

[苏] A. P. 弗列依谢斯特 等

917184

水电站钢管道

诸葛睿鉴 黄伟 译
周新民 校

水利电力出版社



水电站钢管道

[苏] A.P.弗列依谢斯特 等

诸葛睿鉴 黄伟 译

周新民 校

水利电力出版社

内 容 提 要

本书是苏联目前较新的钢管专门著作。它全面地阐述了水电站钢管的设计、研究、施工和运行等各方面的问题。包括设计原则、材料特性、管道受力分析、内、外压作用下管壳和刚性环的计算,以及支座、镇墩、岔管等附件设备的结构和计算,并介绍了管道的安装和运行的有关问题。本书比第二版(1973年)作了较多的修改和补充,反映了苏联大型水电站钢管道建设中的最新成就。可供水电站、水泵站以及其他引水、排水工程的钢管研究、设计、施工和运行人员使用。也可供高等学校和中等专业学校作教学参考书用。

СТАЛЬНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

А.Р.ФРЕЙЩИСТ,

ХОХАРИН, А.М., ШОР А.Х.

МОСКВА ЭНЕРГОИЗДАТ, 1982.

*

水电站钢管道

〔苏〕 А.Р.弗列依谢斯特 等

诸葛睿 黄伟 译

周新民 校

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 16.25印张 357千字

1990年3月第一版 1990年3月北京第一次印刷

印数0001—1220册 定价10.40元

ISBN 7-120-00587-1/TV·194

译 序

压力钢管是水电站水工建筑物的重要组成部分，是引水发电的必由之路。由于它承受着很高的内压，且接近主厂房，一旦发生事故，危害极大。我国建国近40年来，修建了大量的水电站。因而在压力钢管的设计、施工和运行方面积累了丰富的经验。但也有个别压力钢管在内压作用下爆破，在外压作用下失稳。为了总结经验，接受教训，我国水电部已颁布了《水电站压力钢管设计规范SD144-85》。在参加编写这本规范的过程中，我们收集到苏联出版的这本《水电站钢管道》。

苏联近年来，建设了不少巨型水电站压力钢管，如：罗贡水电站，装机容量360万kW，钢管直径 $D=8.0\sim 5.7\text{ m}$ ，内压 $H=320\sim 370\text{ m}$ 水柱， HD 达 2560 m^2 ；沙扬-舒申水电站，装机容量640万kW，钢管 $D=7.5\sim 6.5\text{ m}$ ， $H=270\text{ m}$ ， HD 达 1750 m^2 ；努列克水电站，装机容量270万kW，钢管 $D=6\text{ m}$ ， $H=381\text{ m}$ ， HD 达 2280 m^2 ；恰尔瓦克水电站，钢管 $D=9\text{ m}$ ， $H=190\text{ m}$ ， HD 达 1710 m^2 。本书正是在这些最新建设成就的基础上总结的经验。它对钢管的设计、研究、施工、运行作了全面的阐述，可以使我们了解苏联目前的水平。它比1973年的第二版，在材料、设计法规、直管、尤其是岔管的结构分析等方面，作了很大的改进和补充。与70年代苏联修订的设计规范：明管设计规范MY34-747-76、地下埋管设计规范CH238-73和回填管设计规范CTII34-02-73，其内容是相符的。此外，还吸收了一些欧美的有益资料。因

02

此成为编制我国钢管规范时的重要参考资料之一。

本书可供我国水电站、水泵站，以及其他引水、排水工程的钢管设计、研究、施工和运行人员使用，也可供高等学校和中等专业学校作教学参考书。

我们水平有限，谬误在所难免，敬请读者批评指正。

译者

前 言

压力钢管是水电站的主要建筑物。它有明管、回填管、地下埋管和混凝土体内的埋管等多种结构型式，为中、高水头水电站所广泛采用。在水泵站灌溉系统、给水工程、火电站技术供水系统，以及其他工业设施中也普遍使用。

本书上一版于1973年出版。此后，巨型、高压管道的设计和施工在理论和实践上，有了重大发展：对法兰接头、人孔、伸缩节、支承环、岔管、自由弯管应力应变状态的各种理论和实验研究，制订出用电子计算技术的现代计算方法，新设计规范付诸实施，改进了地下埋管的设计；新钢种在钢管制造上，也得到应用。

巨型现代水电站的修建（特别是在山区）和单个电站容量的增大，要求制造既能通过大流量，又能承受高内压的管道。这种管道结构，应具有很高的可靠性，生产组织和工艺要先进，以保证既有良好的质量，又有较高的劳动生产率。在管道设计和施工时，节约供不应求的厚钢板，特别是用高质量钢材轧成的钢板，是当务之急。

西伯利亚水电站和苏联欧洲部分建造的抽水蓄能电站上，广泛采用钢衬钢筋混凝土管道，中亚细亚和高加索山区的高水头发电和综合水力枢纽上，建造了少有的钢衬隧洞，直径达4~11m。

在努列克、沙姆勃、塔杰夫、英古尔、契尔克依、热斯克、萨扬—舒申水电站、共青灌溉系统、大斯达夫罗波里和莫布哈尔渠道等工程上，获得了新的、丰富的特大型管道

的设计和施工经验。在组装—焊接工作的机械化，特别是地下埋管的安装方面，推行了许多新方法，使用了新的高强钢种和高效焊接技术。由于兴建扎哥尔等抽水蓄能电站、罗贡水电站，对管道建设提出了新课题，对超运输限界管道制作的传统工艺方式，进行了重大改革。

上述变化使本书有必要进行较大的修改和补充。完全改写了回填管的荷载和强度计算，明管稳定计算，滚动支座、闷头、弯管几何尺寸的设计。按照现行规范，删除了管道部分充水计算。

第三章采用钢材和其他材料的现行标准，反映了高强钢的使用经验，补写了钢衬钢筋混凝土管道所用材料的资料。

由于建筑法规 СНиП《荷载与作用力》章的修改，本书第四章作了相应的更改。对管道设计时计算温度的选择，也作了明确的规定。

第五章根据现行设计规范，作了重大修改。§ 5.2 补充了把管道当作连续梁计算和母线转折处局部应力计算的资料。§ 5.4 首次详细分析了埋管能考虑岩石弹性抗力的条件。第五章中关于管道承受外压时管壳和环的稳定问题篇幅很大，所以把这部分独立为第六章。

第七章写进了辊轮支座计算的新方法。第八章载入了管道总尺寸和弯管安装角计算的新方法。

第九章“岔管”作了重大修改和扩充，反映了近数年间宁格勒和莫斯科水工钢结构设计院特种结构设计处的研究成果。因为岔管是管道所有构件中最复杂的构件，作者认为写一些关于岔管构造发展的历史评述是适宜的。

第十章对法兰接头和闷头，作了最重大的修改。

第十一章反映了大型管道，特别是地下埋管，制造、安

装和运行前水压试验的现代先进生产经验。阐明了排水、浇筑混凝土、灌浆等问题。

本书在反映苏联的管道设计和制作实践的同时，也反映了外国一些著名的工程公司获得的成就。书中还列举了明管和地下埋管的计算范例。

本书可供从事水电站和水泵站钢管道设计、研究、施工和运行的工程技术、科学工作者使用。也可供大学和中等技术学校有关专业学生作教学参考书使用，作者为此在书中写进了一些一般性知识。

对本书的意见和批评，请寄到动力出版社。地址：
113114 Москва М-114, Шлюзовая наб., 10.

阿·尔·弗列依谢斯特

阿·莫·索尔

主 要 符 号

- A ——平行管轴方向作用在管道上的力;
- b_K ——套管式伸缩节填料长度;
- c ——从材料基本强度换算到派生强度的换算系数;
- D_{κ} ——管道外径;
- D_0 ——管道内径;
- D ——管壳中面直径;
- D_1 ——套管式伸缩节内套管外径;
- D_2 ——套管式伸缩节内套管内径;
- E ——钢材弹性模量 (正变形);
- E_{σ} ——混凝土弹性模量;
- $E_{c\kappa}$ ——岩石的弹性模量;
- E_0 ——未破坏结构的填土土壤的弹性模量;
- F_0 ——相应于 D_0 的管子横截面积;
- $F_{\sigma\sigma}$ ——管壳横截面积;
- F_K ——刚性环、支承环横截面积;
- $F'_K \approx F_K$ ——刚性环、支承环横截面积 (包括环宽度范围内, 管壳的面积);
- F_K^{np} 、 J_K^{np} ——环的化引截面的面积和惯性矩 (考虑了与之相联的管壳翼缘);
- f ——管道与支墩或土壤的摩擦系数;
- f_{κ} ——套管式伸缩节中的摩擦系数;
- g ——自由落体加速度;
- g_{Tp} ——管道金属结构每米管长的重量;
- g_s ——每米管长的水重;
- g_{σ} ——每米管长的填土重;

H_p ——管道计算截面中心的设计(动水)压力(水柱);

H_{CT} ——管道计算截面中心的静水压力(水柱);

H_C ——地震附加压力(水柱);

$H_{исп}$ ——水压试验压力(水柱);

ΔH_y ——水锤引起的计算动水压力增值(水柱);

ΔH ——水头损失总和;

ΔH_{TP} ——摩擦水头损失;

ΔH_M ——局部水头损失;

k ——材料的安全系数;

k_n ——可靠性系数;

k_{Δ} ——弯管刚度系数;

K ——岩石弹性抗力系数;

K_0 ——岩石单位弹性抗力系数;

l ——刚性环间距;

L ——计算管段长度或自伸缩节至计算截面的距离;

L_n 、 L_e ——下游、上游管段内不变的支墩跨度;

m ——工作条件系数;

m_c ——组合系数;

M ——管道的弯矩;

M_n ——支承环中的弯矩;

M_ϕ ——管壳径线方向(纵向)截面上的弯矩;

n ——超载系数;

N ——管道的轴向力;

N_n ——支承环的轴向力;

N_p ——环中的拉力;

N_ϕ ——管壳径线方向(纵向)截面上的轴向力;

p ——管道轴线高程上的设计内水压力;
 p_0 ——管道顶部高程上的设计内水压力;
 p_n ——作用于管道上的设计外压力;
 p_{cx} ——地下埋管由岩体分担的内水压力;
 $p_{исп}$ ——水压试验时的内水压力;
 $p_{кр}$ ——管道临界外压力;
 p_r ——相应于管壳达到屈服点时的极限外压力;
 $p_x, 4p_x$ ——回填管上的水平土压力;
 $p_y, 4p_y$ ——回填管上的竖直土压力;
 q_{TP} ——每米管长管道金属结构重量产生的横向荷载;
 q_e ——每米管长满水重产生的横向荷载;
 Q ——垂直于管轴的作用力; 管道的剪力;
 r ——管壳中面半径;
 r_0 ——管壳的内半径;
 r_n ——管壳(钢衬)外半径;
 R_K ——刚性环、支承环形心半径;
 R ——材料设计强度;
 R^* ——材料标准强度;
 $\bar{R}$ ——把管道当作连续梁计算时的支座反力;
 s ——支座辊轮中心之间的距离;
 t ——计算温度;
 Δt ——计算温差;
 v ——管中水的流速;
 α ——管子横截面上各点的角坐标, 自管底起算;
 α_t ——钢材线膨胀系数;
 β ——圆锥壳轴线与母线的夹角;
 γ ——水的容重;

γ_0 ——管子材料的容重;

γ_{ck} ——回填土颗粒(骨架)的容重;

γ_s ——回填土的容重;

γ_{rp} ——岩石的容重;

(译注:上述这些“容重”,原文都是“比重”,但从后文看,都应是容重)。

δ ——管壳厚度;

Δ ——地下埋管管壳与周围介质之间的计算缝隙;

ε ——弯管全中心角;

ε_0 ——弯管筒节的斜切角;

θ ——管道横截面各点的角座标,自管顶起算;

μ ——钢材波桑系数;

μ_0 ——混凝土波桑系数;

μ_{ck} ——岩体波桑系数;

μ_0 ——未破坏结构的填土土壤的波桑系数;

ρ ——水的密度;

σ_T ——钢材屈服点;

σ_s ——钢材极限强度;

σ_x ——管壳的纵向应力;

σ_θ ——管壳的环向应力;

$\sigma_{\text{кот}}$ ——管壳的“锅炉”应力;

$\sigma_{\text{прив}}$ ——相当应力;

τ ——剪应力;

φ ——管轴倾角;

φ_0 ——回填土内摩擦角;

ψ_A, ψ_B ——弯管安装角;

ω_{ak} ——管道截面中被遮掩的面积。

目 录

前 言

主要符号

第一章 压力管道概论	1
1.1 压力管道的用途	1
1.2 管道类型	12
1.2.1 管道分类	12
1.2.2 明管	16
1.2.3 埋管	18
1.2.4 回填管	19
1.3 管壳	20
1.4 支墩和镇墩	25
1.5 岔管	35
1.6 其他构件	36
1.7 管道的闸阀	37
1.8 调压池	45
第二章 管道设计原则	50
2.1 管道设计特点	50
2.2 管道布置型式选择	51
2.3 管道线路	54
2.4 水力计算	58
2.4.1 管道的水头损失	58
2.4.2 水锤	61
2.5 设计方案的优选	65
2.6 钢管的试验研究	71

2.6.1	概述	71
2.6.2	模型试验	72
2.6.3	原型研究	76
第三章	材料和计算特性	81
3.1	钢材的基本特性	81
3.1.1	力学特性	81
3.1.2	工艺特性	84
3.1.3	化学成分	85
3.2.	结构用材料	87
3.2.1	管壳用厚钢板	87
3.2.2	钢筋	95
3.2.3	其他钢材和铸铁	96
3.2.4	焊接材料	97
3.2.5	混凝土和其他非金属材料	98
3.3	钢材的设计强度	100
第四章	管道上的荷载和作用力	104
4.1	荷载和作用力的分类和计算组合	104
4.2	确定管道上作用力的计算公式	107
4.2.1	分段式明管上的作用力	107
4.2.2	连续式明管上的作用力	116
4.2.3	管道上的其他作用力	121
4.2.4	回填式管道上的作用力	132
4.3.	水电站管道设计的典型计算情况	137
4.3.1	明管计算情况	137
4.3.2	回填管计算情况	138
4.3.3	埋管计算情况	140
第五章	内压作用下管壳和刚性环的计算	142
5.1	基本计算原则	142
5.2	明管强度计算	150

5.2.1	内压和水重引起的管壳应力·····	150
5.2.2	钢管自重引起的管壳应力·····	160
5.2.3	把管道当作连续梁计算·····	163
5.2.4	管道部分充水时的应力·····	169
5.2.5	内水压力作用下环旁管壳的应力·····	171
5.2.6	母线转折处的管壳应力·····	176
5.2.7	自由弯管(不埋入混凝土)的计算·····	182
5.3	回填管强度计算·····	183
5.3.1	管道的敷设条件·····	183
5.3.2	管壳和刚性环径向截面上的应力·····	184
5.3.3	管壳中的轴向应力·····	193
5.4	地下埋管强度计算·····	194
5.4.1	计算总则·····	194
5.4.2	由衬砌与岩石间的缝隙引起的管壳环向应力·····	199
5.4.3	缝隙闭合后的管壳环向应力·····	203
5.4.4	埋管考虑岩体抗力的计算条件·····	211
5.4.5	刚性环旁的局部应力·····	213
5.5	埋入混凝土体的管道的强度计算·····	214
5.6	钢衬钢筋混凝土管计算原则·····	218
第六章	外压作用下管壳和刚性环的计算·····	220
6.1	概述·····	220
6.2	明管的稳定性·····	228
6.3	回填管的稳定性·····	233
6.4	埋管的稳定性·····	234
第七章	支座·····	247
7.1	概述·····	247
7.2	支承环·····	250
7.3	支座·····	263

7.3.1	支座构造	263
7.3.2	支座零件计算	268
7.4	基础	273
第八章	镇墩	275
8.1	概述	275
8.2	管道的总体尺寸和弯管的安装角	279
8.3	计算图式和力的作用	288
第九章	岔管	292
9.1	岔管的构造	292
9.1.1	概述	292
9.1.2	外加强梁岔管	294
9.1.3	内加强肋岔管	297
9.1.4	带有球壳的岔管	301
9.1.5	外加箍的岔管	305
9.1.6	埋入岩体中的岔管	307
9.2	岔管几何尺寸	310
9.3	强度计算	322
9.3.1	工作条件	322
9.3.2	基本假定	323
9.3.3	管壳边界内力	332
9.3.4	加强梁框架计算	340
9.3.5	加强梁和管壳的应力状态	346
9.3.6	地下岔管撑杆的计算	352
9.4	试验研究	357
第十章	附件及其他设备	364
10.1	伸缩节	364
10.1.1	套管式温度伸缩节	364
10.1.2	温度-沉陷伸缩节和沉陷伸缩节	368

10.1.3 其他型式的伸缩节	372
10.2 人孔	375
10.3 法兰接头	382
10.4 闷头	388
10.5 进气和排气装置	397
10.6 放空管	406
10.7 保护水电站免受管道爆破影响的仪器	410
第十一章 钢管的制作和安装特性	419
11.1 概述	419
11.2 工厂制作的若干问题	420
11.2.1 管壳制作	420
11.2.2 刚性环和异形构件	426
11.3 运输和拼接	427
11.3.1 出厂单件和运输	427
11.3.2 拼装场	430
11.3.3 加固措施	433
11.4 在管线上安装管道	436
11.5 地下埋管安装特性	441
11.5.1 运输方式和管节安装	441
11.5.2 管外空间尺寸	443
11.5.3 混凝土浇筑、灌浆和封孔	447
11.6 交付使用前管道的水压试验	451
第十二章 管道运行中的若干问题	461
12.1 技术管理的一般问题	461
12.2 钢管防锈	466
12.3 对墩子位置的观测	472
12.4 管道的振动和防振措施	474
12.5 管道的冬季运行	476
附录	
参考文献目录	