时（即用钢量 A 亦相同），如用较小的网格，则因增强了钢丝对砂浆表层抑制作用，而提高抗裂强度。当网格尺寸相同，配筋系数亦相近时，如增大钢丝直径，则抗裂强度也相应提高。

4.钢丝网水泥填夹细钢筋后，与单纯配网的情况相比较，具有较小的延伸值，较高的弹性模量，抗裂强度则略微偏低。

5.当配筋特征相近时，抗裂强度随砂浆强度的增加而提高。

6.在弹性阶段内，钢丝网水泥的弹性模量，约为砂浆弹性模量加上钢丝和细钢筋所增加的弹性模量。

7.当裂缝开展宽度 $a_T = 0.05$ 毫米时，其抗拉强度 $\sigma_{0.05}$ 的数值，主要取决于配筋率。此时，在裂缝断面上，砂浆已全部退出了工作，裂缝左右区段的钢丝（细钢筋）可能产生滑移。由于钢丝网是呈波浪形的，故在滑移时，可能有微小的构造变形（拉直），而细钢筋则没有构造变形，这说明多配置细钢筋则对 $a_T = 0.05$ 毫米时的强度是有利的。

8.中心受拉的破坏强度，取决于配筋率和钢丝本身的极限强度，由于钢丝网与钢筋不是同时到达极限强度，因此，钢丝网水泥中心受拉的破坏强度小于各个直丝的极限强度的总和。

9.养护条件对钢丝网水泥抗裂指标的影响相当重要，如不能保证90%以上的相对湿度，而在一般自然条件下养护，就可能使表层产生巨大的收缩应力，同时使砂浆的可延伸性减小，这样也就大大降低了抗裂强度。

10.应该指出，钢丝网水泥一个重要特点，是卸荷后裂缝具有很高的闭合能力，并随着配筋分散程度的提高而提高，某些试验表明，裂缝开展至一定宽度如加荷达 $a_T = 0.05$ 毫米时，在卸荷后，裂缝仍可闭合而使肉眼看不见。

（二）抗弯：

钢丝网水泥的抗弯性能综合如下：

1.钢丝网水泥受弯板的弹性阶段比起破坏阶段只占很少一部分。和中心受拉一样，配筋不能推迟出现微裂的时刻，而出现微裂时的应力，亦与配筋率大小无关，一般为 80kg/cm^2 左右（按弹性计算）。

2.当到达出现可见裂缝前夕，它的应力（抗裂强度）主要取决于砂浆强度和受拉区配筋率。与受拉试验相同，抗裂强度随配筋率增加而增加。当网层超过4层以后，强度很少提高，这是由于网层过多，造成砂浆密实度降低的结果，在现行的施工条件下，网层不宜过多，这在技术上、经济上是有利的。

3.钢丝网的影响是有一定范围的，当保护层过厚或有局部严重缺陷时，（如孔洞，气泡等）则容易导致裂缝提前出现。这是因为受弯板应力最大的部位在外边缘，而外边缘正好是保护层。因此，保护层的厚薄将直接影响受拉边缘的变形均匀性和抗裂时的变形值，从而影响抗裂应力。此外，由于保护层过厚，钢丝部位向中和轴移近，钢丝所承担的应力减少，故抗裂强度亦因此有所降低。鉴于上述原因，受弯构件比受拉构件的保护层厚度影响更大。

4.局部的细小裂缝，对构件承载能力，并无多大影响，但较大裂缝会使钢丝锈蚀，严重影响耐久性。试验发现，裂缝宽度 $a_T > 0.05$ 毫米时，条数增加，宽度发展迅速，因此，最大裂缝开度允许值，采用 $(a_T) = 0.05$ 毫米也是合适的。

5. 在受弯构件中, 当 $a_T = 0.05$ 毫米时, 靠近中和轴的部分砂浆, 仍然参予受拉区工作。而限制受拉区裂缝开展, 主要依靠外层的钢丝网作用。因此, 适当地加用细钢筋来代替中和轴附近的网层是合理的, 并且中间加了细筋, 还能保证网层位置正确, 加大中间空隙, 使砂浆振捣密实。当纵向受力钢筋接近受拉区表面时, 其受力性能有显著提高, 这是由于受拉区配筋率得到增加的结果。如横向筋(非受力筋)接近受拉区表面时, 对微裂应力, 影响不大, 但对抗裂强度(σ_{TP})及 $a_T = 0.05$ 毫米时的强度($\sigma_{0.05}$)有着不利影响。

6. 钢丝网水泥受弯时, 在裂缝形成初期, 扩展较慢, 但条数迅速增加, 均匀分布在等弯矩区和加荷点附近, 裂缝最小间距等于网格尺寸。抗弯极限强度很高, 在出现裂缝后, 仍有很大的承载能力。受弯破坏时, 受拉钢丝被拉断, 附近钢筋滑移, 受压区砂浆压碎而剥离。当配筋率较高时, 受压区先开始破坏, 受拉钢筋不能充分发挥作用。

(三) 抗压:

钢丝网水泥的抗压性能综合如下:

1. 钢丝网水泥受压时, 钢丝和细钢筋借助于砂浆的包裹而有一定的承压能力, 由于砂浆和筋、网共同负荷, 使钢丝网水泥的承载能力和弹性模量均较纯砂浆稍高, 并随含钢量的增加而有所增加。

2. 横丝对横向变形有抑制作用, 从而减小了泊桑比, 提高了弹模, 但由于网层间联系较弱, 故对抗压强度影响不大。因此, 如加强网层绑扎可进一步改善抗压性能。

3. 钢丝网水泥受压时, 大致可分为二个阶段, 第一阶段为弹性工作阶段, 约在50%抗压极限强度以前, 此时, 应力与应变成直线关系。第二阶段为弹塑性工作阶段, 此时, 随应力的增加, 应力—应变关系曲线的坡度则逐渐下降⁽²⁷⁾。钢丝网水泥在压缩过程中, 钢丝将产生弯曲变形, 故未开裂卸荷后, 变形的恢复主要借助于砂浆的弹性恢复, 并有较大的残余变形。

(四) 抗剪:

影响钢丝网水泥抗剪能力的因素, 同砂浆本身的抗剪强度有关, 以及钢丝网与剪力的相对位置(配筋形式)有关。试验表明, 配筋系数 β 愈大, 砂浆标号愈高, 则相应的抗剪能力也愈高, 但这种提高与配筋形式的影响相比, 要小得多。

配筋形式是影响抗剪能力的决定性因素, 因配筋形式不同, 抗剪能力可以相差很大, 主要有下述三种情况:

1. 钢丝网与受剪面垂直而与剪力方向平行, (相当于垂直构件受剪), 其抗剪强度 τ_{TP} 和 τ_P 分别和钢丝网水泥裂缝出现时抗拉强度和抗弯强度相近, 加强绑扎可以提高抗剪强度。(τ_{TP} 和 τ_P 分别为裂缝出现时应力和破坏时应力。 kg/cm^2)

2. 钢丝网与受剪面和剪力方向垂直, (相当于受弯与支座受剪)。配筋有力地阻止了剪切移动, 从而获得较高抗剪强度。

3. 钢丝网与受剪面和剪力方向平行, (相当于梁板中水平面受剪)。其抗剪能力很低, 仅比素砂浆的抗剪强度稍高。

综合以上所述, 钢丝网水泥各种力学性能, 主要取决于组成材料——砂浆和筋网的共同工作。一般来说, 砂浆标号愈高, 和配筋系数愈大, 则各种强度指标均相应增加。但应从实际情况出发, 不能单纯考虑高标号水泥, 加大水泥用量或增多筋网, 以致造成不必要的浪费。此外, 筋网应分布均匀和配置得当, 保护层不宜过厚或太薄, 以及充分注意养护, 否则都会严重影响钢丝网水泥的力学性能。

由于采用大量分散的钢丝网配筋,大大改善了砂浆的抗拉性能与裂缝开展特征。虽然配筋对微裂的形成影响不大,但它能抑制裂缝的扩展,延缓微裂发展为可见裂缝,从而大大提高了钢丝的利用程度。一般在使用荷载范围内,钢丝网水泥结构的裂缝开展宽度,就很容易限制在许可范围内。

如果结构是要求不能出现可见裂缝的,那末,对于受拉,受弯构件,都应适当多配网少配筋。如果结构极限状态可以用裂缝宽为0.05毫米来控制,则可适当地多配筋少配网。根据构件使用要求,选择适当网筋比的加筋钢丝网水泥可以充分发挥材料性能。在受弯构件中,保护层厚度的控制和配筋位置的正确性,其要求更为严格。

四、主要动荷性能

(一) 抗冲击性能:

利用钢丝网水泥制造船舶,闸门等薄壁结构时,尚需研究材料的抗冲击性能。建材部科研院进行抗冲击性能试验是将试件置于支架上,用25公斤重的铁球,在50厘米高处自由落下时耐冲击的次数来确定的。当试件产生永久挠度 $f \geq 5$ 厘米时,认为已完全破坏。其主要表现如下:

1. 脱层由被冲击面开始,背面脱层现象要晚得多。
2. 背面裂缝呈网格状,裂缝宽度由冲击中心向外逐渐减小,随着永久挠度 f 的增加,裂缝逐渐伸长扩大。
3. 保护层过小会使露筋现象过早出现而导致钢丝网水泥整体工作性能的减弱。因此,一般采用保护层不小于2毫米。
4. 合理选用钢丝网的网格、直径和含钢量,以控制配筋系数 β 在500左右,并选用砂浆标号不低于 350 kg/cm^2 时,抗冲击性能较为优良。
5. 在钢丝网水泥中放置细钢筋,可以减少冲击时的永久挠度,但应配置足够数量的钢丝网,(使其重量不小于总含钢量的一半)以保证其开裂脱层不致严重。
6. 国外试验表明:配有8层网、厚2.5厘米的钢丝网水泥板的抗冲击强度,比用 $\phi 6$ 毫米配筋的钢筋混凝土板的强度要大2.5倍。而且钢筋混凝土的用钢量比钢丝网板大25%。
7. 在实际使用中,钢丝网水泥船在水中以一定的行速撞击桥墩,木桩均未见局部损伤,只有在猛烈碰撞受到损坏的情况下,才需要进厂修理。如江苏无锡有一条船急流顺水而下,为避让前方来船而撞在码头尖角石上,撞成一洞,立即用衣服堵塞抢救脱险后,进厂修补,经2小时修补,养护数日后即出厂,使用一年多,并未发现渗漏现象。又如我省永康县某引水工程中,钢丝网水泥槽身,因吊装不慎,猛烈撞击在排架支座上而形成二个大洞,网破筋断,情况严重,后将破碎砂浆层除去,铺上新网,细筋局部加密,用水泥砂浆补回去,使用多年,也未发现渗漏现象。上述情况充分说明,钢丝网水泥的抗冲击性能较钢筋混凝土为好,即使撞破后,修补也甚为方便。

(二) 耐疲劳性能:

钢丝网水泥制品在实际应用时,常处于交变应力状态,建材部科研院通过试验测定其在交变荷载作用下,抗裂持久强度的情况(或称抗裂疲劳极限)。耐疲劳性能的试验研究工作做得较少,因此还不易得出有普遍意义的结论,但从初步试验的结果可以看出,钢丝网水泥具有较好的耐疲劳性能。

当最大应力不大于抗裂疲劳极限, 钢丝网水泥在交变应力作用下, 不致产生突然破坏, 甚至试件在一千万次的稳定交变负荷情况下, 其表面无脱屑剥层现象, 钢丝未断, 钢丝与砂浆粘结仍良好, 没有发现裂缝。但是, 在孔洞附近或自由边缘, 耐疲劳性能就显著降低, 故在穿孔留洞附近一定要用预埋铁件加固, 而在自由边缘亦应注意边框与梁的妥善联接。

对于应力加筋钢丝网水泥进行的耐疲劳性能试验表明, 试件端部予应力细筋锚固区最外面砂浆有脱落现象, 予应力细筋与砂浆的粘结力, 亦有一定程度的削弱, 故在设计时应予以考虑。

五、主要物理性能

(一) 水密性与气密性:

钢丝网水泥的抗渗能力, 在很大程度上取决于制造工艺, 而其成型质量的优劣能使抗渗指标波动很大, 所以提高钢丝网水泥的密实程度是获得良好水密性的关键。采用机械振捣、离心作业、喷浆等方法均能大大提高水密性。而蒸汽养护以及人工涂抹, 因容易增多气孔和不够密实, 能使抗渗指标大为降低。

由于钢丝网水泥采用分散性较大的钢丝网, 施工操作不注意, 往往会造成局部的不够密实, 在不够密实的地方, 即使水压很小, 亦能出现渗水现象, 相反, 在较为密实的地方, 即使表面出现裂缝以后, 仍无渗水现象。总的来说, 钢丝网水泥的水密性是较高的, 用人工涂抹的钢丝网水泥船, 在船仓内装满水并经24小时后检查, 无渗水现象者方算合格。而我省新安江水泥制品厂离心法生产的普通钢丝网水泥管耐水压力达 13kg/cm^2 , (管径500mm以下) 自应力钢丝网水泥管耐水压力高达 29kg/cm^2 (管径320mm)。

对普通钢丝网水泥采取一些措施, 其抗气渗能力可达0.5个气压以上。由于钢丝网水泥均系沿网格针孔 (即用肉眼很难判断的微孔) 漏气, 故在施工工艺上要求做到模板平整无缝, 保护层厚度不宜过薄, 消除露网现象, 并加强振捣, 终凝前多次压抹等措施, 均能显著改善气密性能。在表面涂以沥青、漆、或水玻璃亦能提高抗气渗能力。此外, 采用自应力水泥或膨胀水泥则能显著改善其气密性能。目前江苏无锡已建成 300m^3 的气柜, 钟罩升降灵活正常, 完全符合石油化工生产使用要求。南京市大搞煤气管道会战时, 也曾采用钢丝网水泥管输送煤气。新安江水泥制品厂生产的自应力钢丝网水泥管抗气渗能力可达 2kg/cm^2 。

(二) 耐久性与保护涂料:

钢丝网水泥制品的耐久性实际上是用抗冻性来表示的, 此外尚需考虑环境介质的侵蚀性的影响。

材料的抗冻性和砂浆标号及配筋分散性有关, 由高标号砂浆和分散性很高的钢丝网所制成的钢丝网水泥具有很高的抗冻性。据国内外大量试验证明, 钢筋混凝土结构用10~15毫米厚的混凝土保护层是可靠的, 而钢丝网水泥的砂浆保护层采用3毫米是足够的。

在室内试验时, 试件经125次冻融循环后, 部分试件有较大的重量损失, 经150次冻融循环后, 边角有微小的脱屑现象。当砂浆的水灰比与混凝土的水灰比相同时, 经450次冻融循环后, 钢丝网水泥的抗冻性高于钢筋混凝土的抗冻性。试件经养护后再在空气中干燥及碳化1个月以上, 或在砂浆中掺入0.15~0.2%的塑化剂, 以及表面涂刷涂料的办法, 均能提高其抗冻性。但当表面有露丝或印网时, 将使钢丝锈蚀很严重, 锈蚀能使钢丝体积增大一倍, 从而加速裂缝发展, 导致保护层脱落。故从耐久性考虑, 在施工时应杜绝露筋印网等现象。

船舶、闸门、水塔、气柜等钢丝网水泥制品，在实际使用时，经常处于海水、污水、石油化工废水、油料、垃圾、粪便等侵蚀性环境介质中，从多年使用的情况来看，抗腐蚀性能亦是非常良好的。如沿海船舶和闸门，经常处于海水中，福建省曾对运行数年的船舶作了检查，证明保护层在3毫米左右时，钢丝均无锈蚀完整如新，凡有锈蚀者，其保护层均不足1毫米。在裂缝宽度与锈蚀深度的关系方面，则呈现出愈向内层锈蚀愈轻的情况，如在裂缝宽度达0.06毫米时，向砂浆内延伸的锈蚀长度，第一层网为3毫米，呈细小斑点浮锈，第二层网为2毫米，呈较轻微细小斑点浮锈，第三层网为1.5毫米，呈极微细小斑点浮锈，而在细钢筋层上则并无锈蚀现象。在我省沿海闸门使用十余年后的检查情况也同样如此，保护层完好者其钢丝网无锈，而外裸的 $\phi 32$ 毫米的拉杆（粗钢筋）虽然油漆保护，锈蚀仍然相当严重。在国外，1943~1946年制造的钢丝网水泥机帆船，至今尚在营运并未发生问题。

此外，钢丝网水泥还具有耐火与隔热的优良性能，它曾经 1700°C ，1.5小时的试验，材料未受影响，钢丝网水泥导热量为335大卡/米²C时，不致产生水凝现象。

综合以上情况说明：钢丝网水泥和钢筋混凝土相比，具有良好的密实性，不透水性和抗冻性。砂浆保护层3毫米是足够的，砂浆保护层的完整无损是材料寿命的标志。根据国内外大量试验成果和工程实践经验，我们认为，钢丝网水泥的耐久性可大致和钢筋混凝土差不多。某些重要的钢丝网水泥构件，若能采用各种涂料覆盖，以防止锈蚀，增加耐腐能力，则效果更好。

钢丝网水泥的计算方法

钢丝网水泥是一种新型结构材料，首先在造船工业和建筑工程中得到大量应用。我国在1958年大跃进中，开始了这项试验研究工作，十余年来，进展非常迅速，获得了巨大的成绩。在水利工程上，国内已有不少地区广泛地应用于闸门、渡槽、压力水管以及其他薄壁结构等方面。由于钢丝网水泥历史较短，理论尚欠完善，国内外计算理论的依据也颇不一致，现有一套计算理论也大多是针对造船和建筑而提出的，因此，目前这些计算方法在水工结构中运用，还不是非常合适，只能作为参照和借用。

钢丝网水泥的计算方法很多，国内还没有统一规范可资遵循，我们选择了我国建筑材料科学研究院、苏联建筑科学研究院和容许应力法这三种国内常用的计算方法。我国建材院所用的计算方法，是在材料弹性受力的基础上，考虑一定的塑性开展，并从组成材料联系变形的观点出发，通过工作机理的分析，结合大量的试验资料，系统地得到钢丝网水泥在受拉、受弯、受压等不同受力情况下强度的核算方法。苏联建科院按极限状态计算方法，是建立在破损理论基础上，并考虑材料有较充分的塑性发展。这套公式较完整，概念也较为明确，但由于苏联同我国所采用的材料性质有所不同，表现在裂缝开展公式中，往往计算所得结果偏大，而实际开裂情况很小。因为裂缝开展计算是经验公式，所以应对此公式进行修正，使之更适合于我国具体情况。容许应力法是直接建立在完全弹性体基础上的，计算简便是其最大优点，唯目前试验资料尚不够完整，全面，尚难提出统一标准数值是个很大的缺陷。

以上所述三种方法，由于理论分析的基本依据各不相同，因而计算所得的结果差异很大。我们认为建材院所介绍的公式较为全面，在工程界用得也较多，应优先采用。苏联建科院公式在修正裂缝公式的基础上也能使用。容许应力法因其计算简便，可在小型工程中大量采用，现将三种计算方法分别介绍于下。

一、建材部料科院计算方法

该院从联系变形观点出发，考虑组成材料的相互影响。用组成材料承载能力迭加方法来分析钢丝网水泥工作机理，作为钢丝网水泥计算的理论基础。

该院提出的计算方法，有高含钢量和低含钢量二种，在高含钢量计算中又有普通钢丝网水泥、加筋钢丝网水泥、予应力钢丝网水泥数种。低含钢量计算通称农船公式。现分别叙述如下。

(一) 高含钢量计算方法：

1. 计算依据的基本资料：

(1) 基本原则：

在中心受拉和受弯的两种荷载情况时，按三个阶段来核算强度。公式适用范围， $250 \leq \beta < 500^*$

* 编者注：原文为 $200 \leq \beta \leq 800$ ，经过近几年来试验资料的核算，发现 β 值的适用范围偏宽，经和有关单位商讨后，暂定 β 值在 $250 \sim 500 \text{ kg/m}^2 - \text{mm}$ 。

当按第一阶段计算时, 钢丝网水泥完全处于弹性工作状态的承载能力和强度。

当按第二阶段计算时, 钢丝网水泥开始出现裂缝时的承载能力和强度。(a_T < 0.005mm)

当按第三阶段计算时, 钢丝网水泥裂缝开展至一定宽度时的承载能力和强度。(一般以允许最大裂缝开展宽度 a_T = 0.05mm 时来考虑。)

(2) 基本参数:

1) 配筋系数 β

当仅配置钢丝网时

$$\beta = \frac{A}{d_1} = \frac{n_1 q}{h d_1} \times 1000 \text{ kg/m}^3 - \text{mm} \quad (2-1)$$

当填夹细钢筋时

$$*\beta = \frac{A}{d_1} = \frac{n_1 q}{(h - n_2 d_2) d_1} \times 1000 \text{ kg/m}^3 - \text{mm} \quad (2-1')$$

$$h = k n_1 d_1 + n_2 d_2 + \delta \quad (2-2)$$

式中: n₁——钢丝网层数

n₂——细钢筋层数

d₁——网丝直径 (mm)

d₂——细钢筋直径 (mm)

q——每平方米单层钢丝网重量 (kg/m²)

A——钢丝网水泥用钢量 (kg/m³)

h——钢丝网水泥厚度 (mm)

δ——钢丝网保护层厚度 (mm)

k——由于网层重叠而变薄的系数。

2~3层网 k = 1; 4层网以上 k = 0.75。

2) 钢丝弹性模量提高系数 K

$$K = 1.0 + 0.9(\beta - 200) \times 10^{-3} \quad (2-3)$$

3) 初裂延伸值 ε_{TP}

$$\varepsilon_{TP} = [0.6 + (\beta - 200)^2 \times 10^{-5}] \times 10^{-3} R_P \quad (2-4)$$

式中: R_P——砂浆抗拉强度。(kg/cm²)由公式(1-3)求得。

4) 系数 ζ、η 的确定

出现裂缝后, 砂浆面积折减系数

$$\zeta = 1.0 - 20(a_T - 0.01)^2 \quad (2-5)$$

出现裂缝后, 裂缝对配筋系数的折减系数

$$\eta = 1.0 + 20(a_T - 0.01) \quad (2-6)$$

当 a_T = 0.01 时 ζ = 1.0 η = 1.0

当 a_T = 0.05 时 ζ = 0.97 η = 1.8

5) a_T = 0.05mm 时的延伸值 ε_{0.05}

* 编者注: β值的计算, 在高含钢量公式和低含钢量公式中, 应有所区别, 在高含钢量公式中应扣去全部细钢筋的直径, 而低含钢量公式中仅扣去受力方向细钢筋 (见表(2-3))。目前有些单位在计算β值时因不注意而搞混淆了, 对计算结果出入很大。

$$\begin{aligned}\varepsilon_{0.05} &= [0.6 + \eta(\beta - 200)^2 \times 10^{-5}] \times 10^{-5} \times \bar{R}_P \\ &= [0.6 + 1.8(\beta - 200)^2 \times 10^{-5}] \times 10^{-5} \times R_P\end{aligned}\quad (2-7)$$

2. 普通钢丝网水泥受拉、受弯计算（纯网公式）：

（1）中心受拉计算：

1）按阶段 I 计算

承载能力

$$N_Y = R_P F_P + K E_{s1} \varepsilon_y F_{s1} \quad (2-8)$$

强度

$$\sigma_y = \left(\frac{F_0 - F_{s1}}{F_0} \right) R_P + \frac{F_{s1}}{F_0} K E_{s1} \varepsilon_y = (1 - \mu_1) R_P + \mu_1 K E_{s1} \varepsilon_y \quad (2-9)$$

2）按阶段 II 计算

承载能力

$$N_{TP} = R_P F_P + K E_{s1} \varepsilon_{TP} F_{s1} \quad (2-10)$$

强度

$$\sigma_{TP} = (1 - \mu_1) R_P + K E_{s1} \varepsilon_{TP} \mu_1 \quad (2-11)$$

3）按阶段 III 计算

承载能力

$$N_{0.05} = 0.97 R_P F_P + (K - 1) E_{s1} \varepsilon_{TP} F_{s1} + E_{s1} \varepsilon_{0.05} F_{s1} \quad (2-12)$$

强度

$$\sigma_{0.05} = 0.97 R_P (1 - \mu_1) + (K - 1) E_{s1} \varepsilon_{TP} \mu_1 + E_{s1} \varepsilon_{0.05} \mu_1 \quad (2-13)$$

式中：\$F_0\$——钢丝网水泥受力断面总面积(\$cm^2\$)

\$F_P\$、\$F_{s1}\$——分别为砂浆和钢丝网断面积(\$cm^2\$)

\$\varepsilon_y = 2.0 \times 10^{-4}\$——弹性阶段延伸值

\$E_{s1}\$——网丝弹性模量(\$kg/cm^2\$)

$$\mu_1 = \frac{F_{s1}}{F_0} = \frac{n_1 n b f_s}{b h \times 100} = \frac{n_1 n f_s}{h \times 100}$$

\$\mu_1\$——钢丝网配筋率。

\$n_1\$——钢丝网层数。

\$n\$——每米宽钢丝网中钢丝的根数。

\$f_s\$——单根钢丝面积(\$cm^2\$)

\$b\$——钢丝网水泥构件宽度(\$cm\$)

\$R_P\$、\$K\$、\$\varepsilon_{TP}\$、\$\varepsilon_{0.05}\$见(2-3)~(2-7)

（2）受弯计算：

受弯计算根据下列原则进行

1）截面受力后仍保持了平面。

2）按阶段 I 计算，钢丝网水泥完全处于弹性工作状态。受拉受压区应力图形均为三角形，且变形特征基本相同，按匀质弹性材料计算。（见图 2-1）

3）按阶段 II、III 计算，受拉区处于弹塑性工作阶段，近似的认为受拉区应力图形为矩形。阶段 II、III 受压区，仍基本处于弹性工作阶段，应力图近似的认为按三角形分布。（见图 2-2）