

水电站机电设计手册

金属结构 (二)

水电站机电设计手册编写组

水利电力出版社

水电站机电设计手册

金 属 结 构 (二)

水电站机电设计手册编写组

水利电力出版社

水电站机电设计手册

金属结构(二)

《水电站机电设计手册》编写组

*

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 16开本 42.5印张 970千字
1988年12月第一版 1988年12月北京第一次印刷
印数0001—5440册 定价14.00元
ISBN 7-120-00374-7/TV·115

内 容 提 要

本手册根据水利水电工程的特点，系统地介绍了水工金属结构专业设计的内容、方法和技术资料，分两集编写。主要内容，第一集为水工金属结构的总体布置和型式，各种闸门的结构布置和计算、机械零部件和埋设件等；第二集为启闭机、压力钢管、拦污栅及其清理设备等的布置选型和设计方法。

手册给出了设计常用的计算数据、图表和曲线，并列举了工程实例或算例，可供查用或参考。

本手册是水利水电工程金属结构专业设计人员必备的工具书，也可供从事水工金属结构安装、运行、检修人员和大专院校有关专业的师生参考。

前 言

为适应我国水利水电建设事业发展的需要，我们组织有关设计单位，在总结经验并吸收新技术的基础上，共同编写了一套《水电站机电设计手册》，可供从事大中型水电站设计人员使用。

这套手册分为水力机械、电气一次、电气二次、金属结构、采暖通风、通信和常用材料共七册，主要介绍水电站机电方面各有关专业的设计原则和方法，设计方案的选择和选择，设备和构件的选择与计算，设计所需技术资料，以及一些典型示例等，基本上可满足初步设计和技术设计的需要。由于篇幅有限，文字力求简明，手册中对产品原理一般不介绍，计算公式不作推导。

本书为金属结构手册，共二十一章，分一、二两集。第一集主要内容为水工金属结构的总体布置，闸门分类，水力设计和计算，平面闸门，弧形闸门，人字闸门，其他闸阀，机械零部件及闸门埋设件等；第二集主要内容为水电站压力钢管的布置和计算，拦污栅及其清理设备，启闭机设计概述及其零部件，固定卷扬式启闭机，弧形闸门启闭机，门式、台车式启闭机，油压启闭机，螺杆式及其他类型启闭机等。

本书由水电部中南勘测设计院编写第一章第一、三节，第七、九章和第十章第一节；西北勘测设计院编写第一章第二节，第二、三、四章，第八章第一节和第十章第二节；华东勘测设计院编写第五、六章，第八章第二节，第十一、十二、十三、十四、十五章，第十八章第六节；昆明勘测设计院编写第十六章；天津勘测设计院编写第十七、十九章，第十八章第一～五节和第二十一章第一节；上海勘测设计院编写第二十章；北京勘测设计院编写第二十一章第二节；长江流域规划办公室编写第二十一章第三节。各单位的主要执笔人有：李毓芬、郑登有、赵凤祥、华岩、喻云安、庄文中、沈德民、金泰来、关文仁、杨国虎、平静、沈得胜、胡辛酉、余耀坤、韩长民、蒋正鸿、张培德、吴超、蒋正杰、徐文炎、张志宏、田泳源等同志。

本书初稿完成后，由李毓芬、庄文中、沈德民、郑登有、赵凤祥、喻云安、胡辛酉、韩长民、张敏德、李宗唐、诸成福、张培德、吴超、蒋正杰、张志宏等同志组成编审组，负责有关章节的审查、整编和修改等工作；梁其铮、赵果明、曹阜南、诸葛睿鉴等同志参加了部分章节的编审讨论。最后经李毓芬、沈德民、胡辛酉、诸成福、李宗唐五同志主审定稿，并由沈德民同志统稿。

在本书编写修改过程中，曾得到各单位的大力支持，并对书稿提出了许多宝贵意见，对此我们表示衷心的感谢。由于我们调查研究不够深入，经验不足，手册中缺点、错误之处在所难免，望广大读者批评指正，以利再版时修订。

水电部水利水电规划设计院

1987年8月

目 录

前 言

第十一章 压力钢管的布置与许用应力	1
第一节 钢管轴线的选定与结构布置	1
第二节 管轴线的几何尺寸确定	5
第三节 许用应力	16
第十二章 明管管体计算	24
第一节 荷载计算	24
第二节 管壁厚度的确定	34
第三节 管壁应力计算	40
第四节 在半充水状态的钢管强度校核	49
第五节 稳定计算	53
第六节 压力钢管的振动及防振措施	58
第七节 水压试验问题	61
第十三章 钢管附件的计算	63
第一节 支承环	63
第二节 支承结构	77
第三节 加劲环	86
第四节 进入孔	87
第五节 伸缩节	93
第六节 封头与进、排气阀	100
第七节 支墩与镇墩	110
第十四章 岔管及分支管计算	117
第一节 外加强梁的岔管计算	118
第二节 月牙形内加强肋岔管计算	146
第三节 其它型式的岔管计算	156
第四节 岔管的热处理	158
第十五章 钢管的展开计算	162
第一节 弯管的展开计算	162
第二节 岔管的展开计算	173
第三节 渐变管的展开计算	193
第十六章 拦污栅及其清理设备	200
第一节 拦污栅	200
第二节 拦污栅的清理及防冻	213
第十七章 启闭机的设计与通用部件	233

第一节	启闭机的类型和基本参数	233
第二节	启闭机的型式选择与设计原则的确定	238
第三节	常用数据表	246
第四节	启闭机的通用部件	248
第五节	常用零部件计算	357
第十八章	固定卷扬式启闭机与弧形门启闭机	373
第一节	固定卷扬式启闭机的组成与机构布置	373
第二节	滑轮组	376
第三节	驱动机构与部件选择计算	385
第四节	卷筒组	389
第五节	安全、行程装置和机架、基础荷载	397
第六节	弧形门启闭机的组成与型式	401
第十九章	门式与台车式启闭机	411
第一节	型式及选择原则	411
第二节	走行机构布置及基本计算	415
第三节	走行机构电动机、制动器的选择和抗滑计算	420
第四节	车轮组、夹轨器和缓冲器等部件的设计	424
第五节	门机上用回转吊车的设计计算	440
第六节	牵引小车的设计计算	448
第七节	车架设计计算	450
第八节	门架设计计算	455
第九节	主要附属设备设计	471
第十节	门机整体稳定性验算	486
第十一节	现有产品简介	488
第二十章	油压启闭机	518
第一节	油压启闭机的类型、使用范围及其总体布置	518
第二节	单吊点启闭机的典型液压回路	532
第三节	双吊点启闭机液压同步的参考回路	535
第四节	油缸设计	538
第五节	油泵及通用液压元件的选择	556
第六节	专用液压元件设计	570
第七节	油箱	580
第八节	管路及附件	583
第九节	液压油	609
第十节	机架、主令及指示装置	613
第十一节	国内水电站油压启闭机简介	622
第二十一章	其它类型的启闭机	628
第一节	螺杆启闭机	628
第二节	卷扬式快速闸门启闭机	653
第三节	人字闸门启闭机	665

第十一章

压力钢管的布置与许用应力

第一节 钢管轴线的选定与结构布置

一、钢管轴线的选定

水电站的发电引水道，在低水头的河床式水电站中，一般是直接将水引至水轮机蜗壳；在引水式水电站中，尤其是中、高水头水电站，则须使用引水管道。引水管道可由钢筋混凝土、木材、生铁、钢材等材料制成，通常使用钢材。本手册主要阐述以钢质、分段式明管为主的引水管道；即引水钢管藉伸缩节分成若干段，管内承受水压力，管壳外壁与天然空气接触。这种钢管有两种布置方式：一种是管壳为露天的，另一种是管壳架设在隧洞中，但不与洞壁接触，管壳与洞壁之间有一定间隙可供交通，管壳不直接受阳光、风雨的影响，犹如室内设备。前一种布置较常用而后一种布置用得不多，但两者在钢管本身结构设计上，没有显著差别。

为了进行压力钢管的总体布置与设计，金属结构专业人员须掌握以下资料：

- (1) 管轴线区域内的地形、地质、水文和气象资料；
- (2) 有关经济直径的资料；
- (3) 水库水位及水电站下游水位与高程、水轮机机组中心高程，各台机组间的中心距离和座标；
- (4) 管轴线的起点及各转折点的高程与座标；
- (5) 水轮机的调节保证计算或水锤计算，最大压力上升值与最大压力下降值；
- (6) 钢材供应情况、运输及可能制造厂的工艺情况；
- (7) 施工现场布置与可能安装场地的设施。

明管的布置受地形、地质、水文、气象、水能、水力机械、施工、钢管的制造与安装，运输，运行及检修等的影响，涉及多种专业，宜共同分析研究并比较，确定最优的钢管总体布置方案，即选定钢管轴线与根数和向水轮机的供水方式（即单机、单管供水，双机单管供水或多机一管供水方式）。使其在技术上先进而又经济、安全。

明管在施工，安装与运行期间应避免山崩、滑坡、涌泉地区，其基础应稳定，不应有随地下水位涨落而发生基础升降的情况，不宜有因冬季冰冻土质基础上升和夏季又出现沉降的现象。要避免雪崩的推撞和埋填或山洪冲击。

管轴线的坡度不宜过陡，一般应在 65° 以内。水平转弯也不宜过急，转角一般应小于 90° 。在与道路、高压输电线的交岔处所，须有对安装运行和检修的安全措施。在跨越溪沟时，可按管桥布置考虑。

管线不一定全部是露天的，视具体情况可与埋填管或隧洞相结合。

确定管轴线时，应考虑钢管发生事故须采取的紧急措施和防止事故扩大的可能设施。

二、结构布置

总体布置一经确定，即可沿管轴线作钢管本身结构的选定，一般考虑以下几个方面。

(一) 温度伸缩节

我国已建的压力钢管，大都使用了温度伸缩节。温度伸缩节设置在两个镇墩之间的直线管段上，一般安置在上镇墩的下方。由于在每两个镇墩之间的直线管段都设有温度伸缩节，所以这种布置的压力钢管称为分段式压力钢管。分段式压力钢管都有镇墩和中间支墩。在某种情况下，压力钢管不设置温度伸缩节，这种钢管称为连续式压力钢管。连续式压力钢管通常在管轴线转折处都设有镇墩，但中间支墩可以设置也可以不设置。50年代后期国外有些连续式压力钢管直接敷设在垫层上，减少镇墩的设置数量和不设置中间支墩。

温度伸缩节的作用是使钢管在温度变化时，沿管轴线方向可以有伸长或缩短的余地。因此，设置伸缩节的直线管段长度是有一定限制的。进行压力钢管的结构布置时，设置温度伸缩节的直线管段最大长度，应能保证钢管在轴线方向能够自由伸长或缩短的位移。这个最大长度可用下列公式确定。

$$L = \frac{\alpha E F_s (t_1 - t_2) - (A_1 + A_5 \pm A_7)}{a_1 + a_6 \pm a_8} \quad (11-1)$$

$$a_1 = \frac{A_1}{L_0}, \quad a_6 = \frac{A_6}{L_0}, \quad a_8 = \frac{A_8}{L_0}$$

式中

α ——管壁金属的线膨胀系数；

E ——管壁金属的弹性系数；

F_s ——管壁断面面积；

t_1 ——压力钢管伸长或缩短的起始温度；

t_2 ——安装时钢管合拢的温度；

A_1 、 A_4 、 A_5 、 A_6 、 A_7 、 A_8 ——作用于钢管上的外力，见表12-1；

L_0 ——从温度伸缩节到最末一个支墩的钢管段长度。

公式(11-1)使用的计算单位须一致，可以使用m，m²或cm，cm²。

当压力钢管两镇墩之间的直线管段长度超过了公式(11-1)的计算值时，应当对镇墩的位置进行适当的调整，对于水平的管段，或倾角 $\varphi \leq 15^\circ$ 的管段。可以采用将温度伸缩节设置于管段中部的办法来解决。当管段长度超过很多时，采用在管段中部增设一个镇墩的办法较合适。这样的镇墩可根据稳定计算的结果，做成开敞式或半开敞式的。

(二) 中间支墩及支承环

分段式压力钢管设置中间支承环，是为了保证当温度变化时钢管能够自由地伸长或缩短。同时由于钢管支承于支墩上，使钢管与地面保持一定距离；有利于钢管的维护、检修和安装。连续式压力钢管使用中间支墩时，因为没有轴向位移。主要是基于维护、检修和安装的考虑。

中间支墩及支承环的结构型式和布置，主要是决定于钢管直径的大小，地质条件的好

坏。中间支墩及支承环的结构型式可分为下列几种类型：

(1) 鞍型支墩 如图11-1所示，一般将支墩做成与钢管外壁成 120° 的包角，在钢管的外管壁与支墩接触的部位加焊一块加强板。为了保证钢管的轴向位移，在管壁与支墩之间加有垫层。由于这种支墩在钢管产生轴向位移时摩擦力较大，同时在支墩处的钢管承载能力有限。故一般用在直径较小的压力钢管上，当直径小于1000mm的钢管，可以采用鞍型支墩。

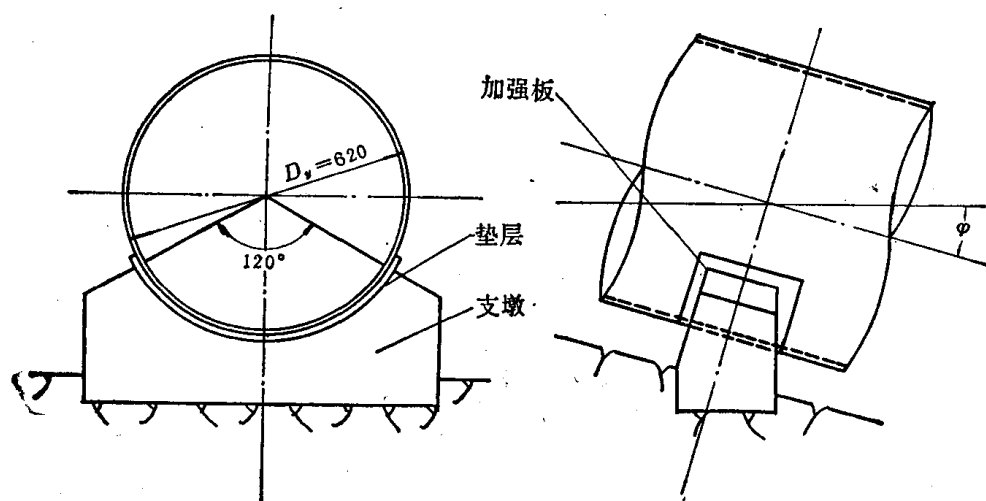


图 11-1 鞍型支座

(2) 滑动(支座)支墩 如图11-2所示，这是介于鞍型支墩与滚动(支座)支墩之间的一种结构，从支承的方式来说它是属于滑动摩擦的，但在钢管与支墩的支承构造上，为了克服鞍型支墩在支承处钢管的承载能力不足问题，设置了支承环，这与滚动支墩支承环的构造是相似的。由于在钢管产生轴向位移时，支承处摩擦阻力相当大。因此限制了这种支墩的使用范围，一般使用在直径1000mm左右的压力钢管上。

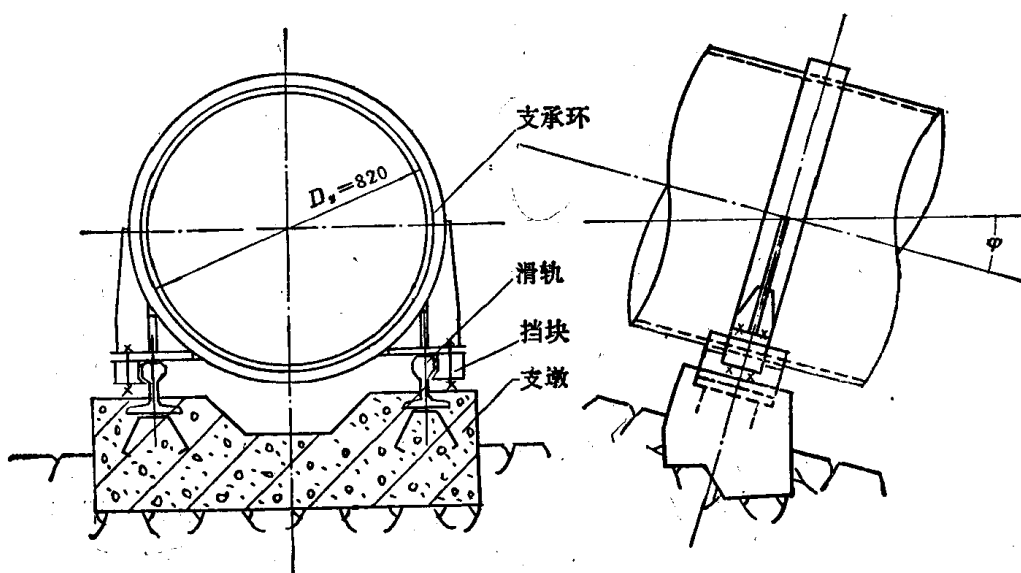


图 11-2 滑动支座

(3) 滚动或者摇动(支座)支墩 如图11-3、图11-4所示, 这是在滑动支墩的基础上为了克服摩擦阻力较大而提出的一种结构。即在钢管的支承环与支墩之间采用滚轮或摇臂, 使压力钢管在产生轴向位移时, 在支承处由滑动变为滚动, 从而大大减小了摩擦阻力。滚动支墩和摇臂支墩由于在钢管上设有支承环, 同时摩擦阻力也很小, 所以能用于大直径的压力钢管上。由于摩擦阻力减小对支墩的稳定也带来有利条件, 所以在小直径的压力钢管上也较普遍采用。

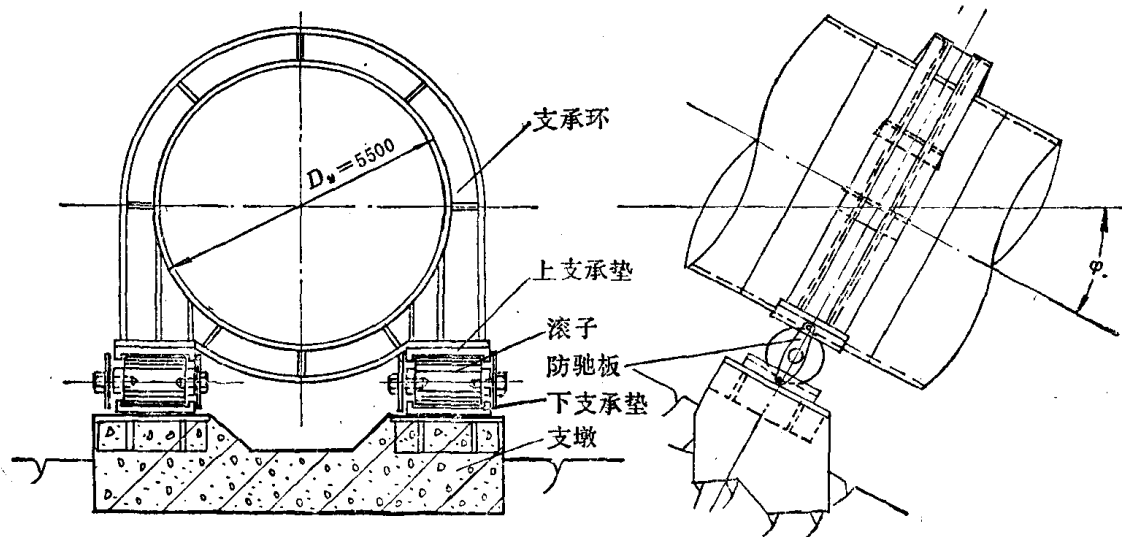


图 11-3 滚动支座

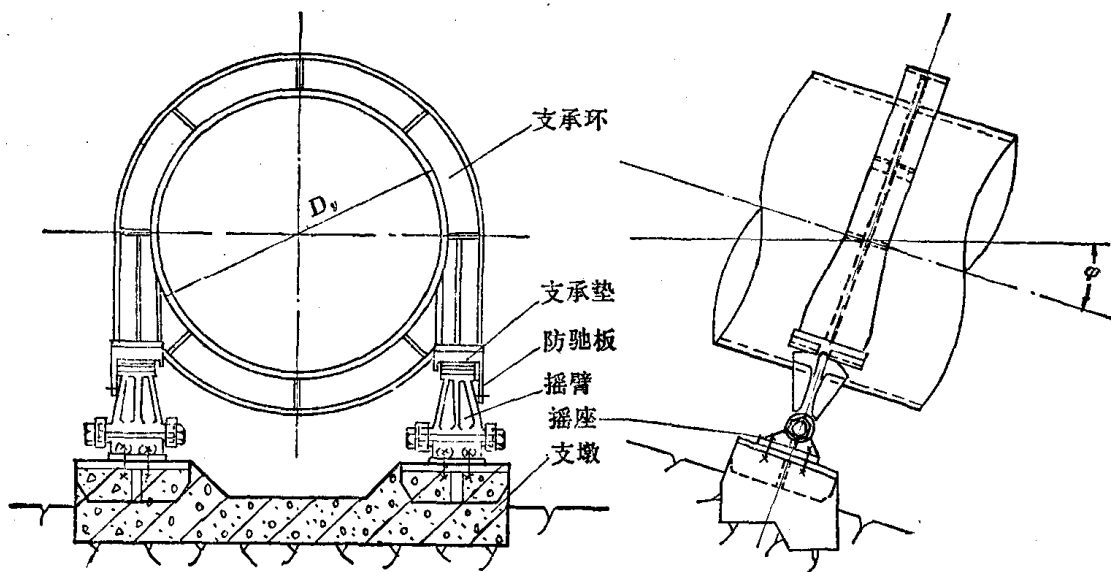


图 11-4 摇动支座

在压力钢管的结构布置上, 对中间支墩及支承环、除了结构型式的合理选用外, 对于支墩的间距亦应根据所选用的支墩型式作合理的安排, 两个支墩间的距离选用多大是合适的, 应由计算来决定, 因为影响支墩距离的因素比较多; 除了支墩的结构型式以外, 尚有地质条件, 压力钢管的直径, 管壁厚度等。根据我国制造压力钢管的实践, 和国外的经

验,按支墩及支承环的结构型式列出下列支墩间距的常用范围供参考。

鞍型支墩间距 $6 \sim 8 \text{ m}$,

滑动支墩间距 $8 \sim 12 \text{ m}$,

滚动或摇臂支墩间距 $10 \sim 18 \text{ m}$ 。

在一条压力钢管中,当选定了一种支墩间距后,每一管段的支墩宜采用同一间距。在每一管段布置支墩时,应从该管段的下游镇墩往上排列支墩,将小于支墩间距的零数,放在设有温度伸缩节的跨内。若所余的距离不能满足设置温度伸缩节的要求时,应从下游镇墩起的第一跨距内调整。

(三) 人孔

为了方便压力钢管的维护和检查,在压力钢管中均设置人孔。在一条压力钢管上两个人孔之间的距离可在 200m 以内。人孔一般设置在管段的下游镇墩第一跨度内并靠下游镇墩一侧。其位置应设在便于人员进出的地方。

(四) 排气孔与进气孔

排气孔是为钢管充水时,使原空管中的空气能逸出管外的结构,其位置布置在有关管段的最高点。

进气孔是为了在钢管内出现压力迅速降低时避免管内形成负压,而迅速往管内补气保持管壁稳定的结构。其位置也是设在管段的最高点。

进气和排气孔可以是合用的一种结构或装置。布置进、排气孔时其排气的出口或进气的入口处所宜注意气流的速度及其对人身安全的影响。

第二节 管轴线的几何尺寸确定

一、长度与角度

在空间位置上的某一直线段,它在 X、Y、Z 坐标轴所组成的三个平面的投影长度分别为 x 、 y 、 z 时,计算该直线段的长度公式为:

$$L = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (11-2)$$

其中 X、Y 常采用为水平轴。

管轴线的几何尺寸可按照投影几何的原理计算。图 11-5 和 11-6 为管轴线的某相邻两段,其基本的资料为: A 点的高程 Z_A , A 点的座标 x_A 、 y_A ; B 点的高程 Z_B , B 点的座标 x_B 、 y_B ; C 点的高程 Z_C , C 点的座标 x_C 、 y_C 。

管段 AB 的长度为:

$$L_{AB} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2} \quad (11-3)$$

AB 在 xz 平面内, $y_B - y_A = 0$ 。故计算 L_{AB} 的公式成了平面几何问题:

$$L_{AB} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (z_B - z_A)^2} \quad (11-4)$$

管段 AB 与水平面的倾角 φ_B 为:

$$\sin \varphi_B = \frac{Z_B - Z_A}{L_{AB}} \quad (11-5)$$

管段BC的长度为:

$$L_{BC} = \sqrt{(x_C - x_B)^2 + (y_C - y_B)^2 + (z_C - z_B)^2} \quad (11-6)$$

从图11-6可知, 管段AB是位于xz平面上的管段, 而管段BC则是位于空间的管段, 所以在管轴线AB与BC的转折处B点, 管轴线的转折角是一个空间角度。

B点管轴线的空间转折角 ε 的计算, 按下列公式进行:

$$\cos \varepsilon = \cos \alpha_B \cos \alpha_C + \cos \beta_B \cos \beta_C + \cos \gamma_B \cos \gamma_C \quad (11-7)$$

$$\cos \alpha_B = \frac{x_B - x_A}{L_{AB}},$$

$$\cos \alpha_C = \frac{x_C - x_B}{L_{BC}}$$

$$\cos \beta_B = \frac{y_B - y_A}{L_{AB}},$$

$$\cos \beta_C = \frac{y_C - y_B}{L_{BC}}$$

$$\cos \gamma_B = \frac{z_B - z_A}{L_{AB}},$$

$$\cos \gamma_C = \frac{z_C - z_B}{L_{BC}}$$

为了及时地校对计算结果, 可以用下式加以核对:

$$\cos^2 \alpha_B + \cos^2 \beta_B + \cos^2 \gamma_B = 1 \quad (11-8)$$

$$\cos^2 \alpha_C + \cos^2 \beta_C + \cos^2 \gamma_C = 1 \quad (11-9)$$

对于管轴线及有关部件的几何尺寸, 如果管轴线比较复杂时, 计算可采用列表方法。若管线很长, 中间转折处又很多时, 如只采用同一个坐标原点进行计算, 则数字位数必然很多。此时, 可以采用两个或三个坐标原点进行计算, 可以减少差错和提高计算的精度。在有关的计算工作都进行完毕后, 应该根据计算结果, 绘制出管轴线几何尺寸图。参见图11-7及表11-1。

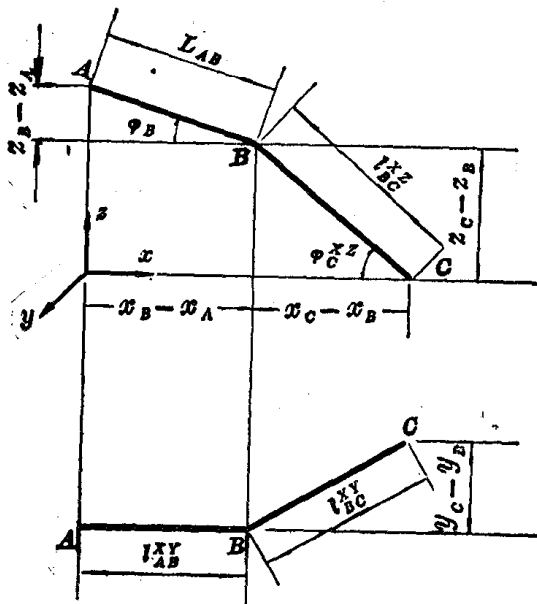


图 11-5 相邻两管段的投影几何位置

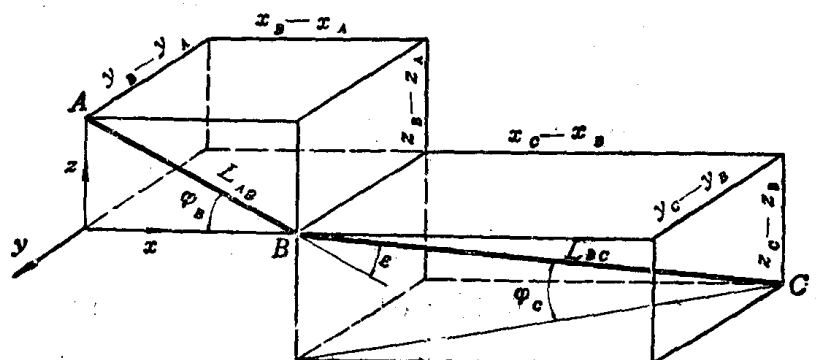


图 11-6 相邻两管段的空间位置

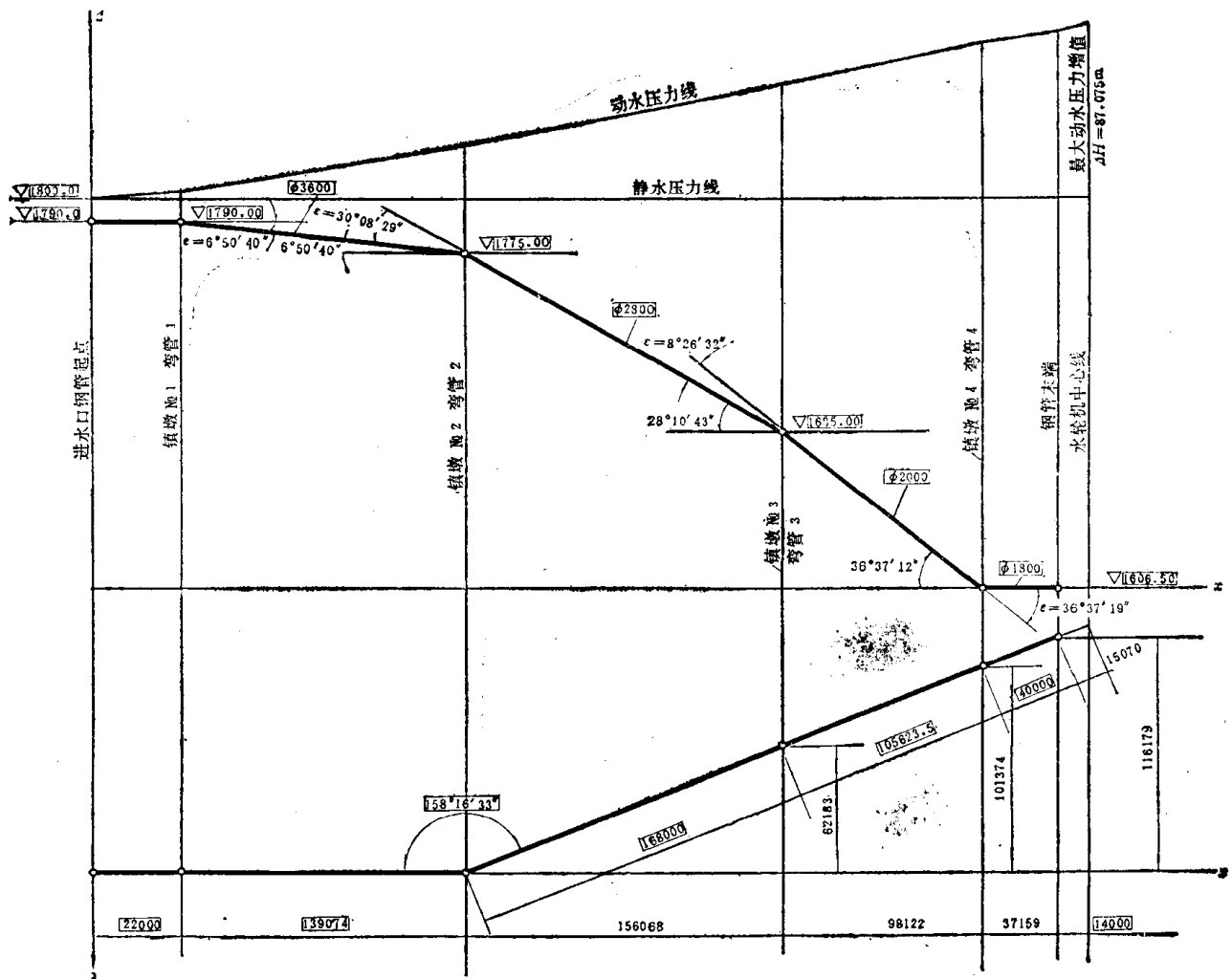


图 11-7 管轴线的几何尺寸图

图中打有方框的数字为取自设计任务书的基本数据

二、弯管轮廓尺寸的确定

管轴线的转折角 ε 计算出来后, 弯管的转弯角度也就确定了。为了确定管轴线转折点之间的钢管直线段的实际长度, 所以在几何尺寸计算时, 还应该把弯管的轮廓尺寸确定下来。

已知两直线段的转折角 ε , 要确定弯管的轮廓尺寸, 就取决于钢管的直径和允许的弯管转弯半径。

对于水电站的压力钢管来说, 由于直径都比较大, 通常都用钢板卷制管节、再焊接成弯管。考虑到所焊成的弯管管壁要平顺, 水流阻力和水头损失要小等因素。一般地采用最小转弯半径为钢管直径的三倍较为合适。转弯半径大, 可减少阻力和水头损失, 但施工安装工作量增大, 使得镇墩的体积也大。转弯半径过小, 则弯管管壁不易做得平顺, 水流阻力和水头损失就较大, 这对长期运行的水电站来说, 造成较大的损失是不合理的。当弯管采用不同转弯半径时, 曾对弯管中水头损失进行过试验和测定, 大致的结果见图11-8的曲线

表	三
---	---

[illegible]

续表

钢 管 主 要 几 何 尺 寸 计 算										水 头 计 算					
序 号	分 段 的 名 称	管段中 心高程 (m)	$\sin \varphi$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} w$	w	$\operatorname{tg} w$	w	最大动 水 ΔH (m)	$\frac{\Delta H}{\sum l}$	x (m)	$\Delta h = \frac{\Delta H}{\sum l} x$ (m)	设计库 水 位 (m)	设计静 水 H_s (m)	设计总 水 $H_s + \Delta h$ (m)
1	进水管起点	1790.00									0.00	0.00		10.00	10.0
2	弯管 1 中心线	1790.00	0.00	0.00							22.00	3.55		10.00	13.6
3	弯管 2 中心线	1775.00	0.189174	0.992873							161.88	26.14		25.00	51.1
4	弯管 3 中心线	1685.00	0.472196	0.881477	0.8548073	40°31'24"			87.075	0.161481	352.47	56.93	1800.00	115.00	171.9
5	弯管 4 中心线	1606.50	0.596305	0.802621			1.0772049	47°07'43"			484.07	78.18		193.50	271.7
6	钢管末端	1606.50	0.00	0.00							524.07	84.64		193.50	278.1
7	水轮机中心线	1606.50	0.00	0.00							539.14	87.075		193.50	280.6
8	$\sum l = 22.00 + 139.88 + 190.59 + 131.60 + 40.00 + 15.07 = 539.14\text{m}$														

注 表内除注明尺寸外,其余尺寸均为mm.

所示。

图11-8的曲线示出 $\varepsilon = 90^\circ$ 的弯管，在各种不同的转弯半径时引起的水头损失。对于转弯角 ε 为其它度数的弯管，在不同的转弯半径时，引起的水头损失，根据克里杰 (Creager) 等人的试验结果，给出了与 $\varepsilon = 90^\circ$ 弯管的比值，见图11-9的曲线所示。从图11-8的曲线中可以看出，弯管的转弯半径等于5.5倍钢管直径时，水头损失最小，即 $R_z = 5.5 D_p$ 。采用大的转弯半径使得弯管的制造和镇墩的混凝土体积增大是不经济的。综合考虑这些情况，弯管的转弯半径用3~4倍钢管直径较为经济合理。所以各国制定的钢管设计规范均采用这个数值范围，本手册推荐采用钢管直径的三倍作为弯管的转弯半径。遇到特殊情况时，弯管的转弯半径也不宜小于钢管直径的二倍。

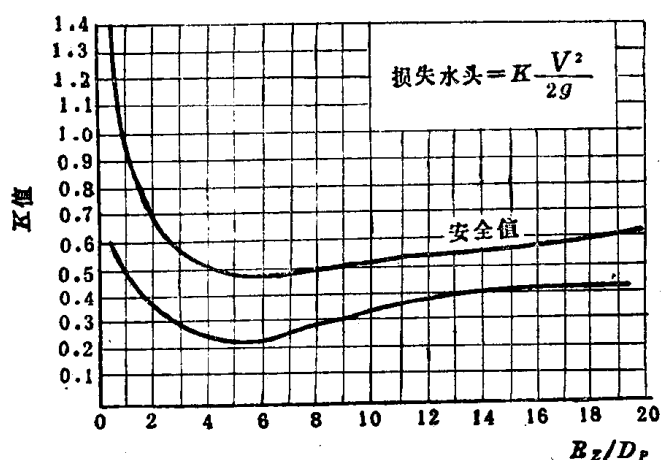


图 11-8 90°弯管转弯半径与水头损失系数的关系

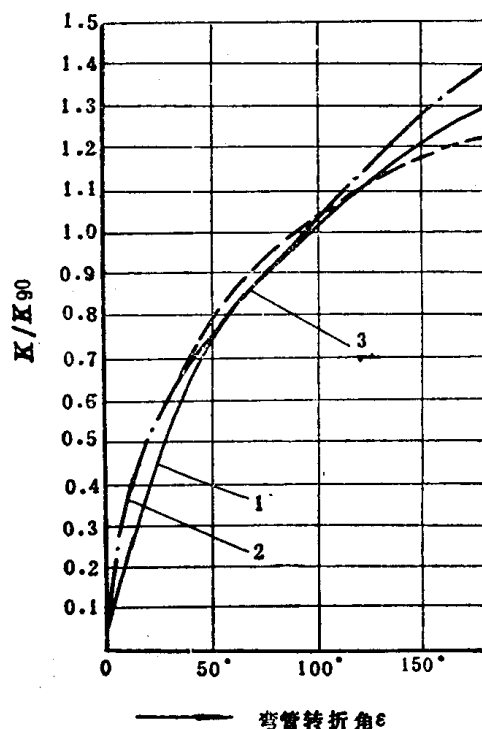


图 11-9 弯管转折角 ε 与 K/K_{90} 的关系曲线

- 1—克里杰(Creager)试验给出的数值;
- 2—亨德(Hinds)试验给出的数值;
- 3—杨奈尔(Yarnell)从 $\phi = 150\text{mm}$ 管中试验得出的数值

1. 等直径弯管的轮廓尺寸计算

已知管轴线的转折角为 ε ，钢管的外直径为 D_w ；弯管的曲率半径取 $R = 3D_p$ ；弯管的几何尺寸见图11-10。

为了使弯管的轮廓尺寸计算，与展开计算相一致，所以图11-10中都采用了平均直径和半径，即计算所使用的直径为管壁厚度中心处的直径，故 $D_p = D_w - \delta$ ， $R_z = 3D_p$ 。

从弯管管轴线交点向上游段和向下游段的直线长各为：

$$l = R_z \tan \frac{\varepsilon}{2}$$

如图11-6所示的管轴线 AB 间的长度为 L_{AB} ，弯管 B 沿 AB 段的轴线长度为 l ，所以直管段的长度为：

$$L_{AB} - l = L'_{AB}$$