

预应力钢筋混凝土管、预 应力钢筒混凝土管制造

陆传荪
编著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

预应力钢筋混凝土管、 预应力钢筒混凝土管制造

陆传荪 编著

中国水利水电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

预应力钢筋混凝土管、预应力钢筒混凝土管制造/陆传荪编著. —北京: 中国水利水电出版社, 1998

ISBN 7-80124-863-5

I. 预… II. 陆… III. ①预应力混凝土管: 钢筋混凝土管-生产工艺②钢筒-预应力混凝土管-生产工艺 IV. TU528.736

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 25201 号

书 名	预应力钢筋混凝土管、预应力钢筒 混凝土管制造
作 者	陆传荪 编著
出版、发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010)63202266(总机)、68331835(发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092 毫米 32 开本 4.25 印张 64 千字
版 次	1998 年 11 月第一版 1998 年 11 月北京第一次印刷
印 数	0001—1000 册
定 价	16.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

关系到国计民生的输水工程，已成为我国基础设施建设中的重要项目，对影响输水工程质量和造价的管材选取（材质、品种），已成为建设者们关注的课题。

几十年来，实践证明，预应力混凝土管具有耐腐蚀、省钢材、造价低、刚度大、不污染水质、抗地震性能强等优势，得到了迅速的发展。近几年来，集钢管与预应力混凝土管两者优点为一体的预应力钢筒混凝土管（PCCP）得到长足的发展。国外工业发达国家把这两种管材已广泛应用于重大的输水工程中，呈现一派方兴未艾的兴旺景象。

由于各设计、制造单位存在水平差距大，选取的工艺不尽合理，管材使用中出现各种质量问题，严重影响了这两种管材的推广使用。本人在开发、研制、应用该两种管材的亲身经历中学得了一些有关知识，实践中又获得启发，为进一步推广、普及、提高这两种管材的制造水平，特写此册。

本册第一部分是“预应力钢筋混凝土管制造”，第二部分是“预应力钢筒混凝土管制造”。

文中有错误之处请指正。

目 录

前 言

第一篇 预应力钢筋混凝土管制造

第一章 预应力钢筋混凝土管在国内外发展概况 2

1.1 预应力钢筋混凝土管在国外发展概况 2

1.2 预应力钢筋混凝土管在我国的推广和应用 4

1.3 预应力钢筋混凝土管的特点及优势 7

第二章 预应力钢筋混凝土管的结构设计 10

2.1 荷载 10

2.2 管体计算 13

2.3 构造要求 19

2.4 材料 20

2.5 其他有关计算 23

第三章 预应力钢筋混凝土管制造工艺

(三阶段工艺) 28

3.1 混凝土配合比的设计 29

3.2 成型工艺 32

3.3 施加预应力工艺 35

3.4 管体抗渗、接头密封、抗裂性能试验 44

3.5 水泥砂浆保护层的喷涂工艺	46
3.6 混凝土养护工艺	48
3.7 混凝土减水剂的应用	52
第四章 混凝土中钢筋锈蚀机理及防护	64
4.1 混凝土中钢筋锈蚀机理	64
4.2 对混凝土起侵蚀作用的介质和环境	66
4.3 防护措施	68
第五章 预应力钢筋混凝土管的安装	70
5.1 管道安装前的准备工作	71
5.2 土方开挖	74
5.3 管材运输、堆放, 现场检查、缺陷修补	76
5.4 管道安装	78
5.5 管线分段打压	79

第二篇 预应力钢筒混凝土管制造

第一章 设计原理及依据	84
1.1 设计条件	85
1.2 管壁内应力计算	85
1.3 内压产生的混凝土管壁内应力	89
1.4 死荷载产生的混凝土内应力	90
1.5 正常工作条件下的综合荷载设计	93
1.6 瞬态条件下的综合荷载设计	95
1.7 绘制荷载与内压关系图	96
第二章 有关国家和地区标准中主要指标对比	100

第三章 预应力钢筒混凝土管制造	104
3.1 工艺流程图	104
3.2 材料	105
3.3 钢筒体制作	106
3.4 管芯混凝土	107
3.5 成品管压力检验	109
3.6 管转角接头密封检验	111
第四章 管体裂缝问题探讨	112
第五章 管体腐蚀机理	118
附录	122
附录 1 管体设计中符号说明	122
附录 2 设计常数与限制	124

第一篇

预应力钢筋混凝土管制造

第一章 预应力钢筋混凝土管在 国内外发展概况

随着我国城市建设、基础工业建设、水利建设事业的高速发展,输水工程已成为重要的基础建设项目,国家为实施这些项目,动用大量的人力物力、投入巨额资金,因此决定工程造价、工程寿命、输水质量、抗地震能力等重要因素的输水管材的选定和应用,成了当务之急,又是百年大计的课题。根据国内外几十年的实践和发展趋势,提出一个既符合中国国情,又具有国际发展水平的答案,是本章的目的。

目前国内外用作输水的管材有:经过内外防腐处理的钢管、铸铁管、预应力钢筋混凝土管、预应力钢筒混凝土管、玻璃钢管、塑料管(临时供水用),农田水利工程中有时还用混凝土管。

1.1 预应力钢筋混凝土管 在国外发展概况

世界上工业化国家在大型输水工程中,除日本较

多采用钢管外（内外防腐的钢管），其他欧美各国均采用预应力钢筋混凝土管和预应力钢筒混凝土管作主要输水管材。

美国在 1957 年由 Ameron 公司为加利福尼亚南部输水工程制造安装直径 4 m 的预应力钢筋混凝土管；1975 年在亚利桑那州中部制造安装直径为 6.4 m 的预应力钢筒混凝土管；1980 年开始由美国 Price 公司提供装备为世界上最长的输水工程——利比亚输水工程供应直径 4 m、每段长 7.5 m 的预应力钢筒混凝土管（本人在 1993 年美国考察时，得知有三大公司在美国东、中、西地区制造该种管材）。法国是采用预应力钢筋混凝土管最早国家之一，在 1937 年，索塞阿—巴朗西公司（Socea Balency, Sobeas）就采用一阶段工艺在阿尔及利亚生产直径 0.8~1.6 m 预应力钢筋混凝土管，以后研制三阶段工艺生产该管型，并取名为索柯曼管（Socoman），其直径 0.5~4.0 m，此种管已在欧洲，南北非洲及拉美 14 个国家中广泛采用（三阶段工艺是在一阶段工艺的基础上发展、完善的。一阶段工艺生产线设计简单，生产效率高，但对管材质量的可控性及承插口的精度较差）。

澳大利亚罗克拉（Rocla）生产三阶段预应力钢筋混凝土管是举世闻名的，在世界上 26 个国家采用，在我国现已推广应用，最大管径 2.0 m，在工程中应用良好。

独联体各国生产预应力钢筋混凝土管产量很大，以离心法三阶段生产工艺较普遍，年产量（以混凝土量计）达 100 万 m^3 ，折合直径 0.6 m 管总长为 7000 km。

德国以地伟达 (Dywidag) 为代表的制管公司，以一阶段工艺生产直径 0.3~2.0 m 预应力管，采用三阶段工艺生产直径 2.0 m 以上的管。

瑞典的逊他布 (Sentab) 公司的普里莫 (Premo) 公司是著名的制管专业化公司，在荷兰、意大利、阿根廷、阿尔及利亚、罗马尼亚等国设工厂；在比利时、波兰、匈牙利、挪威、丹麦和非洲采用其技术，制造预应力钢筋混凝土管。

特别值得一提的是，国外在 20 世纪 70 年代开始，将预应力钢筋混凝土管应用到核电站的输水工程，如德国 Dywidag 公司为伊沙第二核电站、依卡核电站的二期工程制造、安装内径 4 m 的该种管材。

1.2 预应力钢筋混凝土管在我国的推广和应用

我国在 20 世纪 50 年代的输水工程中主要采用铸铁管和钢管。随着大规模经济建设的发展，60 年代开始，预应力钢筋混凝土管得到推广、应用。到 70 年代末，全国已建起专业化生产厂达 139 家，年产量达

3800 km, 大部分是直径 $\phi 1200$ mm 以下的管, 到 80 年代中期, 全国已使用预应力钢筋混凝土管 16000 km, 仅在北京、西安、武汉、大连等城市的输水工程中, 铺设该种管就达 500 km 以上。

80 年代开始, 随着全国基础设施建设的高速发展, 电厂、化工等基础工业供水需求量的大幅度增加, 预应力钢筋混凝土管的优越性也已被人们所进一步认识, 国内制造业已从以小直径管为主, 发展到大直径、大批量、大规模, 达国际先进技术水平的生产条件。现在除城市供水外, 在火电厂、石化厂、城市压力排污管等建设中也大量推广使用。

如沿海城市的海口、湛江、深圳, 福建的大澄、长乐、福清, 浙江的台州, 辽宁大连等城市的供水工程中。内地的长沙、淄博、包头、延安、鸡西、长春等城市的供水工程中都大量的采用了预应力钢筋混凝土管为输水管材。管材的直径一般在 0.6~2.0 m, 并向中径、大直径方向发展。

中国电力系统在总结经验的基础上提出了在电厂建设中为节约钢材, 提高输水管材的耐久性和抗震能力, 将推广应用预应力钢筋混凝土管。作为长期的技术政策, 在火电厂的循环水管、补给水管工程中一般不得采用钢管, 并在电力系统内部成立专业化公司, 引进了国外制管的先进技术装备。

从 1986 年起, 在新建的 30 多座大型火电厂中, 采

用了预应力钢筋混凝土管代替钢管作循环水管、补给水管的管材，节约了大量钢材，降低了工程造价。如我国目前装机单机容量最大的安徽平圩电厂、辽宁元宝山电厂、哈尔滨第三发电厂的循环水管采用了直径3 m的预应力混凝土管。又如秦皇岛热电厂、深圳妈湾电厂、厦门嵩屿电厂、海口马村电厂、浙江镇海电厂、上海石洞口电厂及金山电厂、安徽马鞍山电厂、湖南石门电厂、武汉阳逻电厂、河南南阳电厂、江苏射阳电厂、河北西柏坡电厂、衡水电厂、内蒙古包头达奇电厂、山西太原一热电厂五期、黑龙江鹤岗电厂、辽宁绥中电厂、沙岭电厂、江西九江二厂等也相应采用预应力钢筋混凝土管（直径在0.6~2.6 m之间）。

获得国家专利的预应力钢筋混凝土铸石复合管，已在秦皇岛电厂的排灰管工程中应用，效果显著，开辟了新的应用领域。

在石化厂的供水工程中，预应力钢筋混凝土管也得到了广泛的应用，如广州石化总厂、氮肥厂，岳阳化工厂、大庆石化总厂、茂名石化厂，沧洲化肥厂、吉林前郭炼油厂等。

在农田水利建设中，为长距离输水和节约水资源，已开始推广预应力钢筋混凝土管为输水管材，如湖南邵阳大圳灌渠、山西高水轮泵扬水管工程、西北的引黄工程中相继使用预应力钢筋混凝土管。

1.3 预应力钢筋混凝土管的特点及优势

预应力钢筋混凝土管在世界上被广泛推广应用,是由它的经济技术价值决定的。它与其他材质的管材相比,具有省钢材、造价低、耐腐蚀、寿命长、刚度好、抗地震性能强、不污染水质等显著优点。在同载荷、同直径的条件下,它比钢管节省钢材 60%~70%。因为输水管是不允许出现裂缝的抗渗结构,并要求在各种组合荷载下,管材具有足够的刚度,设计钢管管壁厚度时,在强度要求满足的情况下,为满足防腐要求规定,壁厚另增加 1~2 mm,在采用大直径管时,往往由于刚度需要必须增加壁厚或在环向增设加强板来解决,相应增加了用钢量。而预应力混凝土管其纵向、环向采用高强钢丝对混凝土施加预应力 [一般当采用强度 1570 MPa, 钢丝控制应力为 $(0.6\sim0.7) \times 1570$ mPa], 在规定的设计荷载下,混凝土的预压应力还未抵消,管壁不会出现裂缝;另外由于它的管壁厚度相当于钢管钢壁厚的 8 倍以上,其刚度不需另行加强。因此预应力钢筋混凝土管结构能充分利用钢材性能,可节约大量钢材。表 1.1 为预应力钢筋混凝土管与钢管耗钢量比较表。

我国是一个铁矿资源不多的国家,铁矿是不能再

生资源，所以节约钢材是当务之急，又是长远大计。

预应力钢筋混凝土管造价比钢管、玻璃钢管造价低 15%~20%。预应力钢筋混凝土管主要是高强钢丝、水泥、砂、石等组成，其材源丰富，除钢丝外，可就地取材，原材料的价格仅占总成本的 50%~55%，而钢管则占 75%~80%。现例举某工程 1996 年预应力钢筋混凝土管、钢管、玻璃钢管的造价表如表 1.2。

表 1.1 预应力钢筋混凝土管与钢管耗钢量比较表

管材直径 (mm)	每公里管材耗钢量 (t)			每公里管材 节钢量 (t) (与钢管比)
	预应力管	铸铁管	钢管	
φ400	14.2		77.70	63.5
φ600	21	226	148	127
φ800	35	350	197	162
φ1000	46	515	305	259
φ1200	55	680	365	310
φ1400	70		425	355
φ1800	84		464	380
φ2200	132		535	403
φ2600	169		698	529
φ3000	243		970	727

· 表 1.2 1996 年某工程预应力钢筋混凝土管、钢管、
玻璃钢管的造价表

管材直径 (mm)	预应力管 每公里造 价 (万元)	钢管每公 里造价 (万元)	管材直径 (mm)	预应力管 每公里造 价 (万元)	钢管每公 里造价 (万元)
φ1800	170	258	φ2400	310	361
φ2000	210	281	φ2600	370	410
φ2200	260	303	φ3000	450	543

注 φ1600 mm 的玻璃钢管每公里造价 160 万元。

预应力钢筋混凝土管比钢管使用寿命长 2~3 倍，前者使用寿命一般为 50~60 年，后者为 20 年。关于这方面的论著已有多篇，在这里举一实例说明。20 世纪 80 年代末，太原热电一厂五期扩建中，安装 φ2600 mm 预应力钢筋混凝土管时，碰到 50 年代中期建的 φ1800 mm 钢管（循环水管），发现该管表面锈蚀严重（锈蚀深度达 3~4mm），于是及时进行了更换，避免了一起重大事故。

由于预应力钢筋混凝土管采用的是承插式，胶圈密封柔性接头，具有较好的抗地震性能，如在我国辽宁海城地震灾害中，输水管中的铸铁管、钢管多处爆裂，铸铁管铅封接头拉开，钢管开焊及裂缝，唯承插式预应力钢筋混凝土管无断裂、渗漏。

第二章 预应力钢筋混凝土管的 结构设计

本章中重点是对三阶段工艺生产的预应力混凝土管结构设计进行论述,并结合施工、生产中的实践,对有的技术数据的取舍进行了调整。

计算的基本原则,按中国工程建设标准化协会“CECS16:90”设计规范执行。

2.1 荷 载

管道在运行中承受的荷载有管顶部覆土的竖向压力和侧向压力,管自重、管内水重、地面车辆或堆积荷载产生的竖向压力和侧向压力、地下水压力及管内水压力。

1. 管道上的覆土引起的竖向土压力:

$$G_1 = n_s \gamma_s D_1 H \quad (2.1)$$

式中: G_1 为竖向压力, kN/m ; D_1 为管外径, m ; γ_s 为土密度, kN/m^3 ; H 为管顶覆土高度, m ; n_s 为竖向土