

預 應 力
鋼筋混凝土管的
製造和使用

煤 炭 工 業 出 版 社

1321

預应力鋼筋混凝土管的制造和使用

煤炭工业部技术司 京西矿务局支架厂

京西矿务局城子矿 北京市政工程局制管厂

預应力鋼筋混凝土高压管試制小組編

*

煤炭工业出版社出版(社址:北京东长安街煤炭工业部)

北京市書刊出版业营业許可証出字第 084 号

煤炭工业出版社印刷厂排印 内部发行

*

开本 787×1092 公厘 $\frac{1}{32}$ 印张 $1\frac{15}{16}$ 插頁12 字数32,000

1959年11月北京第1版 1959年11月北京第1次印刷

統一書号: 15035·985 册 01-3,000 册 定价: 0.33 元

前 言

为解决管材代用問題，本部于1959年6月在京西矿务局召开了預应力鋼筋混凝土管經驗交流會議。本書即会上交流的主要經驗之一，經整理編写而成。它根据京西矿务局支架厂的制造情况和城子矿209水采工作面的使用情况，对計算部分，鋼筋結構和离心速度及离心時間作了修改。同时，又增加了縱向預应力的計算和施工方法及其理論和实际效果，水养护的叙述，管道鋪設和水錘試驗，簡易纏絲机和水压泵构造等。

根据目前的初步驗算，預应力混凝土管的全部用鋼量只占同口径鋼管重量的30—40%，正因为它具有如此的技术經濟意义，因此很多单位都正在广泛地采用。

从經驗交流中可以看出，目前煤矿中生产預应力鋼筋混凝土管的現有技术水平，与我們实际要求还有一段距离，例如我們当前极需管子的耐压强度是50~60个气压，而現在制出的仅能达到30多个气压等等。因此，在推广过程中，要十分注意研究解决这些問題，使其不断提高，更趋完善。

煤炭工业部技术司

1959.8.

目 录

前言

一、概述.....	3
二、預应力鋼筋混凝土高压管的設計和主要数 据的計算.....	4
三、管芯的制造.....	12
四、施加預应力鋼絲.....	20
五、保护层及內压試驗.....	31
六、管子的結合和鋪設.....	36
七、技术經濟指标.....	40
八、結語.....	41
附录 I .纏絲机构造图	
附录 II .試压水泵构造图	

一、概 述

水力采煤是煤炭工业技术的主要发展方向之一，它将根本改变煤炭工业的技术面貌，把煤炭工业推向崭新的时期。水力采煤的管路一般都用无缝钢管，这种钢管目前还不可能充分供应，因此研究制造其他高压水管来代替无缝钢管就成为一个特殊重要的问题。根据这个要求，煤炭工业部技术司、京西矿务局城子矿、京西矿务局支架厂在北京市政工程局制管厂的帮助下，共同对预应力钢筋混凝土高压管进行了试制，由于煤炭工业部和京西矿务局的大力支持和城子矿党委的直接领导，经过几个月的努力，这一工作已获得了初步的进展，并且证明：在煤炭工业的现有条件下，生产和使用预应力钢筋混凝土高压管是可行的。

预加应力就是在管子未受工作压力以前，预先给管壁加以压应力，这种压应力足以抵消由工作压力所发生的中心拉应力，其简单道理正如木桶加箍一样。但由于混凝土的抗裂性与无渗透性都比较差，而对管子的致密性要求又比较严格，因此，为了达到管子抗裂与无渗透性能的要求，特别是在管壁很薄、含筋率又小的前提下，对预加应力的^{大小}、预加方法、混凝土配合比等，都是在制作过程中比较重要的问题。

预应力钢筋混凝土高压管有很多优点，根据制造和使用的实践，结合煤矿的具体情况，初步体会有以下几个方面：第一，耐压能力，破坏压力每平方厘米可达82公斤以

上，目前使用压力最高到33公斤。第二，用鋼量省，造价低。第三，对于侵蝕性的地下水有很强的抵抗能力，不致因生銹而增加管道水头損失，降低了电耗。第四，可作供水运煤、注砂、排水等高压管。第五，制造簡便，煤炭工业系統中現有的混凝土支架厂均有离心制管設備，在不增加設備的情况下，均可成批生产。第六，可就地取材制造，能减少运输費用。

目前这项工作还在繼續进行，保护层的制作及其性能的試驗，以及縱向应力的分析和研究，都有待于今后不断的努力，求得更好的解决。

二、預应力鋼筋混凝土高压管的設計和 主要数据的計算

設計要求

(1) 預应力鋼筋混凝土高压管，要求代替現在煤矿中使用的內径为150、210毫米的无縫鋼管，耐压性能（指工作压力）要求达到40~50个大气压以上，且能具有抗酸、防腐蝕的性能。

(2) 預应力鋼筋混凝土高压管要求代替現在煤矿中或使用的內径为178、210毫米的高炭鋼、鍍鉻鋼注砂管和水力运煤的无縫鋼管，并且可用在垂深300~400米的地点，且具有耐磨損的性能，具体要求是要通过20~30万立方米的稜角岩石和煤炭。

(3) 考虑到矿井中工作地点的空間限制，并为了移动

方便，管子不宜过长，管壁厚度不宜过大，以免增加重量。一般管长以3米为宜（煤矿中现有的制管离心设备均系3米）；管壁厚度视用途而定，注砂或水力运煤管建议采用30~40毫米，输水管建议采用25~30毫米。

（4）管子内径亦应视用途而定，特别是注砂管、水力运煤管，应充分考虑到注砂或运煤的能力以及砂子或煤炭的块度。根据目前矿井中所用管子的规格，注砂管以采用178毫米，水力运煤管以采用210毫米，输水管以采用150~210毫米为宜。

主要数据计算

环向预应力：预应力钢筋混凝土高压管的环向拉应力是由内压力和外部荷载产生的。输水、运煤、注砂管的管壁受压最大时是在管子堵塞和水流停止流动期间，因此，内压力产生各点相同的环向拉力，当管壁厚度相对地较内径为小时，可以视作中心受拉。外部荷载对于上、下水管道计有：土压力，地面活荷载，管自重，管内水重以及水锤作用条件下，有效水压引起的水压力。但因矿井铺设管道与市区不同（管子不埋设），故土压力及地面活荷载均不考虑。

设计环向预应力钢筋及管壁厚度时，主要为内压力及外压力（管自重和静水压力）产生的挠曲应力。但在不考虑土压力和活荷载的情况下，由外压力所产生的轴向力和剪应力，对管道影响甚微，故可不计。

（1）环向拉应力——按薄壁构件计算：

$$\therefore N_{TA} = Pr_o$$

$$\therefore \sigma = \frac{Pr_o}{d}$$

(2) 挠曲应力——管自重和液体静水压力产生的挠曲力矩，按克列因推荐的公式：(Г.К.克列因著“压力管道的安装与计算”)①

$$M_D = 0.123Gr.$$

$$M_{\kappa} = 0.123P_{\kappa}r.$$

式中 G ——管自重；

P_{κ} ——管中水重；

r ——管横截面的平均半径。

管壁最大弯矩 $M_{np} = M_D + M_{\kappa}$

按抗裂极限状态计算：

$$M_{np} = m_1 \cdot m_2 \cdot M_{TP}.$$

式中 M_{TP} ——管壁所能承受的开裂弯矩；

m_1 ——管的工作条件系数，取0.85；

m_2 ——构件在预制厂制造的工作系数，取1.10，

综合设计公式为：

$$M_{TP} = bh^2 R_p \left(0.29 + 0.17\mu_o \frac{\sigma_a TP}{R_p} \cdot 0.17N_{TP} \right)$$

如上述，可以得出预应力钢筋混凝土管开裂荷载由内压力和外压力两部分迭加而成。设计时按此两项确定所需

① 关于挠曲应力，主要是考虑到矿井中管道由于地鼓所产生的，这一点有不同意见：第一，如果产生挠曲应力，可在纵向预应力中考虑；第二，按上述经验公式计算，是否适当还须研究讨论。如不计算时，可按规范12条11式计算。

的鋼絲面积及控制应力 σ_{ak} ，在求得鋼絲面积及控制应力等条件后，即可按下式求出开裂压力 P_{tp} ，对管芯进行开裂試驗：

$$P_{tp} = \frac{R_p^n b \sigma + \left[\frac{\sigma_{ak}(1 + \eta\mu)}{1 + 0.5\eta\mu} - \sigma_{пот} + 300 \right] F_a}{rb}$$

式中 R_p^n ——管芯受拉时的混凝土标准抗拉强度，公斤/平方厘米；

b ——管段长度等于1厘米；

σ ——管壁厚度，厘米；

σ_{ak} ——控制的預应力值，公斤/平方厘米；

$\sigma_{пот}$ ——預应力損耗值，采用等于600公斤/平方厘米；

F_a ——管的一厘米长度上預应力螺旋鋼筋的面积，平方厘米；

η ——鋼与混凝土弹性模数的比值；

r ——管内面的半径，厘米；

μ ——鋼筋比。

为了說明設計程序，現將已使用的內径为150厘米的混凝土管举例計算如下：

管内径 D_0 ——150毫米；

管壁厚 d ——25毫米；

有效水压力 P ——40个大气压(即工作压力)；

管芯混凝土标号——400号；

預应力鋼絲的抗拉强度 σ_p ——7500公斤/平方厘米，

管底各項 M 分別計算如下:

靜水壓力:

$$\text{水重 } P_{\text{ж}} = \frac{\pi}{4} D^2 \times 100 \div 3.141 \times 0.075^2 \times 1000$$

$$\div 17 \text{ 公斤/米}$$

撓曲力矩(最大)

$$M_{\text{ж}} = 0.123 P_{\text{ж}} r \div 0.123 \times 17 \times 10 \div 21 \text{ 公斤-厘米}$$

管自重壓力:

$$\text{管重 } G = 2\pi r \cdot r_2 X d (\text{式中: } r_2 \text{——混凝土比重})$$

$$\div 2\pi \times 0.1 \times 2500 \times 0.0025 \div 6.28 \times 62.5 \div 40$$

$$\text{公斤/米}$$

(附註: 兩端鉄头未按比重計入, 環向鋼絲未計入其內)。

$$\text{撓曲力矩(最大) } M_D = 0.123 \times 40 \times 10 \div 49.2 \text{ 公斤-厘}$$

米。

$$\therefore \text{管壁最大彎矩 } M_{\text{np}} = M_{\text{ж}} + M_D$$

$$\div 21 + 49 \div 70 \text{ 公斤-厘米}$$

管壁所能承受的開裂彎矩

$$M_{\text{rp}} = \frac{M_{\text{np}}}{m_1 \cdot m_2} = \frac{70}{0.85 \times 1.1} \div 75 \text{ 公斤-厘米。}$$

水的內壓力:

工作壓力 = 40 個大氣壓。

$$P = 40 \times 1.5 = 60 \text{ 個大氣壓。}$$

$$\text{水压影响 } N_{\text{rp}} = P r_0 = 60 \times 7.5 \div 450 \text{ 公斤/平方厘米。}$$

單位長度 $b = 1$ 厘米。

$$\text{混凝土許可拉应力 } R_p = 12.5 \text{ 公斤/平方厘米。}$$

$$\sigma_{\text{анп}} = K_1 \cdot \sigma_{\text{а.к}} - \sigma_{\text{нот}}$$

即 $\sigma_{\text{анп}} = 0.9 \times 0.7 \times 5403 - 600 = 2800$ 公斤/平方厘米。

式中 $\sigma_{\text{анп}}$ ——鋼筋中(損失考慮在內)的預应力, 公斤/平方厘米;

K_1 ——鋼筋預应力均質系数取0.9;

$\sigma_{\text{а.к}}$ ——鋼筋受拉时的控制应力, 公斤/平方厘米;

$\sigma_{\text{нот}}$ ——預应力損耗值。

由綜合的設計公式, 預应力鋼絲百分比为:

$$\mu_c(\text{鋼筋比}) = \left(\frac{M_{\text{тп}}}{bh^2 R_p} - 0.29 + 0.17 \frac{N_{\text{тп}}}{bh R_p} \right) \frac{R_p}{0.17 \sigma_{\text{анп}}}$$

式中 h ——管壁厚 = 2.5 厘米;

b ——管长 = 1 厘米。

$$\therefore \mu_c = \left(\frac{75}{2.5^2 \times 12.5} - 0.29 + \right.$$

$$\left. 0.17 \frac{450}{2.5 - 12.5} \right) \frac{12.5}{0.17 \times 2800}$$

$$\div \frac{95149.625}{1162035} \div 0.081.$$

$$F_a = \mu_c \cdot b \cdot d$$

式中 F_a ——預应力螺旋鋼筋的面积, 平方厘米;

b ——管壁厚度, 厘米;

d ——管段长度采取等于 1 厘米;

$$\therefore F_a = 0.081 \times 2.5 = 0.21$$

鋼筋截面积采用 $F_a = 21$ 平方厘米/米。

采用拔后直径为3.2毫米，面积为8.04平方毫米的低炭冷拔鋼絲。

每米需115环，定螺距为9毫米。

檢驗管芯的内压力为：

$$P_{TP} = \frac{27 \times 2.5 \left[\frac{2800(1 + 6 \times 0.081)}{1 + 0.5 \times 6 \times 0.081} - 600 + 300 \right] 0.21}{7.5}$$

$$\div \frac{7122}{75} \div 95 \text{ 个大气压。}$$

附註：管芯混凝土受拉时的抗拉强度 R_p^H 采用如下：

$$R_p^H \div 27 \text{ 公斤/平方厘米。}$$

鋼与混凝土的弹性模数比值：

$$\eta = \frac{E_a}{E_c} = 6.$$

縱向預应力：

預应力鋼筋混凝土高压管，不論在环向或縱向都有很大的拉应力，为了防止管子在縱向发生裂縫，因此，对縱向应力也要作足够的分析。

根据煤矿鋪設管道的具体情况，縱向应力主要有两个来源：一、由于内压力产生的縱向收縮而发生的軸向拉应力；二、由于管道突然堵塞水流停止流动或其他原因发生水錘現象时，管道在弯曲或起伏不平地方所产生的軸向拉应力。关于温度应力，因为矿井中温度变化不大，影响很

小，故未考虑。

(1) 由于内压力产生的纵向收缩而产生的轴向拉应力。

管道受到内压力时，环向必然膨胀，纵向随之收缩，同时由于刚性接头管身不容易收缩，故受到的轴向拉应力为：

$$\sigma_{\text{H}} = \frac{p \cdot r}{d} \times \frac{1}{E} \cdot \mu \cdot E = \mu \frac{p \cdot r}{d}$$

式中 p ——单位内压力，取60个大气压；

d ——管壁厚度，取2.5厘米；

r ——管内半径，取7.5厘米；

μ ——波桑比（管长与管径比），取300 : 20；

E ——混凝土弹性模数。

$$\therefore \sigma_{\text{H}} = 0.067 \times \frac{7.5 \times 60}{2.5} \div 12 \text{ 公斤}$$

(2) 当管道突然堵塞，水流停止流动或其他原因发生水锤现象时，管道在拐弯或起伏不平地方受到冲击产生的轴向拉应力为：

$$\sigma W = \pi r^2 \times P$$

按内径150毫米，壁厚2.5毫米，耐压60公斤的输水管
计

$$\sigma W = 176 \times 60 \div 10560 \text{ 公斤}$$

管道纵向受到的总拉应力为：

$$\sigma_{\text{H}} + \sigma W = 10560 + 12 \div 10572 \text{ 公斤。}$$

管壁断面为137平方厘米，故管壁每平方厘米受到的

縱向拉应力为:

$$\frac{\sigma W + \sigma_n}{137} = \frac{10572}{137} = 77 \text{ 公斤/平方厘米.}$$

由于混凝土的抗拉强度极小（一般情况下，管道伸长度在0.01~0.02毫米时，即出現裂縫），为保証管道在縱向不致断裂，除鋪設过程中采取措施外，最有效的方法，即縱向未受拉力前，对每平方厘米管壁事先給以不小于77公斤的压应力。

三、管芯的制造

管芯系利用支架厂現有的离心机制造的。对于管芯，在技术要求上主要是强度高、抗滲性强。因此，在水泥标号、配合比及制造方法上，都与一般低压管子不同，特别是管芯在未加預应力以前，其耐压能力要在7个气压以上，同时要具有很強的耐磨性能，所以原材料的选用，內筋結構及混凝土配合比等都是极其重要的問題。

1. 內筋結構(图1)

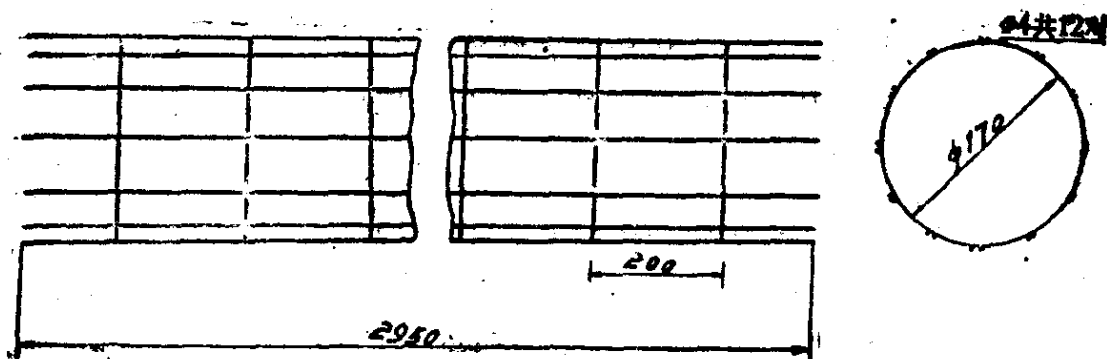


图 1 內筋結構图

管子抗弯能力及管子結合时的张力全靠縱筋承担，因此，抗弯、抗拉对縱筋的数量和强度都有重要的关系。

縱筋是放在管壁中間。对于运煤和注砂管子，由于內壁要經常受到磨損，因此縱筋可放在靠近管外壁的地方（即 $2/5$ 处），以增加內壁的磨損。管芯在制造前，先綁紮鋼筋骨架。骨架系由15个鋼絲圓环（內径按上述确定）和24根直径4毫米长度3米的縱筋（系低炭冷拔絲）組成的。鋼絲环間距按200毫米擺設，縱筋間距按圓周距52毫米成对擺設。鋼筋骨架綁好后，应在两端焊接鋼筒。鋼筒系用 10×100 毫米的扁鋼围成圓筒形（用鑄鋼件更好），其外径即是管子的外径。焊接时除对焊接質量要有严格要求外，并对张拉长度（指施加預应力）要有严格控制。鋼筒主要是解决管子的接头問題，但对解决张拉全部縱筋的預加应力的方法和管端的耐压能力，也起主要作用，因此，鋼筒的围接質量也要注意。

鋼筋規格和数量：

縱筋：4毫米直径的低炭冷拔絲24根，抗拉强度7500公斤/平方厘米，按圓周距52毫米成对布置。

圓环：4毫米直径的低炭冷拔絲围成，沿軸向等距离200毫米布置1个。

附註：圓环系起骨架的成型作用，对管芯的抗压强度和施加預应力等关系不大，故鋼絲質量要求并不严格，普通鉄絲即可，間距也可适当加大。

2. 原材料的选用

如上述，管芯在技术上的要求主要是强度高、耐磨

損、抗滲性能好。因此，混凝土的密度、配合比，特別是集料的选择都要經過严格的檢驗。制造中原材料采用如下：

(1) 水泥——系采用 500 号矽酸盐普通水泥，因这种水泥較矿渣水泥为細，在离心制造时对抗滲性能会起良好效果；但运煤或注沙管系分层制造，因之管内壁可采用 500 号水泥，外部采用 400 号的即可。为防止矿井中酸性水的侵蝕，因此建議采用火山灰水泥（即耐酸水泥），以延长管子的使用期限。

(2) 砂、石英、卵石——必須事先經過篩分，清除其中杂质和泥份。

制造时采用的砂、石英、印石的物理性能如表 1。

表 1

名 称	比 重	空隙率, %	粒 度 (毫米)	含土量 (%)	附 註
砂	2.55	44.3	< 1	1.36	卵石粒度可接不大于 于壁厚的 1/4 計
石 英	2.59	45.9	< 2	1.4	
卵 石	2.7	38.2	< 6	1.68	

(3) 配合比——运煤或注砂管的內壁要抗磨損，为节约石英和提高抗滲性能，故要分层浇制，內层(12.5毫米)用石英砂混凝土，外层(12.5毫米)加一般卵石等料即可。

內层重量配合比——水泥：砂：石英=1：0.4：1。

外层重量配合比——水泥：砂：卵石=1：1.1：0.9。

水灰比——0.4。

塌落度——7~9。

混凝土比重：2550公斤/立方米。

其中：管外层——水泥850公斤/立方米；

砂 935公斤/立方米；

卵石765公斤/立方米。

管内层——水泥1062公斤/立方米；

石英1062公斤/立方米；

砂 426公斤/立方米。

对于输水管的配合比，因为没有耐磨损的要求，故可将上述内层中石英的配比改为河砂即可。

(4) 钢屑混凝土——为了满足运煤或注砂管的抗磨性能，以前曾与北京制管厂合作，共同对钢屑混凝土作过研究，即用铸钢钼屑或宽度在1毫米以下的卷状钼屑，放置于3%的NaOH溶液中(30分钟)，或10%的普通碱溶液中(40分钟)搅动，清除油垢铁锈，用清水洗过，暴露于空气中4~6小时，以水泥：砂：钢屑=1：0.4：1的配合比制作芯管，但因在抗渗上未能取得预期效果，故未采用。不过，钢屑混凝土对抗磨性能会有良好成绩的，如果在配合比和处理方法上进一步研究，将大有采用的可能。

3. 离心浇制及养护

离心浇制管芯的最大优点是：增加管芯混凝土的密实度，对混凝土强度及抗渗性能都有可靠的保证，制造和使用过程中已充分证明了这个问题。目前管芯系分层制造的，即填料分作两次，每次各占管壁厚度的二分之一。第