

374
陈继深 谷鸿飞 著

压力钢管制造安装 的实践与探讨

732.4
56



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

197469

TV732.4

C456

压力钢管制造安装 的实践与探讨

陈继深 谷鸿飞 著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是由多年从事压力钢管施工工作的陈继深同志编写的,本书是陈继深同志毕生经验和教训的集成。内容包括:概述、制作钢管的主要材料、钢管制作、岔管制作、钢管运输、钢管安装、压力钢管焊后消除应力热处理、钢管防腐蚀、伸缩节和一些典型事故的分析,书中还探讨了三峡压力钢管施工有关的问题。

本书适合电力、石油、化工等行业从事压力钢管制作、安装的工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

压力钢管制造安装的实践与探讨/陈继深,谷鸿飞著.北京:中国电力出版社,1999.11

ISBN 7-5083-0190-0

I. 压… II. ①陈… ②谷… III. ①压力钢管-制造 ②压力钢管-安装 IV. U173.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 67416 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 [http://www. cepp. com. cn](http://www.cepp.com.cn))

实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2000年1月第一版 2000年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 32开本 5.75印张 124千字

印数 0001—2000册 定价 10.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

目 录

第一章 概述	1
一、压力钢管的作用和重要性	1
二、压力钢管的布置形式和供水方式	1
三、我国压力钢管建设发展的过程	2
第二章 制作钢管的主要材料	17
一、钢板	17
二、焊接材料	24
第三章 钢管制作	26
一、钢管厂模式	26
二、钢管制作常用机械设备	28
三、钢管制作程序	29
四、钢管焊接手段和焊缝内部探伤设备的采用	30
五、钢管制作过程中遇到的经验教训、注意事项和 可探讨的问题	36
六、确保焊接质量的主要措施和纵缝弧度变形的矫形	45
第四章 岔管制作	50
一、岔管种类	50
二、月牙形内加强肋岔管制作	52

第五章 钢管运输	69
一、运输工具	69
二、运输路线	76
第六章 钢管安装	79
一、隧洞式斜管安装	79
二、隧洞式下水平管的安装	85
三、隧洞式上弯管和上水平管安装	86
四、隧洞式上、下水平钢管纵断面形状和土建 施工时应注意的事项	87
五、隧洞式竖井安装	88
六、坝内式钢管安装	92
七、露天式钢管安装	94
第七章 压力钢管焊后消除应力热处理	96
一、焊后残余应力的形成、消除办法和其效果	96
二、焊后消除残余应力处理的各种规定	97
第八章 钢管防腐蚀	102
一、我国对钢管防腐蚀质量的重视程度	102
二、影响防腐蚀质量的关键问题	102
三、钢管除锈、涂装工艺控制严格程度和防腐蚀 质量的关系	106
四、大型钢管的除锈和涂装工艺方法选用的探讨	107
第九章 伸缩节	110
一、伸缩节的作用和种类	110
二、已建电站伸缩节在制作安装过程中出现的 问题和在运行过程中出现漏水及采取堵漏的措施	112

第十章 我国已建水电站压力钢管中曾出现

过的恶性事故的实例 120

- 一、镜泊湖电站 121
- 二、丰满电站 121
- 三、以礼河三级电站 122
- 四、泉水电站 122
- 五、绿水河电站 123
- 六、白山电站 123
- 七、刘家峡电站 124
- 八、广州抽水蓄能电站 125

第十一章 对三峡工程压力钢管施工有关问题

的探讨和建议 130

- 一、三峡工程建设规模和施工难度与世界上已建的大型水电站的比较 130
- 二、可供探讨的方案和意见 156
- 三、确保三峡钢管质量有关问题的探讨 159

第十二章 乌江渡电站钢管在洪水时期被冲坏

及修复的经过和预防措施 166

- 一、钢管遭受洪水损坏情况 166
- 二、破坏管段的修复方案 167
- 三、修复管的安装 168
- 四、预防措施的探讨 170

第十三章 钢管原型观测和检查维修 172

- 一、原型观测的目的 172
- 二、埋管原型观测的必要性 172

三、埋管原型观测仪器的重要性	173
四、原型观测设计原则	173
五、观测项目	174
六、已建电站中有关原型观测的设计布置和使用情况	175
七、检修和维护	175

第一章 概 述

一、压力钢管的作用和重要性

压力钢管是水电站主要的组成部分，它衔接着电站进水口水轮机蜗壳或球阀，起着将水由进水口引向蜗壳或球阀，进而推动水轮机转动的作用。压力钢管多用于大、中型水电站，它们要承受较大的内水压力，且在不稳定的水流下工作，易出事故，事故一旦发生，后果严重。故对钢管和为其连接的焊缝都应有一定的强度和塑、韧性的要求，因此，压力钢管通常是根据其承受内水压的特点和所在地的气温条件，选用相应的优质钢板和焊接材料焊制而成。

二、压力钢管的布置形式和供水方式

压力钢管的布置形式是根据水电站所在地区地形、地质条件和挡水、引水结构形式的不同分为坝内式钢管、隧洞斜井式钢管、隧洞竖井式钢管和露天式钢管四种。

根据供水方式不同，钢管又可分单独供水方式和联合供水方式。各类钢管的布置和供水方式虽有所不同，但在结构上，一般都是由上水平管、上弯管、斜管（或竖井钢管）、下弯管、锥管和下水平管等几部分组成。其主要结构有：主管、锥管、岔管、凑合节、伸缩节、支承环、支座、加劲环和进入孔等。

三、我国压力钢管建设发展的过程

建国前，我国大陆上除东北外基本没有高水头和大、中型水电站，因此也不具有其用于引水发电的压力钢管。压力钢管是高水头的大中型水电站重要的组成部分，它的质量优劣直接影响着水电站的安全运行。建国后，我国第一个自行设计、自行施工拥有压力钢管的水电站是官厅水电站。随着我国工业的快速发展和工业用电量需求的日益增加，结合我国拥有丰富的水力发电资源的现实，高水头的大中型水电站的兴建便日益增多，压力钢管的建设规模也相应扩大。现在已建的水电站压力钢管承受设计水头高达千米的，有广西的天湖电站和云南的以萨河水电站及西藏的羊卓雍湖抽水蓄能电站，管径超过 10m 的有广西的岩滩电站和湖南的五强溪电站。由于钢管的 HD 值增大，用于制造钢管的钢材也由强度级别低的碳素钢，发展到采用强度级别高的高强度调质钢；焊接手段由单纯采用手工电弧焊，发展到采用埋弧自动焊和气体保护焊；焊缝质量检测手段也由最初依赖目测、煤油渗漏检验和焊缝上钻孔观察的有损检测办法，逐步发展到采用射线和超声波的无损探伤法。至于检查钢管制造安装质量和作为验收依据的钢管制造安装及验收规范，建国初期根本没有，以后，总结几年来我国压力钢管的设计施工实践经验并吸收国内外有关标准，制订了内容较简单的规范。随着我国冶金工业的发展和冶炼水平的提高以及先进的焊接和无损探伤等设备的陆续问世并在钢管上推广应用，曾数次对原规范加以补充修订，使规范内容进一步提高、充实、完善，又反过来促使了压力钢管制造、焊接、安装水平的提高，使之逐步向

国际水平靠拢。我国压力钢管建设规模的扩大和施工设计水平的提高的过程大致经历了三个阶段，现分述如下。

（一）建设发展的三个阶段

1. 第一阶段 1950~1965 年

官厅水电站的压力钢管是最先建设的压力钢管，当时根本没有任何施工规范，主要是参照前苏联《水轮机安装和检修》一书中有关“涡壳焊接技术要求”施工的。焊缝焊接完全采用手工电弧焊，焊缝内部缺陷检查依靠煤油渗漏检验和在焊缝上直接用电钻钻孔目测有无焊接缺陷，后一种是有损探伤，故钻孔数量有限。但当时工程技术干部和焊工深知钢管焊接质量的重要性，能认真对待，加之钢板薄，在 18mm 以下，焊接质量容易保证，官厅水电站已运行近 40 年，至今尚未闻压力钢管有异常现象。

1957 年梅山电站压力钢管施工时，焊接手段除采用手工焊外，钢管有些纵缝采用埋弧自动焊，焊缝内部质量用 α 射线探伤，只透照丁字接头处，故探伤百分比不高，这二项技术措施是向前苏联学习推广应用的。梅山电站钢管是明管，板厚在 30mm 以下，施工时，对焊接质量很重视，控制比较严格，没有正式规范，是参照建工部规范和前苏联锅炉监察手册的有关规定施工的。

1958 年，水利电力部水电建设总局颁发了《水电站水工建筑物的金属结构制造安装与验收技术规程》（试行），这本规程编写的主要依据是前苏联制订的《水工建筑物机械及金属结构制造与安装技术规范》和治淮委员会制订的《闸门工程施工及验收暂行技术规范》，这本规程内容包括钢管和闸门两部分，侧重于几何尺寸要求，至于结构件的连接，铆接、焊接两种方法并列，对焊缝质量检查标准均未涉及，钢材只局

限于 3 号镇静钢。

桓仁电站的压力钢管是 1960 年开始安装的，以后因故缓建。1960 年和 1961 年安装的钢管就是按这本规程施工的，钢板采用 3 号镇静钢，最厚 25mm。焊接时除少部分钢管纵缝采用埋弧自动焊外，其余均用手工焊，焊后也经 α 射线探伤，但百分比很少。

云南以礼河三级电站的压力钢管最高水头 720m，长度超过 1800m，钢板厚度 8~40mm，为 3 号镇静钢，厚板由前苏联进口，有重皮缺陷，时效敏感系数也较大，质量不好。1966 年投入运行，其制作、安装估计在 50 年代后期和 60 年代初期，钢管的制造、安装未严格控制质量，存在缺陷。1970 年 1 月由于球阀误操作，引起特大水锤，钢管承受超压，导致 32mm 和 36mm 各一节钢管爆破，一节沿焊缝旁边旧有裂纹爆破，另一节属低应力脆性破坏，这与钢板时效敏感系数大有关。破坏处以后采用套管方式进行了补救处理。

吉林云峰电站压力钢管是 1963 年制造、同年安装、1966 年全部竣工的。当时安装局集中了全国主要的铆焊力量进行施工，用低氢型碱性焊条施焊以降低熔敷金属的含氢量，用直流电焊机焊接，使电弧稳定，保证焊接质量。在云峰电站不仅钢管纵缝用埋弧自动焊，环缝亦采用自行研制的滚焊台车，将钢管吊放其上滚焊，既保证质量又提高功效，从而结束了埋弧自动焊只能焊接纵缝不能焊接环缝的年代。焊缝焊后探伤在钢管厂开始采用 X 射线探伤，增加了底片清晰度，减少了射线辐射对人体的影响，但限于 X 射线机笨重，安装环缝仍用 α 射线操作。云峰电站压力钢管是遵照 1964 年水利水电建设总局组织制订的《水工建筑物金属结构制造安装及交接验收规程》（即所谓研究班定稿）施工的，钢管质量优良。

1993 年笔者曾致函云峰电厂询问钢管质量情况，他们复函讲“经三十多年运行，钢管质量良好。”这一例子就充分证实了这一点。

“研究班定稿”虽未批准颁发，但多数设计和施工单位基本按照其规程执行。该规程内容包括闸门、钢管和起臂机三部分，对焊接、无损探伤有关的条文进行了充实、完善。根据焊缝受力大小和其重要性的不同将其分为三级，无损探伤规定以射线探伤为主，超声波探伤为辅，只作为初检手段，并规定Ⅰ级和Ⅱ级焊缝的探伤百分比以及其合格标准，基本上和当时国内兄弟单位的有关规范相接近，反映了当时我国压力钢管制造、安装的实际技术水平。不过规程规定钢管采用的钢板仍限于 3 号碳素钢。

这一阶段的初期（1950～1959 年）建设的水电站除官厅、梅山外，还有古田、黄坛口、上犹等电站，电站的压力钢管设计水头低、钢板薄、管径小，采用钢材为 3 号钢，虽规定为镇静钢，限于当时供应情况，很可能有的是沸腾钢。至于焊接质量，虽未经无损探伤，但由于当时各级部门上、下重视质量，能认真对待，质量还是可以信赖的。目前，这些电站的压力钢管均已安全运行 40 多年的事实就是一个很有说服力的证明。

这一阶段后期（1960～1965 年），水电站建设规模迅速扩大，如新安江、新丰江、云峰、柘溪、以礼河三级等电站均在这个时期兴建，设计水头和管径有较大增长，钢板虽仍为 3 号钢，但厚度增加。当时我国生产厚板还有困难不得不由前苏联进口，但质量有的也差。那时，我国焊接技术水平已有较大提高，焊缝也经无损探伤检查。不过，个别电站的压力钢管在当时形势影响下，对施工质量控制不严，焊缝质量有

缺陷加上厚板性能欠佳，在运行过程中由于外因，曾诱发过事故。上述以礼河电站即是一例。

在这一阶段建设的压力钢管，对钢管防腐蚀质量普遍不重视。首先在规范上对防腐蚀标准只有定性要求，没有定量的检测标准，涂料性能不理想，多数采用红丹防锈，施工单位敷衍了事。而运行厂家认为钢管防腐蚀质量的好坏，短期内不直接影响发电，加之埋管要作腐蚀程度检查和检修也确实存在一定难度，于是只得听之任之。据介绍古田电站压力钢管板厚 10mm，现在腐蚀深度有的达 6mm。以礼河三级电站对钢管防腐蚀工作极为重视，多次组织力量检查，发现腐蚀较严重，但终因检查范围太广，补涂工作量太大，使该工作难以实施完成。这为以后钢管长期安全运行留下了隐患。

这一阶段初期，岔管的 HD 值低，钢板薄，多数采用贴边式岔管。后期岔管 HD 值增大，岔管形式便以三梁式岔管为主。其中除以礼河三级电站钢管设计水头特大，岔管我国自制有困难而由捷克进口外，其余均为自制。

2. 第二阶段 1966~1980 年

这一阶段建设的水电站规模进一步扩大，压力钢管的设计水头和管径也向高和大的趋向发展，如丹江口、刘家峡、碧口、西洱河一级、乌江渡、湖南镇、渔子溪一级、安康等大型水电站的压力钢管均在这一阶段建成。设计水头多在百米以上，管径如丹江口、潘家口、龚嘴、刘家峡等均在 7m 以上，最大管径是龚嘴水电站的压力钢管为 8m。由于这一阶段钢管的 HD 值大，相应的施工技术水平和钢板的强度等级均有所提高和创新，主要有下列四方面：

(1) 采用低合金钢板制造钢管。16Mn、15MnV、15MnTi 等低合金钢是利用我国富有的锰、硅元素合金化，以提高其

强度。

16Mn 钢的合金元素含量比 3 号钢仅仅增加了少许锰，而屈服强度却比 3 号钢提高了 50% 左右。它一般是以热轧供货。其冷卷、焊接和气割性能和 3 号钢相似，但其强度高于 3 号钢。这就减薄了钢板厚度，改善了钢管制造难度，相应地减少了熔敷金属和钢管自重，从而降低了工程造价，有利于高水头和大直径钢管的制造。

15MnV 和 15MnTi 是在 16Mn 的基础上分别加入少量的钒和钛，使其强度进一步提高到 390MPa。15MnV 以热轧状态供货。其厚板在低温下施焊易出裂纹，低温冲击值偏低。15MnTi 钢有优越的抗脆裂性能，加工性和可焊性也较好，但只有正火后的 15MnTi 钢才有这些特点，故 15MnTi 钢是在正火状态下才使用的钢种。由于这一阶段建设的压力钢管 HD 值大，多数压力钢管是采用低合金钢制造。

(2) 用碳弧气刨清根代替用风铲清根。压力钢管焊接时，当一侧焊缝焊满后焊接另一侧焊缝时，一定要清除先焊一侧焊缝背部的焊渣，使露出金属光泽，以保证质量。过去用风铲清根，工人劳动强度大，效率低，60 年代中期改用碳弧气刨，减轻了工人劳动强度，且大大提高了工效。

(3) 推广碱性低氢型焊条焊接，以减少熔敷金属的含氢量，避免拘束度大的低合金钢厚板在低温下施焊时产生裂纹。碱性低氢型焊条要用直流电焊机焊接，才能稳定电弧，于是安装单位普遍推广使用直流电焊机作为焊接设备。

(4) 广泛采用超声波探伤作为无损探伤手段。60 年代初期，无损探伤以 α 和 X 射线探伤为主，超声波仅作为初检的探伤手段。随着我国制造超声波设备的技术水平的提高，先进、轻便、灵敏度高、质量可靠的超声波探伤仪陆续问世。由

于超声波探伤的造价较低的优点，虽然规范上规定超声波和射线探伤可任选一种，但实际使用中，多偏向于采用超声波探伤，除非设计上另有规定。

70年代后期，岔管 HD 值增大。如大直径、高内压的岔管仍用三梁岔管，则制造安装的难度增大，于是改用内加强月牙肋岔管，这种型式的岔管是国内、外70年代发展起来的，其技术和经济指标优于三梁岔管，适应于大、中型水电站。国内的湖南镇、南桡河三级、西洱河一级水电站的岔管就是这种型式，另外个别电站如磨坊沟和西洱河二级电站还分别采用过球岔和无梁岔管。

80年代末期，水利电力部基建司责成以水电第七工程局为主修订规范。修订后的规范即为^{SLJ}_{DLJ}201—80《水工建筑物金属结构制造、安装及验收规范》，是我国第一本由部正式批准颁发的有关该领域的规范。这本规范是在“研究班定稿”的基础上去芜存精，并广泛吸收国内兄弟单位的有关规范的规定以及总结多年来的实践经验的基础上编写而成的。规范中将低合金钢和碳素钢列为钢管用钢，并规定以采用碱性低氢型焊条为主，无损探伤则可用超声波或射线探伤并规定了各自的百分比，使规范内容得到了进一步充实、提高，这对以后水电站金属结构施工质量起到了一定的提高和保证作用。

这一阶段建成的压力钢管未闻因内压出现事故的，但广东泉水和云南绿水河两电站的压力钢管曾因外压失稳。泉水电站的压力钢管设计水头225m，管径2.4m，钢板厚度有一段仅6~8mm，加劲环设计时布置间距较设计计算要求值放大，对地下排水又没有可靠的排水措施，采取“小断面开挖”，洞内钢管环缝单面焊接，灌输砂浆，回填衬砌的方案。

施工时，因开挖洞径太小，对原设计已刚性不足的加劲环因不好安装又予取消，回填砂浆质量低劣，在回填灌浆时就出现钢板鼓包现象，也未引起重视。运行不久，便出现钢管严重曲折断裂事故。绿水河情况基本相似。可见这两个电站压力钢管出现外压失稳原因，主要是因对某些重大设计、施工方案没有深入研究、慎重考虑和认真对待，施工时，既未重视质量，又未严格执行规范，对初期出现的问题不加重视，最终造成钢管严重曲折破坏事故。

3. 第三阶段 1981~1994 年

这一阶段修建的水电站规模继续扩大，压力钢管的设计水头和管径相应增加，设计水头千米左右的压力钢管有广西天湖、云南以萨河和西藏羊卓雍湖电站，管径超过 10m 的有广西岩滩和湖南五强溪电站，均在这一阶段修造，而这一阶段正值我国改革开放初期，与国外技术交流机会增多，引进了多项先进技术和设备，推动和促进了我国压力钢管建设向新台阶迈进。主要反映在以下几个方面：

(1) 高强度调质钢（以下简称高强钢）在钢管上开始应用。80 年代后期修建的鲁布革水电站的压力钢管由日本大成公司承包，我国首次采用 590MPa 级和 780MPa 级钢板制造钢管和岔管。590MPa 级调质钢是在钢材冶炼过程中，通过调质处理，使强度提高 100~150MPa，其合金元素含量基本与 490MPa 级钢材相同。590MPa 级钢板的缺口敏感性优于同样强度级别的正火钢，我国已建和在建的电站中用高强钢制造的压力钢管见表 1-1。

(2) 高水头抽水蓄能电站开始兴建。抽水蓄能电站的特点往往是设计水头很高，在其承受内压较高的部位，不得不采用高强钢以满足需要。

表 1-1

已建和在建电站中采用高强度钢制造压力钢管的电站

电站名称	钢管或岔管所用 钢板的强度级别	钢 种 (各国标准)	钢板厚度 (mm)	设计水头 管径 (m)	钢材生 产国家	建设 情况	备 注
鲁布革	590MPa 级高强度 (钢管)	ASTMA537CL.2 (美国)	25~38	204 $\phi 4.6 \sim 3.2$	日本	已建	
	780MPa 级高强度 (岔管)	ASTMA517 (美国)	90 肋板 42 球壳				
天生桥	590MPa 级高强度 (钢管)	SM570 (日本)	30~36	176.5 $\phi 5.7 \sim 4.2$	西 巴 日 本 瑞 典	已建	
隔河岩	590MPa 级高强度 (钢管)	SM570 (日本)	32~46	170 $\phi 8 \sim 7.3$	巴 西	已建	
羊卓雍湖 抽水蓄能	590MPa 级高强度 (钢管)	CF62 (610u 日本)	26~56	840 $\phi 2.3$	日本	已建	岔管钢材 厚度不详
五强溪	590MPa 级高强度 (钢管)	SM570 (日本)	36	60.6 $\phi 11.2$	德国	在建	
十三陵 抽水蓄能	590MPa 级高强度 (钢管)	SM570 (日本)	30~42	481 $\phi 5.2 \sim 2.0$	日本	已建	岔管 肋板 124mm 球壳板 62mm
	780MPa 级高强度 (钢管)	SHY685NS (日本)	32~52				
广州 抽水蓄能	590MPa 级高强度 (钢管)	CF-62 (日本)	34~44	$\phi 3.5$	日本	已建	
天荒坪 抽水蓄能	590MPa 级高强度 (钢管)	HT-60 HT-80	32~42			在建	
	780MPa 级高强度 (钢管)						