

· 地基与基础 ·



PHC 管桩力学性能的中英标准对比

张 洁

(中交第三航务工程局有限公司, 上海 200032)

摘要: 针对东南亚地区采用中国标准的 PHC 管桩与英标的对接问题, 基于英标对混凝土结构的一般规定, 确定了英标应用于 PHC 管桩力学性能计算的方法, 计算项目包括: 材料强度、预应力损失、轴向允许最大工作压力、抗剪承载力、抗裂弯矩、极限弯矩, 并将这些力学指标与我国常用标准的计算结果进行对比。对比结果表明: 英标计算结果总预应力损失、有效预压应力接近; 轴向允许最大工作压力偏小; 抗剪承载力设计值、抗裂弯矩和极限弯矩设计值偏大。结果为海外工程中 PHC 管桩标准的使用提供了参考。

关键词: PHC 管桩; 力学性能; 英标

中图分类号: TU 378; U 65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)04-0180-07

Comparison between Chinese and British standards on mechanical properties of PHC pipe pile

ZHANG Jie

(CCCC Third Harbor Engineering Co. Ltd, Shanghai 200032, China)

Abstract: Aiming at the problem that PHC pile fabricated by Chinese standard should be expressed by British Standard in Southeast Asia, based on general rules on a concrete structure in British standard, mechanical property calculation method of PHC pile in British standard is founded. The mechanical properties include material strength, prestress loss, axial allowable maximum working force, shear capacity, cracking bending moment, and ultimate bending moment, and these items are compared with the corresponding results in Chinese standards. The comparison shows that the British standard result is close in total prestress loss and effective stress in concrete, smaller in the allowable maximum working force, and larger in shear capacity, cracking bending moment, and ultimate bending moment. The result has provided reference to the application of PHC pile standards in the overseas areas.

Keywords: PHC pipe pile; mechanical property; British standard

PHC 管桩在我国水运工程中应用广泛, 近年随着海外市场的拓展, 国产 PHC 管桩也迎来了海外市场巨大的机遇。但是在海外工程中, 应当地法律法规、设计惯例和业主要求, 往往需要用国外标准进行设计施工, 这就需要对我方提供的产品进行外标计算, 使之能够在同一体系下进行设计, 并与国外产品进行参照, 而外标与国标的差异较大, 这就造成了在对标上的困难, 因此了解国外标准对 PHC 管桩的计算方法是十分必要的。对于东南亚地区的管

桩厂家, 在计算管桩参数时参考规范包括当地规范、美标、英标、欧标、日标, 英标是被接受的一种标准, 但是该标准并没有完全针对预应力混凝土管桩的规定, 管桩厂家在计算部分指标时, 常参考其他标准或者简化经验算法, 比如极限弯矩计算常参考美国的简化经验算法。

根据英标 BS8110^[1-2]、BS4486^[3]、BS8004^[4] 等, 确定了其应用于 PHC 管桩时, 材料强度、张拉控制应力、预应力损失、轴向允许压力、抗剪承载力、

收稿日期: 2020-07-16

作者简介: 张洁(1988—), 男, 硕士, 工程师, 从事岩土工程和水运工程结构研究。

抗裂弯矩、极限弯矩等关键力学指标的分析方法，并和我国常用标准(简称“国标”)进行了对比。国标中力学性能计算可参考 GB 13476—2009《先张法预应力混凝土管桩》^[5]、JTS 1515—2011《水运工程混凝土结构设计规范》^[6]、10G409《预应力混凝土管桩》^[7]、JGJ/T 406—2017《预应力混凝土管桩技术标准》^[8]、JTS 167-8—2013《水运工程先张法预应力高强混凝土管桩设计与施工规程》^[9]，材料方面参考 JC/T 540—2006《混凝土制品用冷拔低碳钢丝》^[10]、JGJ 19-2010《冷拔低碳钢丝应用技术规程》^[11]。

表 1 承载力极限状态下的材料分项系数

项目	钢筋(包含预应力钢筋)	受弯或受压混凝土	无抗剪筋下的抗剪强度	粘结强度	其他
分项系数	1.05	1.5	1.25	1.4	≥1.5

在承载力极限状态下，BS8110 Part1-2. 5. 3 中还规定混凝土强度应力-应变曲线应按其规范图 2. 1(图 1)进行设计。在 BS8110 Part2-2. 3. 2. 2 中也规定，混凝土应力-应变关系在没有试验数据的情况下，对临界截面和非临界截面都可取 Part1 的图 2. 1 作为设计参考。而在 BS8110 Part1 的图 2. 1 中，混凝土的设计抗压强度相当于 0.67 倍的混凝土特征强度/材料强度分项系数，其中的 0.67 按图注是考虑了立方体试件强度与实际受弯构件强度差异的尺寸转换系数，而不是分项系数的概念。则英标的承载力极限状态下的混凝土抗压强度设计值可表示为：

$$f_{cd} = \frac{0.67f_{cu,k}}{\gamma_m}$$

(1)

式中： $f_{cu,k}$ 为混凝土 28 d 立方体抗压强度，也即混凝土抗压强度特征值； γ_m 为材料分项系数。以 C80 混凝土为例，按式(1)计算为 35.7 MPa，相比 JTS 1515—2011《水运工程混凝土结构设计规范》表 4. 1. 4 规定的轴心抗压强度设计值 35.9 MPa 低了 0.5%，两者接近。BS8110 Part1 标准上未有承载力极限状态的抗拉强度规定，而对正常使用极限状态下的抗拉强度作了规定。

1 材料

1.1 混凝土

BS8110 为英国标准协会(BSI)制定的关于混凝土结构一般规定的主要规范，被东南亚管桩厂家广为采用，由 BS8110 Part1-2. 4. 2 可知，英标的混凝土强度特征值同样采用边长为 150 mm 立方体试块抗压强度，C80 等级即表示 28 d 抗压强度特征值为 80 MPa。当用于设计时须除以材料强度的分项系数，承载能力极限状态下的材料分项系数按 BS8110 的 2. 4. 4. 1 规定，见表 1。

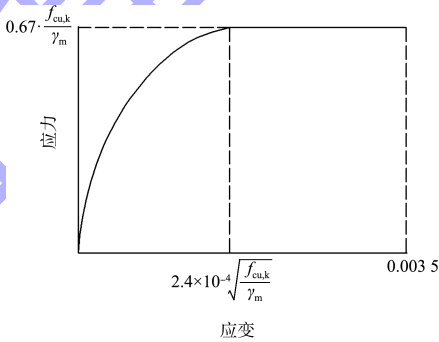


图 1 BS8110 混凝土应力-应变设计曲线

在正常使用极限状态下，BS8110 Part1-4. 1. 3 将受弯状态下的允许弯拉应力分为 3 个级别，分别为：等级 1，不出现弯拉应力；等级 2，有弯拉应力，但无可见裂缝；等级 3，有弯拉应力，但是极端环境下的构件表面裂缝不超过 0.1 mm，其他环境条件下的构件表面裂缝不超过 0.2 mm。BS8110 Part1-2. 4. 6. 2 规定 2 级受弯状态下抗拉强度的计算材料分项系数取 1.3，BS8110 Part1-4. 3. 4. 3 规定先张法梁在 2 级受弯状态下的抗拉强度设计值为式(2)，BS8110 Part1-4. 3. 8. 4 规定抗剪状态下抗拉强度设计值为式(3)。

$$f_{tb} = 0.45\sqrt{f_{cu,k}}$$

(2)

$$f_{ts} = 0.24\sqrt{f_{cu,k}}$$

(3)

式中： f_{ib} 为 2 级抗弯状态下的抗拉强度设计值，可用于计算抗裂弯矩； f_{is} 为抗剪强度设计值，可用于计算抗剪承载力； $f_{cu,k}$ 为混凝土抗压强度特征值。按 BS8110 Part1 第 4 章规定，式(2)、(3)已经考虑了材料分项系数。

对于弹性模量，BS8110 Part2-3.5 规定对正常密度的混凝土短期弹性模量可以用估计式表达其平均值，也可以用试验获得，估计式在实际设计阶段存在一定变动。估计式为：

$$E_{e,28} = K_0 + 0.2f_{cu,28} \tag{4}$$

式中： $E_{e,28}$ 为混凝土 28 d 期的弹性模量； $f_{cu,28}$ 为混凝土 28 d 期的立方体抗压强度； K_0 为常数，对正常密度混凝土一般取 20 MPa，设计时考虑在 14~26 MPa 变动。对于 C80 混凝土，式(4)估计的弹性模量平均值为 36 MPa，实际设计使用弹性模量在 30~42 MPa 变动。

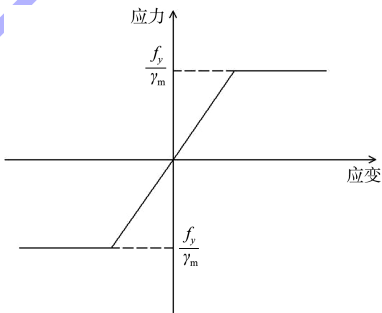
1.2 钢筋

根据 BS8110 Part1-2.5.3 规定，给出的普通钢筋的应力-应变设计曲线见图 2a)，为线弹塑性曲线，最大抗拉抗压强度为钢筋的极限抗拉强度与材料分项系数的比值；给出的预应力筋应力-应变设计曲线见图 2b)，也为线弹塑性曲线，但多考虑了一段屈服阶段，其中屈服阶段下限值为 0.8 倍极限抗拉强度与材料分项系数的比值。对于 PHC 管桩来说，主筋一般为预应力钢棒，按照 BS4486：1980 表 1 对热轧或热轧并处理的高抗拉强度合金钢筋的规定，可知钢棒的特征强度主要考虑两个，分别为拉断荷载对应的特征强度和残余伸长应变为 0.1%的安全荷载对应的特征强度，前者相当于极限抗拉强度，后者相当于开始发生变形的屈服强度。对于钢棒，根据图 2 和 BS4486 的表 1，钢棒安全荷载约为拉断荷载的 80%，因此对应的屈服强度设计值为安全荷载对应的特征强度与材料分项系数的比值，类似 JTS 1515—2011《水运工程混凝土结构设计规范》条文 4.2.3 规定的条件屈服强度，也即国标的钢棒抗拉强度设计值。

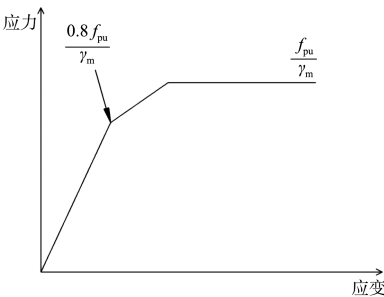
对于弹性模量，BS8110 Part1-2.5.3、2.5.4 规定，在承载能力极限状态下可按应力-应变曲线的初

始斜率取值，在正常使用极限状态下可取 200 GPa。

根据 BS8110 Part1-3.1.7.4 规定，在设计时可以按照需要取适当的特征值或更低的数值作为设计值，可以减少挠度和控制开裂。对于预应力筋，以 JTS 1515—2011《水运工程混凝土结构设计规范》表 4.2.3-2 中极限抗拉强度标准值为 1 420 MPa 的螺旋肋钢棒为例，国标设计值为 1 005 MPa，按照 BS8110 计算其安全荷载特征值对应的抗拉强度设计值为 1 420 MPa×0.8/1.05=1 082 MPa，英标结果高出 7.7%。对于非预应力筋，以 HRB400 热轧带肋钢筋为例，按 JTS 1515—2011《水运工程混凝土结构设计规范》表 4.2.2-1 和表 4.2.3-1 规定，其规范抗拉强度标准值采用下屈服强度为 400 MPa，对应抗拉强度设计值为 360 MPa，按照 BS8110 计算其抗拉强度为 400 MPa/1.05=381 MPa，英标结果高出 5.8%。



a) 普通钢筋



b) 预应力筋

注： f_y 为普通钢筋强度特征值，对应其屈服强度； f_{pu} 为预应力筋强度特征值，对应其极限抗拉强度；图中应变受拉为正。

图 2 BS 8110 应力应变设计曲线

2 力学性能指标

2.1 张拉控制应力

根据 BS8110 Part1-4.7.1，千斤顶张拉力不应

大于预应力筋特征强度的 75%，特殊情况下可增加到 80%。对 PHC 桩来说，初始张拉控制系数应按实际取值，同时满足限值要求。

2.2 预应力损失

2.2.1 混凝土弹性收缩引起的预应力损失

BS8110 Part1-4. 8. 3 对混凝土发生弹性收缩造成的预应力损失进行了规定：

$$\sigma_1 = n \cdot \frac{\sigma_{con} A_p}{A_t} = \sigma_{con} \cdot \frac{n A_p}{A + (n-1) A_p} = \sigma_{con} \cdot \frac{n A_p}{A_c + n A_p} \quad (5)$$

式中： σ_1 为混凝土弹性收缩引起的预应力损失； A_t 为管桩截面换算成混凝土的面积； A_p 为预应力筋面积； A_c 为混凝土面积； A 为环形截面积，即混凝土与预应力筋的横截面积之和； n 为预应力筋与混凝土的弹性模量之比； σ_{con} 为张拉控制应力。

2.2.2 混凝土收缩与徐变引起的预应力损失

BS8110 Part1 对混凝土的收缩与徐变影响分开考虑，Part1-4. 8. 4 节规定混凝土收缩应力损失计算，由混凝土收缩应变与钢筋的弹性模量的乘积得到。对于暴露于室外的构件，混凝土收缩应变取 100×10^{-6} ；对于暴露于室内的构件取 300×10^{-6} 。故混凝土收缩引起的预应力损失为：

$$\sigma_{2-1} = \delta_s E_p \quad (6)$$

式中： σ_{2-1} 为混凝土收缩引起的预应力损失； δ_s 为混凝土收缩率，取 1×10^{-4} ； E_p 为预应力筋弹性模量。

BS8110 Part1-4. 8. 5 规定了混凝土徐变引起应力损失为：

$$\sigma_{2-2} = \psi \sigma_1 \quad (7)$$

式中： σ_{2-2} 为混凝土徐变引起应力损失； ψ 为徐变系数，当施加预应力 3 d 时取 1.8，施加预应力 28 d 时取 1.4； σ_1 为混凝土弹性收缩引起的预应力损失。

2.2.3 钢筋松弛引起的预应力损失

根据 BS8110 的 4. 8. 2 规定，长期钢筋松弛应力损失通过松弛系数乘以 1 000 h 松弛值得到。对于先张法的钢棒，规范未给出松弛系数，参考国外厂家习惯，计算时直接取 1。根据 BS4486 《混

凝土预加应力用热轧和热轧并处理的高抗拉强度的合金钢筋规范》表 1 规定，当钢棒的初始张拉控制系数为 60%、70%、80% 时，1 000 h 松弛值分别为实际张拉强度的 1.5%、3.5%、6%。故该部分预应力损失为：

$$\sigma_3 = r_0 \sigma_{con} \quad (8)$$

式中： σ_3 为预应力筋松弛引起的预应力损失； r_0 为系数，取 3.5%； σ_{con} 为张拉控制应力。

2.2.4 有效预压应力

有效预压应力为扣除预应力损失后，由预应力筋收缩造成的混凝土上的压应力：

$$\sigma_{ce} = \frac{(\sigma_{con} - \sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3) A_p}{A_c} \quad (9)$$

式中： σ_{ce} 为混凝土有效预压应力； σ_1 为混凝土弹性收缩引起的预应力损失； σ_2 为混凝土收缩和徐变造成的预应力损失， $\sigma_2 = \sigma_{2-1} + \sigma_{2-2}$ ； σ_3 为预应力筋松弛引起的预应力损失； A_p 为预应力筋面积； A_c 为混凝土面积。

2.3 轴向允许最大工作压力

BS8110 Part1-4. 3. 4. 2 规定，在正常使用极限状态下，混凝土轴向受压时的抗压强度不得超过抗压强度特征值的 25%。在 BS 8004：1986 规范 7. 4. 3. 3. 1 中对预应力混凝土桩进行了直接规定，最大工作荷载引起的混凝土平均压应力不应超过试件 28 d 立方体抗压强度与预压应力之差的 25%。则轴向压力需满足式 (10)。

$$N_d = \varphi (f_{cu,k} - \sigma_{ce}) A \quad (10)$$

式中： N_d 为轴向允许最大工作压力； $f_{cu,k}$ 为混凝土抗压强度特征值，即立方体抗压强度； φ 为抗压折减系数，取 0.25。

2.4 抗剪承载力

在 BS8110 的 4. 3. 8. 3 节中对梁的抗剪承载力计算进行了规定，设纵向受拉最大钢筋附近的混凝土应力为零时的弯矩为 M_o ，即相应于国标中的 2 级控制等级下的抗裂弯矩，分别给出 $M < M_o$ 和 $M \geq M_o$ 时的计算式。对应国标混凝土出现开裂时的剪力 V_{co} ，应以处于弹性范围内 $M < M_o$ 时的抗剪

表达式为准，即：

$$V_{co}=0.67b_vh\sqrt{f_{ts}^2+0.8\sigma_{ce}f_{ts}} \tag{11}$$

式中： b_v 、 h 分别为矩形梁的宽度和高度，对于管桩可将两者乘积以环形截面积代替； f_{ts} 为混凝土抗剪状态下允许最大主拉应力，按式(3)取值； σ_{ce} 为横截面形心轴处混凝土的设计预压应力，可以由计算的有效预压应力代入。

在 BS8110 Part1-3. 4. 5. 6 中对弯起筋的抗剪承载力 V_b 作了规定，将规定近似应用于管桩箍筋：

$$V_b=A_{sb}(0.95f_{yv})(\cos \alpha+\sin \alpha \cot \beta)\frac{d-d'}{s_b} \tag{12}$$

式中： A_{sb} 为截面上箍筋面积； f_{yv} 为箍筋的特征强度，一般超过 460 MPa，可代入箍筋抗拉强度设计值； α 为箍筋与管桩纵轴线夹角； β 为根据拉压杆理论的混凝土受压柱与管桩纵轴线夹角，可近似取 45°； d 为有效高度； d' 为受压边缘混凝土至最近受压钢筋距离； $d-d'$ 可取管桩核心筒直径； s_b 为箍筋间距。

2.5 抗裂弯矩

根据 BS8110 的 4. 3. 4. 3 混凝土弯拉应力的规定，对于 2 级抗弯构件，先张法预应力构件的极限张拉应力式(2)代入，得到抗裂弯矩：

$$M_{cr}=\frac{2I_0}{d}(f_{tb}+\sigma_{ce}) \tag{13}$$

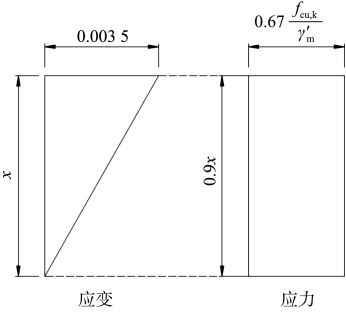
$$I_0=\pi(r_2^4-r_1^4)/4+(n-1)A_p r_p^2/2 \tag{14}$$

式中： M_{cr} 为抗裂弯矩； r_1 为管桩内径； r_2 为管桩外径； r_p 为预应力筋分布圆半径； A_p 为预应力筋面积； I_0 为换算截面惯性矩； f_{tb} 为抗弯状态开裂时最大张拉应力，按式(2)计算的抗拉强度设计值代入； n 为预应力筋与混凝土的弹性模量之比。

2.6 极限弯矩

BS8110 Part1-4. 3. 7. 1 对承载力极限状态假设有：1) 平截面假定，应变沿截面线性分布；2) 最外缘受压纤维混凝土压应变可取 0.003 5；3) 混凝土抗拉强度忽略不计；4) 预应力筋与周围混凝土协调变形。根据 BS8110 的图 3. 3，承载力极限状态下的简化应力块强度取英标的混凝土抗压强度设计值，应力块高度取 0.9 倍受压边缘

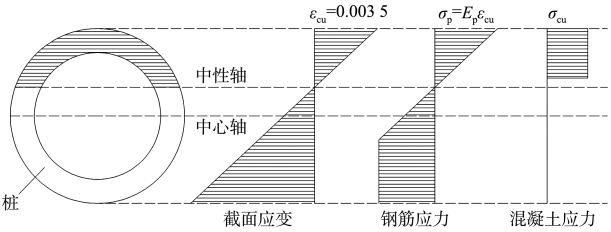
至中性轴距离(图 3)。



注： x 为受压区高度； $f_{cu,k}$ 为混凝土抗压强度特征值； γ_m 为材料分项系数。

图 3 BS8110 在承载力极限状态下的简化应力块

英标中缺少针对预应力管桩的规定，极限弯矩没有可直接利用的计算公式，故考虑按平截面假定和实际截面分布进行迭代计算。计算极限弯矩设计值时，预先假设环形截面上的受压面积与总面积的比值，则中性轴位置确定，令混凝土受压边缘达到极限压应变，此时受拉区预应力筋可能发生屈服，预应力筋拉压应力大小均不大于极限抗拉强度设计值，混凝土应力分布按图 4 矩形应力块简化，不计混凝土抗拉强度，相应的应力应变计算分布见图 4。将截面混凝土和预应力筋对中心轴取弯矩求和即为截面弯矩，截面合力为零时的弯矩即为极限弯矩，最终通过迭代可以求出截面受压面积比和极限弯矩。



注： ϵ_{cu} 为混凝土极限压应变； E_p 预应力筋弹性模量； σ_{cu} 为混凝土应力； σ_p 为预应力筋应力。

图 4 极限弯矩计算受力图示

3 计算对比

3.1 算例对比

为对比英标与国标的计算结果，取桩径 700~1 200 mm 的 PHC 桩型进行计算对比，桩型主要构造参数见表 2。箍筋采用冷拔低碳钢丝，各桩箍筋布置相同，冷拔后箍筋直径为 6 mm，箍筋计算间距取 80 mm，箍筋与管桩轴向夹角为 90°，箍筋极

限抗拉强度符合 JC/T 540—2006《混凝土制品用冷拔低碳钢丝》表 2 规定，箍筋设计强度符合 JGJ 19—2010《冷拔低碳钢丝应用技术规程》，其屈服强度参考巢斯等^[12]的试验研究，屈服强度按极限抗拉强度的 85% 保守考虑；钢棒张拉控制应力系数均取 0.7，弹性模量取 200 GPa；预应力筋放张时的混凝土弹性模量均取 33.5 GPa，混凝土达到设计强度时的弹性模量取 38 GPa；由于英标材料弹性模量定义与国标类似，故直接取相同值，也符合英标相应的设计要求。各桩型材料参数见表 3、4，其中混凝土和预应力主筋的国标参数符合 JTS 1515—2011《水运工程混凝土结构设计规范》表 4.1.4、表 4.1.5、表 4.2.3-2 和表 4.2.4 的规定。计算极限弯矩时，英标 BS8110 和 BS8449 中未有预应力筋抗压强度规定，预应力筋计算应力时可按图 5 所示的线弹塑性变化，直接通过应变计算获得，且不超过极限抗拉强度大小，故此处无需单独定义抗压强度设计值。

表 2 桩型构造参数					
编号	桩径/ mm	壁厚/ mm	钢棒直径/ mm	钢棒 数目	钢棒分布 圆直径/mm
700A	700	110	10.7	12	590
700AB	700	110	9.0	24	590
800A	800	110	10.7	15	690
800AB	800	110	12.6	15	690
1 000A	1 000	130	9.0	32	880
1 000AB	1 000	130	10.7	32	880
1 200A	1 200	150	10.7	30	1 060
1 200B	1 200	150	12.6	30	1 060

表 3 混凝土材料参数				
标准	立方体抗压强度/MPa	抗压强度设计值/MPa	抗裂受弯时的抗拉强度设计值/MPa	抗剪计算时的抗拉强度设计值/MPa
中国标准	80	35.9	2.22	2.22
英国标准	80	35.7	4.02	2.15

表 4 钢筋材料参数					
标准	预应力主筋钢棒			箍筋	
	极限抗拉强度/MPa	抗拉强度设计值/MPa	抗压强度设计值/MPa	极限抗拉强度/MPa	抗拉强度设计值/MPa
中国标准	1 420	1 005	400	550	320
英国标准	1 420	1 082	—	550	445

在使用国标计算时，预应力损失计算参考 GB 13476—2009《先张法预应力混凝土管桩》附录 D；轴向最大允许工作压力计算参考 10G409《预应力混凝土管桩》图集，抗压综合折减系数取 0.7，并将对应规范式(6.3.4-1)中的混凝土抗压强度设计值替换为混凝土抗压强度设计值与有效预压应力的差值，以便于比较；抗剪承载力的混凝土部分的抗剪承载力参考 10G409《预应力混凝土管桩》，箍筋部分的抗剪承载力参考 JGJ/T 406—2017《预应力混凝土管桩技术标准》；管桩抗裂弯矩与极限弯矩的计算参考 JTS 1515—2011《水运工程混凝土结构设计规范》，其中计算抗裂弯矩时不考虑管桩在水位区间变动影响，直接将对应规范式(6.3.1-2)中的抗拉强度用设计值代入得到式(18)，与 JTS 167-8—2013《水运工程先张法预应力高强混凝土管桩设计与施工规程》相符。

$$N_d = \psi_c (f_c - \sigma_{ce}) A$$

(15)

$$V = \frac{tI}{S_0} \sqrt{(\sigma_{ce} + 2\varphi_s f_t)^2 - \sigma_{ce}^2} + \frac{\pi}{2} f_{yv} A_{sv1} \frac{d}{s} \sin \alpha$$

(16)

$$I = \frac{\pi}{4} (r_2^4 - r_1^4)$$

(17)

$$M_{cr} = \frac{2I_0}{d} (\sigma_{ce} + \gamma f_t)$$

(18)

式中： N_d 为轴向允许最大工作压力； ψ_c 为考虑沉桩工艺影响及混凝土残留预压应力影响的综合折减系数，取 0.7； f_c 为混凝土抗压强度设计值； f_t 为混凝土抗拉强度设计值； σ_{ce} 为混凝土有效预压应力； A 为管桩截面面积； V 为抗剪承载力设计值； t 为管桩壁厚； I 为管桩截面对中心轴的惯性矩； f_{yv} 为箍筋抗拉强度设计值； A_{sv1} 为单肢箍筋面积； α 为箍筋与管桩纵轴线夹角； d 为管桩外径； s 为箍筋间距； M_{cr} 为抗裂弯矩； γ 为截面受拉区混凝土塑性影响系数，受弯状态下等价于抵抗矩塑性系数，按 JTS 1515—2011《水运工程混凝土结构设计规范》表 6.3.1-2 取值； I_0 为换算截面惯性矩，按式(14)取值。

表 5 为有效预压应力与轴向允许最大工作压力的对比结果，从表中可以看到，英标与国标有效预压应力结果相近，偏高 0.13%~0.2%，而轴

向允许最大工作压力由于英标抗压折减系数较小，故英标结果相对国标偏低 10.26%~13.98%。

表 5 混凝土有效预压应力与轴向允许最大工作压力结果对比

编号	混凝土有效		偏差 /%	轴向允许最大		偏差 /%
	预压应力/MPa			工作压力/kN		
	英标	国标		英标	国标	
700A	4. 61	4. 60	0. 20	3 843	4 467	-13. 98
700AB	6. 34	6. 33	0. 16	3 755	4 220	-11. 03
800A	4. 90	4. 89	0. 20	4 477	5 176	-13. 51
800AB	6. 59	6. 58	0. 15	4 376	4 895	-10. 59
1000A	4. 98	4. 97	0. 20	6 664	7 693	-13. 37
1000AB	6. 76	6. 75	0. 13	6 506	7 249	-10. 26
1200A	4. 74	4. 73	0. 20	9 310	10 797	-13. 77
1200B	6. 37	6. 36	0. 16	9 108	10 230	-10. 97

注：偏差=(英标结果-国标结果)/国标结果，下同。

表 6 为抗剪承载力的对比结果，英标结果相对国标偏高 45.96%~50.56%。

表 6 抗剪承载力设计值结果对比

编号	抗剪承载力/kN		偏差/%
	英标	国标	
700A	660	447	47.68
700AB	714	489	45.96
800A	783	526	48.91
800AB	844	573	47.27
1000A	1 127	752	49.91
1000AB	1 222	825	48.07
1200A	1 500	997	50.56
1200B	1 625	1 093	48.68

表 7 为抗裂弯矩与极限弯矩的对比结果，对于抗裂弯矩，英标结果相对国标偏高 13.82%~20.86%；对于极限弯矩，英标结果相对国标偏高 7.67%~13.99%。

表 7 抗裂弯矩和极限弯矩设计值对比

编号	抗裂弯矩/(kN·m)		偏差/%	极限弯矩/(kN·m)		偏差/%
	英标	国标		英标	国标	
700A	231	198	17.04	352	309	13.99
700AB	280	246	13.82	472	426	10.99
800A	332	282	17.73	499	450	10.95
800AB	399	348	14.50	657	604	8.76
1000A	634	532	19.12	947	860	10.10
1000AB	767	664	15.46	1 258	1 167	7.80
1200A	1 040	860	20.86	1 510	1 373	9.95
1200B	1 245	1 064	17.03	1 992	1 850	7.67

3.2 标准差异

混凝土强度方面，英标与国标都基于 150 mm

立方体抗压强度试验，国标以此推出轴心抗压、拉强度标准值，设计值在标准值的基础上按材料分项系数取 1.4 考虑，而英标直接以立方体抗压强度作为特征值，在此基础上得到设计值，不同极限状态和受力状态下要求的抗压、抗拉强度也不同，材料分项系数与国标不同；钢棒的屈服强度判定与国标接近，在以极限抗拉强度计算抗拉强度设计值时，使用的材料分项系数不同；预应力损失计算项目两者相同，混凝土弹性收缩造成的预应力损失计算相同，其余表达式和计算系数均不同；轴向允许最大工作压力方面，在正常使用极限状态下，英标考虑了预压应力损失，国标未体现，两者抗压强度折减系数也不同；抗剪承载力方面，从公式上分析，英标和国标均以最大主应力达到混凝土抗拉强度时的剪应力作为计算基准，国标直接以薄壁环形截面梁剪切公式出发进行推导，而英标是以矩形梁剪切公式出发推导，系数上存在差异；抗裂弯矩方面，对于 2 级抗弯构件，两者均以截面受拉侧最大弯拉应力克服预压应力和混凝土抗拉强度设计值作为开裂准则，英标直接定义开裂时的最大主拉应力作为抗拉强度设计值使用，而国标由于混凝土轴心抗拉强度设计值是定值，将抗拉强度乘以相应塑性系数来处理；极限弯矩方面，两者均遵守平截面假定，但混凝土极限压应变和简化矩形应力区高度系数取值都不同。

4 结论

- 1)英标计算预应力损失与国标考虑的影响因素相同，都包括了混凝土弹性变形、混凝土收缩与徐变、预应力筋松弛，两者总预应力损失值和对应的混凝土有效预压应力值接近。
- 2)英标计算轴向允许最大工作压力相对国标偏小，主要是因为英标正常使用极限状态下的混凝土允许抗压强度较小。
- 3)英标抗剪承载力、抗裂弯矩、极限弯矩均大于国标计算值，说明在这些关键力学指标上，国标设计值是相对偏安全的。