

HUANGHE WANJIAZHAI SHUIKU  
FANGLING YUNYONG FANGSHI  
YANJIU

黄河万家寨水库

# 防凌运用方式研究

翟家瑞 金双彦 熊运阜 刘吉峰 等 著



黄河水利出版社

# 黄河万家寨水库 防凌运用方式研究

翟家瑞 金双彦 熊运阜 刘吉峰 等著

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

## 内 容 提 要

本书根据万家寨水库运用后的凌汛实况,结合水库防凌调度经验,介绍了水库运用对库区及水库下游河段凌汛的影响,分析了万家寨水库入库水文站头道拐凌汛期小流量过程变化及影响因素,对万家寨水库冰凌数学模型的建立进行了探索性研究,分析了库区淤积形态的变化,概括性地介绍了北方河流上水库建设对其上下游凌汛的影响,并提出了水库防凌运用方式的建议。本书特色在于理论与生产紧密结合,既注重冰凌的冻融和输移规律,又强调凌汛的水库优化调度。

本书可供从事防汛、水力学等专业的科技工作者学习、参考,也可作为大专院校相关专业的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

黄河万家寨水库防凌运用方式研究/翟家瑞等著. —郑州:  
黄河水利出版社,2013. 10  
ISBN 978 - 7 - 5509 - 0421 - 7

I. ①黄… II. ①翟… III. ①黄河 - 水库 - 防凌 - 研  
究 IV. ①TV875

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 015581 号

---

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhsclbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:12.25

插页:2

字数:283 千字

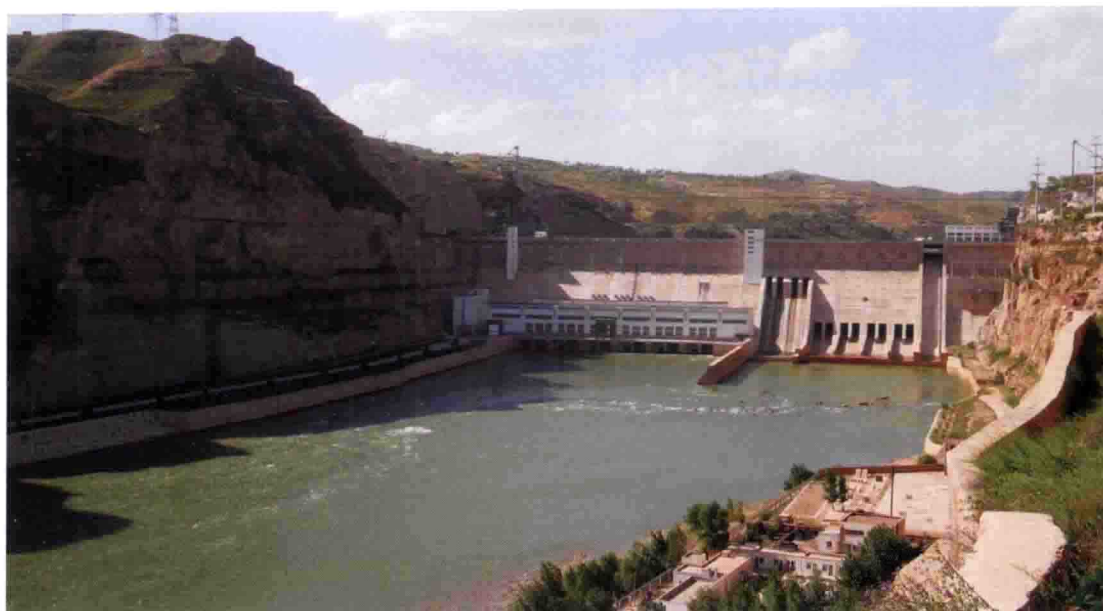
印数:1—1 000

版次:2013 年 10 月第 1 版

印次:2013 年 10 月第 1 次印刷

---

定价:80.00 元



黄河万家寨水利枢纽



2009年1月，黄河冰凌将壶口瀑布完全覆盖





2010年1月，在黄河小北干流河段上首15 km的河道内，形成约60 km<sup>2</sup>的大面积堆冰，最高达2 m



2010年1月，黄河冰凌致使河水壅高，造成山西小北干流河段工程出险，滩地上水

# 前 言

万家寨水利枢纽位于黄河中游上段,上距黄河上游与中游的分界处河口镇 104 km。坝址左岸为山西省偏关县,右岸为内蒙古自治区准格尔旗。坝顶高程 982 m(黄海高程,下同),水库总库容 8.96 亿  $\text{m}^3$ ,调节库容 4.45 亿  $\text{m}^3$ 。设计水库最高蓄水位 980 m,正常蓄水位 977 m,防汛限制水位 966 m。万家寨水库主要任务是供水、发电,兼有防洪、防凌作用。水库于 1998 年 10 月 1 日下闸蓄水。

万家寨水库运用以后,凌汛期库区及库尾部分河段由原来的不完全封冻变为每年冬季的完全封冻,封开河关键期容易形成冰塞、冰坝,出现凌汛灾害;如果水库凌汛期泄流不稳定,河道流量波动大,也极易造成下游河段卡冰结坝,产生严重凌灾。

万家寨水库运用初期,由于库区内蒙古河段和坝下游的河曲河段出现了一些严重的凌汛灾害,给万家寨水库防凌调度带来较大影响。为了优化万家寨水库凌汛期运用,减轻凌汛灾害,提高水库综合运用效益,黄河防汛抗旱总指挥部办公室与黄河万家寨水利枢纽有限公司、内蒙古自治区防汛抗旱办公室和山西省防汛抗旱办公室等有关单位于 2000 ~ 2001 年开展了“黄河万家寨水库凌汛期运用方式研究”,主要完成人员有翟家瑞、胡一三、赵咸榕、郝守英、钱云平、可素娟、金双彦等。这次研究利用万家寨水库运用初期的 3 年实测资料,结合其他水库防凌运用经验,得出的主要结论有:①分析给出了影响万家寨库区冰塞、冰坝的因素;②在当时库区移民高程 984 m 的情况下,凌汛期水库不能按原设计方式运用,为了减轻库区凌汛灾害,提高水库综合效益,应尽快把原来的 984 m 的移民高程提高至 987 m,且不宜安置在 990 m 以下;③万家寨水库防凌运用水位,需根据库区内蒙古河段凌汛情况,按照“封河发展期—稳封期—开河期”,库水位分别采用“较低水位—高水位—低水位”的运用方式,并加强观测,实行逐年提高;④为保证坝下河曲河段的防凌安全,下游封河期间,水库下泄流量一般不要超过  $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ ,并尽量保持平稳,避免忽大忽小;⑤加强库区泥沙淤积观测,结合库水位的降低,适时开展水库排沙,防止库尾泥沙淤积;⑥加强与防汛部门及下游天桥水电站等单位的沟通协调。以上研究成果已被防汛与枢纽管理单位采纳,并一直用于指导万家寨水库每年的防凌工作。

随着内蒙古河道的不断淤积恶化,万家寨水库各阶段运用水位的逐渐抬高,以及河道其他边界条件变化等因素的影响,近年来黄河上中游河段凌汛又出现了一些新情况,主要表现在下述两个方面:一是内蒙古河段封河后,头道拐断面出现小流量过程的持续时间明显延长,从而增大了内蒙古河段凌汛期的槽蓄水增量,加大了防凌压力;二是万家寨水库下游的北干流河段凌情发生了较大变化,在禹门口河段和壶口河段多次出现凌灾。因此,黄河水利委员会与万家寨水利枢纽有限公司在 2009 ~ 2011 年又开展了“万家寨水库运用对凌汛的影响及其优化调度研究”。第二次研究工作是在翟家瑞的组织与技术指导下完成的,主要完成人员包括:黄河水利委员会防汛办公室的魏向阳、魏军,黄河水利委员会水文局的王玲、霍世青、钱云平、金双彦、刘吉峰,黄河水利科学研究院的李书霞、张晓华,黄

河万家寨水利枢纽有限公司的熊运阜、路新川,以及清华大学的茅泽育、袁婧,等等。本次研究的主要成果有:①全面分析了头道拐断面小流量变化的规律和影响因素;②黄河北干流河段凌汛与万家寨水库的关系;③万家寨库区泥沙淤积变化,并对今后刘家峡、万家寨等水库凌汛期的调度运用方式提出了建设性的意见。

本书是在两次研究成果的基础上,通过整理提炼和系统总结,使其能在黄河防凌中发挥更大作用,同时方便国内外同行进行交流,供其他水库防凌调度时参考和借鉴。在此,向参加两次项目研究的所有人员表示衷心感谢!

需要特别指出的是,在这两次的研究中,均得到黄河水利委员会副主任廖义伟、苏茂林两位领导的大力支持和技术指导,在此一并表示感谢!

本书共分8章,主要内容为:第1章概述了万家寨水利枢纽基本情况和万家寨水库建库以来的运用方式;第2章分析了万家寨水库运用初期对上下游河段凌情的影响,提出了万家寨水库运用的原则和方式;第3章论述了黄河头道拐断面凌汛期小流量过程影响因素;第4章分析讨论万家寨水库运用对北干流河段的影响;第5章分析研究了万家寨水库淤积形态;第6章利用冰凌数学模型模拟了库水位运用对头道拐至万家寨大坝水位流量过程的影响;第7章为水库防凌调度,介绍了黄河上中游主要防凌水库情况,以及为保证宁蒙河段及小北干流河段防凌安全需采取的防凌运用方式;第8章为主要结论与建议,以及高纬度地区的一般水库对库区及下游河段凌汛的影响和防凌调度运用原则。

万家寨水库凌情受上游来水、河道条件、气候变化等诸多因素影响,演变过程复杂多变,故万家寨水库凌汛期运用方式研究是一个重大课题,且万家寨水库运用时间较短,水库运行数据和经验均有不足。此外,随着气候波动、人类活动、水库淤积等不断调整 and 变化,还有很多新情况、新问题需要进一步的深入研究。因此,作者对水库防凌运用方面的研究仍需丰富、完善,加之作者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请广大读者批评指正。

作 者

2012年10月于郑州

# 目 录

## 前 言

|                                      |      |
|--------------------------------------|------|
| 第 1 章 万家寨水利枢纽概况 .....                | (1)  |
| 1.1 枢纽概况 .....                       | (1)  |
| 1.1.1 自然环境 .....                     | (1)  |
| 1.1.2 库区形态 .....                     | (2)  |
| 1.1.3 水库设计 .....                     | (4)  |
| 1.1.4 测验断面 .....                     | (7)  |
| 1.1.5 防凌措施 .....                     | (8)  |
| 1.2 万家寨水库的运用方式 .....                 | (9)  |
| 1.2.1 水库原设计运用方式 .....                | (9)  |
| 1.2.2 水库建成后运行情况 .....                | (9)  |
| 第 2 章 万家寨水库运用对库区及河曲段凌汛的影响 .....      | (12) |
| 2.1 万家寨水库修建前后上游河段凌情变化 .....          | (12) |
| 2.1.1 龙羊峡、刘家峡水库对凌汛期来水影响 .....        | (12) |
| 2.1.2 凌汛期头道拐断面流量特征 .....             | (15) |
| 2.1.3 建库前头道拐断面以下河段凌情特点 .....         | (16) |
| 2.1.4 建库后头道拐断面以下河段凌情变化 .....         | (16) |
| 2.2 万家寨水库运用前后河曲河段凌情变化 .....          | (18) |
| 2.2.1 河曲河段和天桥水电站 .....               | (18) |
| 2.2.2 天桥水电站修建前河曲河段凌情 .....           | (21) |
| 2.2.3 天桥水电站修建后河曲河段凌情 .....           | (22) |
| 2.2.4 万家寨水库运用对河曲河段凌情影响 .....         | (23) |
| 2.2.5 凌汛期河曲河段及天桥水电站对万家寨水库运用的要求 ..... | (23) |
| 2.3 万家寨水库运用初期的泥沙淤积情况 .....           | (23) |
| 2.4 万家寨水库防凌调度分析 .....                | (24) |
| 2.4.1 不同库水位回水曲线的计算 .....             | (25) |
| 2.4.2 流凌封河期冰塞及水库调度方式 .....           | (27) |
| 2.4.3 稳封期水库运用方式 .....                | (35) |
| 2.4.4 开河期冰坝及水库调度方式 .....             | (35) |
| 2.5 小 结 .....                        | (42) |
| 第 3 章 头道拐水文站小流量过程变化及影响因素 .....       | (43) |
| 3.1 头道拐断面凌情变化 .....                  | (44) |
| 3.1.1 封河期日均流量 .....                  | (44) |



|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 3.1.2 封河前日均流量 .....          | (45)  |
| 3.2 小流量的概念及变化规律 .....        | (45)  |
| 3.2.1 小流量的概念 .....           | (45)  |
| 3.2.2 小流量的危害 .....           | (45)  |
| 3.2.3 小流量阈值的确定 .....         | (46)  |
| 3.2.4 头道拐小流量变化特点 .....       | (46)  |
| 3.3 小流量变化影响因素分析 .....        | (50)  |
| 3.3.1 上游来水 .....             | (50)  |
| 3.3.2 内蒙古河段气温 .....          | (51)  |
| 3.3.3 槽蓄水增量 .....            | (53)  |
| 3.3.4 河道形态 .....             | (53)  |
| 3.3.5 河道内工程影响 .....          | (56)  |
| 3.3.6 万家寨水库运用 .....          | (59)  |
| 3.4 典型年剖析 .....              | (69)  |
| 3.4.1 2002~2003 年度 .....     | (69)  |
| 3.4.2 2007~2008 年度 .....     | (73)  |
| 3.4.3 2008~2009 年度 .....     | (81)  |
| 3.4.4 典型年剖析小结 .....          | (85)  |
| 3.5 小 结 .....                | (85)  |
| 第4章 黄河北干流凌情及影响因素 .....       | (87)  |
| 4.1 北干流概况 .....              | (87)  |
| 4.1.1 万家寨—禹门口 .....          | (87)  |
| 4.1.2 小北干流概况 .....           | (88)  |
| 4.2 万家寨水库运用前后北干流流量过程变化 ..... | (89)  |
| 4.2.1 水库建成后出入库流量过程变化 .....   | (89)  |
| 4.2.2 北干流河道流量过程变化分析 .....    | (90)  |
| 4.2.3 凌汛期河道水量变化分析 .....      | (93)  |
| 4.2.4 北干流河道日均流量变化分析 .....    | (93)  |
| 4.3 北干流凌情变化分析 .....          | (98)  |
| 4.3.1 河曲河段凌情变化分析 .....       | (98)  |
| 4.3.2 小北干流凌情变化分析 .....       | (99)  |
| 4.3.3 万家寨水库对北干流凌情的影响 .....   | (101) |
| 4.4 北干流凌汛变化影响因素分析 .....      | (102) |
| 4.4.1 气温变化 .....             | (102) |
| 4.4.2 河道边界条件 .....           | (103) |
| 4.4.3 来水来冰情况 .....           | (105) |
| 4.4.4 龙口水电站的运用 .....         | (108) |
| 4.5 北干流典型年凌灾分析 .....         | (109) |

|       |                                  |       |
|-------|----------------------------------|-------|
| 4.5.1 | 1999 ~ 2000 年度北干流凌灾 .....        | (110) |
| 4.5.2 | 2008 ~ 2009 年度北干流凌灾 .....        | (113) |
| 4.5.3 | 2009 ~ 2010 年度北干流凌灾 .....        | (116) |
| 4.6   | 小结与建议 .....                      | (120) |
| 4.6.1 | 小 结 .....                        | (120) |
| 4.6.2 | 建 议 .....                        | (122) |
| 第 5 章 | 万家寨水库库区淤积形态分析 .....              | (124) |
| 5.1   | 入库水沙 .....                       | (124) |
| 5.1.1 | 水沙年际变化 .....                     | (124) |
| 5.1.2 | 水沙年内分配 .....                     | (125) |
| 5.1.3 | 水沙特性 .....                       | (126) |
| 5.2   | 万家寨库区淤积形态分析 .....                | (127) |
| 5.2.1 | 水库纵向淤积分布特点 .....                 | (127) |
| 5.2.2 | 拐上断面的冲淤变化 .....                  | (132) |
| 5.3   | 桃汛洪水对万家寨水库库尾淤积形态的影响 .....        | (136) |
| 5.3.1 | 桃汛洪水水沙特点 .....                   | (136) |
| 5.3.2 | 桃汛期水库调度运用方式 .....                | (139) |
| 5.3.3 | 桃汛期万家寨水库冲淤调整分析 .....             | (140) |
| 5.3.4 | 有利于改善库尾淤积形态的桃汛期万家寨水库运用方式研究 ..... | (143) |
| 5.4   | 小结与建议 .....                      | (145) |
| 5.4.1 | 小 结 .....                        | (145) |
| 5.4.2 | 建 议 .....                        | (147) |
| 第 6 章 | 万家寨水库冰凌数学模型研究 .....              | (148) |
| 6.1   | 河冰数学模型概述 .....                   | (148) |
| 6.1.1 | 一维河冰模型 .....                     | (148) |
| 6.1.2 | 二维河冰模型 .....                     | (155) |
| 6.2   | 资料处理和参数计算 .....                  | (158) |
| 6.2.1 | 基本资料收集和预处理 .....                 | (158) |
| 6.2.2 | 过流断面面积、湿周随水位变化关系 .....           | (158) |
| 6.2.3 | 河床断面平均纵向底坡 .....                 | (158) |
| 6.2.4 | 流动形态的判别 .....                    | (158) |
| 6.2.5 | 河床糙率计算 .....                     | (158) |
| 6.3   | 数值模型验证 .....                     | (159) |
| 6.3.1 | 初始条件 .....                       | (160) |
| 6.3.2 | 边界条件 .....                       | (160) |
| 6.3.3 | 计算结果及分析 .....                    | (161) |
| 6.4   | 万家寨水库不同水位对头道拐水文站流量影响的研究 .....    | (169) |
| 6.4.1 | 数值试验的计算工况 .....                  | (169) |

|       |                                       |       |
|-------|---------------------------------------|-------|
| 6.4.2 | 万家寨水库坝前水位对头道拐流量影响的判别标准 .....          | (170) |
| 6.4.3 | 头道拐水文站不同流量下水位阈值计算结果 .....             | (171) |
| 6.4.4 | 万家寨水库坝前水位与头道拐水文站水位壅高的计算结果及分析<br>..... | (171) |
| 6.4.5 | 数模结论 .....                            | (173) |
| 第7章   | 水库防凌调度 .....                          | (175) |
| 7.1   | 黄河上中游防凌运用水库情况 .....                   | (176) |
| 7.1.1 | 龙羊峡水库 .....                           | (176) |
| 7.1.2 | 刘家峡水库 .....                           | (176) |
| 7.1.3 | 海勃湾水库 .....                           | (177) |
| 7.1.4 | 万家寨水库 .....                           | (177) |
| 7.1.5 | 龙口水库 .....                            | (177) |
| 7.2   | 水库的防凌运用方式 .....                       | (178) |
| 7.2.1 | 刘家峡水库 .....                           | (178) |
| 7.2.2 | 海勃湾水库 .....                           | (179) |
| 7.2.3 | 万家寨水库 .....                           | (179) |
| 7.2.4 | 龙口水库 .....                            | (180) |
| 第8章   | 结论与建议 .....                           | (181) |
| 8.1   | 主要结论 .....                            | (181) |
| 8.1.1 | 万家寨水库运用对库区及河曲河段凌汛的影响 .....            | (181) |
| 8.1.2 | 头道拐断面小流量变化规律及影响因素 .....               | (181) |
| 8.1.3 | 黄河北干流河段凌汛影响因素分析 .....                 | (182) |
| 8.1.4 | 万家寨水库淤积形态 .....                       | (183) |
| 8.2   | 建 议 .....                             | (184) |
| 8.3   | 北方河流上水库对河道凌情的影响及水库运用方式 .....          | (185) |
| 8.3.1 | 水库对上游河道凌情的影响及其防凌运用方式 .....            | (185) |
| 8.3.2 | 水库对下游河道凌情的影响及其防凌运用方式 .....            | (185) |
| 参考文献  | .....                                 | (187) |

# 第 1 章 万家寨水利枢纽概况

万家寨水利枢纽位于黄河中游北干流上段托克托至龙口峡谷河段内。万家寨大坝位于东经  $111^{\circ}26'$ 、北纬  $39^{\circ}34'$ ，上距黄河上中游分界处托克托县河口镇断面 104 km，距头道拐水文站 114 km，下距天桥水电站 97 km；坝址左岸为山西省偏关县，右岸为内蒙古自治区准格尔旗。万家寨水库集水面积为  $394\,813\text{ km}^2$ ，约占黄河流域面积的 52.47%，其中干流入库站头道拐水文站控制流域面积  $367\,898\text{ km}^2$ 。坝址以上 14 km 处有支流杨家川汇入，流域面积  $1\,002\text{ km}^2$ ；坝址以上 57 km 处有红河（也称浑河）汇入，流域面积  $5\,533\text{ km}^2$ ；坝址以上 104.5 km 处有大黑河流入，流域面积  $17\,673\text{ km}^2$ 。万家寨水利枢纽地理位置见图 1-1。

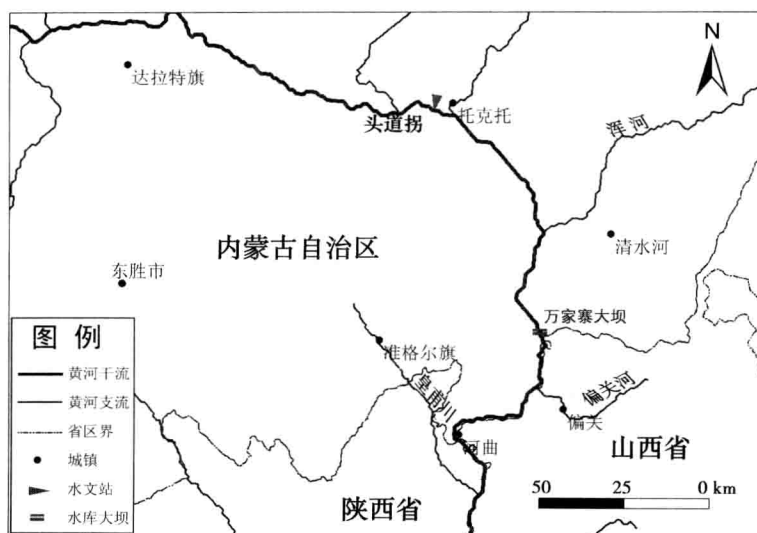


图 1-1 黄河万家寨水利枢纽地理位置

## 1.1 枢纽概况

### 1.1.1 自然环境

#### 1.1.1.1 气候特点

万家寨水库库区地处干旱半干旱区，主要受温带大陆性气候影响，冬季时间较长，春秋短促，四季分明。冬季主要受蒙古高压控制，多西北风，气候寒冷干燥；夏季受暖湿气流影响，降水较多。

万家寨水利枢纽附近多年平均降水量为 400 mm（河曲气象站 1961 ~ 2005 年），降水

年际和年内变率都很大。最大年降水量为 715 mm(1967 年),最小年降水量仅 211 mm(1965 年),最大日降水量可达 100 mm 以上(1994 年 7 月 7 日)。降水主要集中在夏季,且多短历时暴雨,7 月、8 月降水占全年降水的 50% 以上;冬季降水稀少,仅占全年降水的 2% 左右。万家寨库区夏季常发生局部强对流性暴雨,范围小、强度大、历时短,容易形成洪水灾害。

万家寨水利枢纽附近多年平均气温为 8.2℃(河曲气象站 1961~2005 年),气温年变幅和日变幅均很大。年平均气温最高为 9.7℃(1965 年),年平均气温最低为 6.5℃(1986 年);最高日平均气温为 31.8℃(1971 年 7 月 19 日),最低日平均气温为 -25.2℃(1998 年 1 月 18 日)。万家寨库区地处内陆腹地,邻近毛乌素沙漠,气候干燥,风沙较大,蒸发能力强,年水面蒸发量在 2 000 mm 以上。

#### 1.1.1.2 水文特征

万家寨水库的入库站为距坝 114 km 的头道拐水文站。该站多年平均径流量为 211 亿  $\text{m}^3$ (1952~2010 年),最大年径流量为 437 亿  $\text{m}^3$ (1967 年),最小年径流量为 102 亿  $\text{m}^3$ (1997 年),年径流量主要集中在 7~10 月,占全年径流总量的 50%。根据黄河水利委员会水文局研究成果,头道拐水文站 1956~2000 年多年平均年天然径流量为 331.7 亿  $\text{m}^3$ 。万家寨库区河段主要支流有浑河和杨家川。浑河上有放牛沟水文站,控制流域面积为 5 461  $\text{km}^2$ ,1954 年设站,1977 年 6 月改为汛期水位站,该站实测最大流量为 5 830  $\text{m}^3/\text{s}$ ,历年水位流量关系稳定。杨家川没有水文资料。在头道拐水文站下游 9.5 km 处有太黑河汇入,冬季基本无水汇入。

万家寨坝址的输沙量一部分来自河口镇以上,另一部分来自河口镇至万家寨区间所产生的泥沙。根据黄河勘测规划设计有限公司提出的河口镇站来水量与输沙量月相关线,计算河口镇站 1955~1986 年各月输沙量。经过支流浑河放牛沟站的侵蚀模数修正后,推算出河万区间(河口镇至万家寨区间)输沙量,将这两部分相加,得出万家寨河段 1955~1986 年各月平均输沙量。河口镇实测年输沙量为 1.41 亿 t,实测多年平均含沙量为 5.7  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。河口镇设计年输沙量为 1.08 亿 t,河万区间设计年输沙量为 0.41 亿 t,万家寨坝址设计年输沙量为 1.49 亿 t,设计含沙量为 6.6  $\text{kg}/\text{m}^3$ <sup>[1]</sup>。

#### 1.1.1.3 工程地质

万家寨水利枢纽两岸地层为寒武系和奥陶系碳酸盐岩。库区左岸岩溶地下水位高于库水位,补给库水;库区右岸岩溶地下水位较正常库水位低 90~100 m。右侧渗漏是水库的主要工程地质问题。渗漏形势为岩溶裂隙式渗漏,近岸 2 km 地带,在水库蓄水后仍保持较陡的水力坡度,为库水入渗区。远离岸边地带,在水库蓄水后水位抬高有限,基本保持原来的低缓状态,低缓带即为库水入渗的直接排泄区。根据边界条件估算,库区右岸岩溶渗漏在最高蓄水位 980.00 m 时,总渗漏量最大值为 10.63  $\text{m}^3/\text{s}$ ,最小值为 4.41  $\text{m}^3/\text{s}$ ,平均值为 6.85  $\text{m}^3/\text{s}$ 。

#### 1.1.2 库区形态

万家寨水库是一座峡谷型水库,库区两岸陡峻,大部分断面呈 U 形,平均库面宽为 350 m 左右,见图 1-2。干流入库站头道拐水文站以上的黄河内蒙古河段属平原型河道,



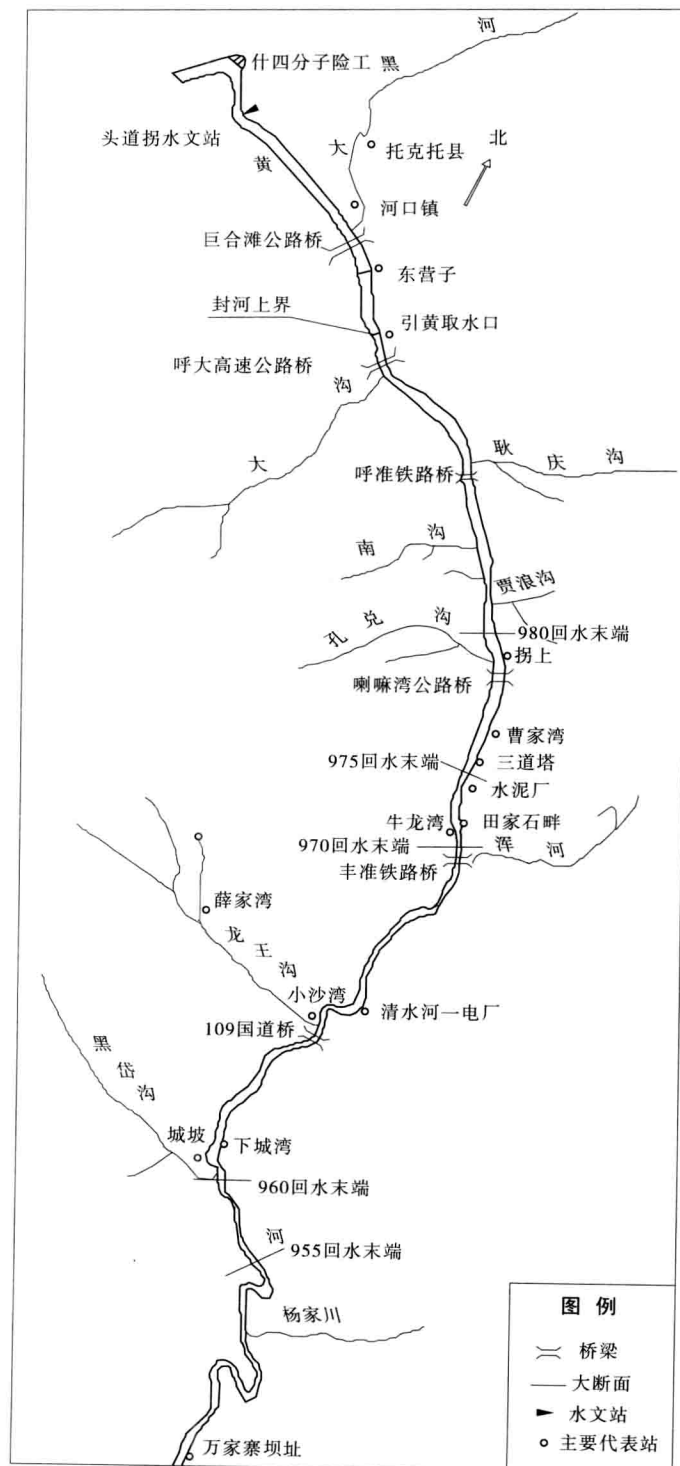


图 1-2 万家寨水库库区河道示意图

河床平均比降 0.114‰。头道拐到拐上(水库设计回水末端)河段是平原型河道向山区型河道的过渡段,其中:头道拐—大石窑河段长约 31 km,河床比降 0.112‰;大石窑—拐上河段长 10.8 km,河床比降 0.133‰。拐上以下的库区河道长 72 km,为山区型河道,河道狭窄,比降大,天然河道平均比降 1.07‰。

库区狭窄多弯,甚至还存在  $\Omega$  形的弯道。坝上 58 km 处牛龙湾为一 S 形弯道,其间河道断面宽度、河床比降变化大,加上有浑河入口及铁路桥,特殊的地形条件使冰凌在此下泄不畅,极易卡冰结坝,造成严重壅水现象。

1.1.3 水库设计

万家寨水库于 1998 年 10 月下闸蓄水,1998 年 12 月初第一台机组正式并网发电,2000 年 12 月 6 台机组全部建成投产。万家寨水利枢纽的主要任务是供水结合发电调峰,兼有防洪、防凌作用。万家寨水利枢纽属 I 等大(1)型工程,设计洪水标准为 1 000 年一遇,校核洪水标准为 10 000 年一遇。水库总库容 8.96 亿 m<sup>3</sup>,调节库容 4.45 亿 m<sup>3</sup>,最高蓄水位 980 m,正常蓄水位 977 m。年供水量 14 亿 m<sup>3</sup>,其中向内蒙古自治区准格尔旗供水 2 亿 m<sup>3</sup>,向山西省供水 12 亿 m<sup>3</sup>。万家寨水利枢纽基本特征见表 1-1。

表 1-1 万家寨水利枢纽基本特征

| 编号 | 分类          | 名称           | 数量或特征                   | 说明         |
|----|-------------|--------------|-------------------------|------------|
| 1  | 水库水位        | 最高蓄水位        | 980 m                   |            |
|    |             | 正常蓄水位        | 977 m                   |            |
|    |             | 校核洪水位        | 979 m                   |            |
|    |             | 设计洪水位        | 974 m                   |            |
|    |             | 防洪限制水位       | 966 m                   |            |
|    |             | 排沙期最高运用水位    | 957 m                   |            |
|    |             | 排沙期最低运用水位    | 952 m                   |            |
|    |             | 冲刷水位         | 948 m                   |            |
| 2  | 最高蓄水位时的水库面积 |              | 28.11 km <sup>2</sup>   |            |
| 3  | 回水长度        |              | 72.34 km                |            |
| 4  | 水库容积        | 总库容(最高蓄水位以下) | 8.96 亿 m <sup>3</sup>   | 原始库容       |
|    |             | 调洪库容         | 3.02 亿 m <sup>3</sup>   |            |
|    |             | 调节库容         | 4.45 亿 m <sup>3</sup>   |            |
|    |             | 死库容          | 4.51 亿 m <sup>3</sup>   | 相应水位 960 m |
| 5  | 下泄量         | 设计洪水位时的最大下泄量 | 7 899 m <sup>3</sup> /s | 表孔不参加泄洪    |
|    |             | 校核洪水位时的最大下泄量 | 8 326 m <sup>3</sup> /s | 表孔不参加泄洪    |

续表 1-1

| 编号 | 分类    | 名称                   | 数量或特征                    | 说明           |
|----|-------|----------------------|--------------------------|--------------|
| 6  | 流域面积  | 坝址以上                 | 394 813 km <sup>2</sup>  |              |
|    |       | 河口镇到万家寨区间            | 8 847 km <sup>2</sup>    |              |
|    |       | 支流杨家川                | 1 002 km <sup>2</sup>    | 入库口距坝址 14 km |
|    |       | 支流浑河                 | 5 533 km <sup>2</sup>    | 入库口距坝址 57 km |
|    |       | 支流大黑河                | 17 673 km <sup>2</sup>   | 在河口镇上游入黄河    |
| 7  | 径流量   | 多年平均年径流量(实测)         | 248 亿 m <sup>3</sup>     | 河口镇水位站实测     |
|    |       | 多年平均年径流量(设计)         | 192 亿 m <sup>3</sup>     |              |
| 8  | 代表性流量 | 多年平均流量(实测)           | 790 m <sup>3</sup> /s    |              |
|    |       | 多年平均流量(设计)           | 621 m <sup>3</sup> /s    |              |
|    |       | 实测最大流量               | 5 310 m <sup>3</sup> /s  | 河口镇水位站实测     |
|    |       | 调查历史最大流量             | 11 400 m <sup>3</sup> /s | 1969 年       |
|    |       | 设计洪峰流量( $P=0.1\%$ )  | 16 500 m <sup>3</sup> /s |              |
|    |       | 校核洪峰流量( $P=0.01\%$ ) | 21 200 m <sup>3</sup> /s |              |
| 9  | 洪量    | 实测最大洪量(15 d)         | 64.40 亿 m <sup>3</sup>   | 河口镇水位站实测     |
|    |       | 设计洪量(15 d)           | 102.08 亿 m <sup>3</sup>  |              |
|    |       | 校核洪量(15 d)           | 125.51 亿 m <sup>3</sup>  |              |

万家寨水利枢纽由拦河坝、泄水建筑物、坝后式电站厂房等建筑物组成。拦河坝为混凝土直线重力坝,坝顶高程 982 m,坝顶长 443 m,最大坝高 105 m。泄水建筑物位于河床左侧,包括 8 个 4 m×6 m 的底孔,底坎高程 915 m;4 个 4 m×8 m 的中孔,堰顶高程 946 m;1 个 14 m×10 m 的表孔,堰顶高程 970 m;5 个出口为 1.4 m×1.8 m 的排沙孔,坎底高程 912 m。电站厂房位于河床右侧拦河坝之后,单机单管引水,压力钢管直径 7.5 m,厂房内装有 6 台水轮发电机,单机容量 18 万 kW。水库泄水、引水建筑物布置尺寸见表 1-2。

表 1-2 万家寨水库泄水、引水建筑物布置尺寸

| 项目        | 排沙孔   | 底孔  | 中孔   | 表孔    | 引黄取水口 | 工业取水口         | 电站取水口   |
|-----------|-------|-----|------|-------|-------|---------------|---------|
| 进口底部高程(m) | 912   | 915 | 946  | 970   | 948   | 945.55~967.55 | 932     |
| 进口尺寸(m×m) | 3×2.4 | 4×6 | 4×8  | 14×10 | 4×4   | 1.4×1.6       | 7.5×8.5 |
| 孔数        | 5     | 8   | 4    | 1     | 2     | 4             | 6       |
| 所在坝段      | 13~17 | 5~8 | 9~10 | 4     | 2~3   | 18            | 12~17   |

枢纽工程挡水建筑物按 1 000 年一遇洪水设计和 10 000 年一遇洪水校核,同时进行枢纽挡水建筑物按 500 年一遇洪水设计和 5 000 年一遇洪水调洪计算。10 000 年一遇

洪水和5 000年一遇洪水的洪峰分别为 $21\,200\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $19\,800\text{ m}^3/\text{s}$ 时,调洪后的校核洪水位相应为979.1 m和977.79 m,其相应最大泄量分别为 $8\,326\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $8\,086\text{ m}^3/\text{s}$ 。万家寨水库水位、面积、库容和泄量关系见表1-3。

表 1-3 万家寨水库水位、面积、库容和泄量关系

| 高程<br>(m) | 面积<br>( $\text{km}^2$ ) | 原始库容<br>(亿 $\text{m}^3$ ) | 底孔泄量<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 中孔泄量<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 表孔泄量<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 总泄量<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) |
|-----------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 940.00    | 10.35                   | 1.78                      | 430                               |                                   |                                   | 3 440                            |
| 941.00    | 10.66                   | 1.89                      | 440                               |                                   |                                   | 3 520                            |
| 942.00    | 11.07                   | 2.00                      | 450                               |                                   |                                   | 3 600                            |
| 943.00    | 11.77                   | 2.10                      | 460                               |                                   |                                   | 3 680                            |
| 944.00    | 12.02                   | 2.22                      | 466                               |                                   |                                   | 3 728                            |
| 945.00    | 12.19                   | 2.32                      | 476                               |                                   |                                   | 3 808                            |
| 946.00    | 12.73                   | 2.45                      | 480                               | 0                                 |                                   | 3 840                            |
| 947.00    | 13.16                   | 2.57                      | 490                               | 8                                 |                                   | 3 952                            |
| 948.00    | 13.54                   | 2.70                      | 500                               | 20                                |                                   | 4 080                            |
| 949.00    | 14.18                   | 2.83                      | 506                               | 34                                |                                   | 4 184                            |
| 950.00    | 14.56                   | 2.95                      | 516                               | 44                                |                                   | 4 304                            |
| 951.00    | 14.82                   | 3.10                      | 520                               | 70                                |                                   | 4 440                            |
| 952.00    | 15.11                   | 3.24                      | 530                               | 90                                |                                   | 4 600                            |
| 953.00    | 15.29                   | 3.38                      | 540                               | 120                               |                                   | 4 800                            |
| 954.00    | 15.81                   | 3.54                      | 550                               | 140                               |                                   | 4 960                            |
| 955.00    | 16.09                   | 3.69                      | 560                               | 170                               |                                   | 5 160                            |
| 956.00    | 16.56                   | 3.86                      | 566                               | 208                               |                                   | 5 360                            |
| 957.00    | 16.87                   | 4.03                      | 570                               | 248                               |                                   | 5 552                            |
| 958.00    | 17.18                   | 4.20                      | 580                               | 290                               |                                   | 5 800                            |
| 959.00    | 17.51                   | 4.38                      | 584                               | 340                               |                                   | 6 032                            |
| 960.00    | 18.00                   | 4.54                      | 592                               | 380                               |                                   | 6 256                            |
| 961.00    | 18.33                   | 4.73                      | 600                               | 400                               |                                   | 6 400                            |
| 962.00    | 18.67                   | 4.92                      | 604                               | 420                               |                                   | 6 512                            |
| 963.00    | 19.16                   | 5.10                      | 610                               | 440                               |                                   | 6 640                            |
| 964.00    | 19.64                   | 5.28                      | 620                               | 460                               |                                   | 6 800                            |
| 965.00    | 19.89                   | 5.47                      | 624                               | 470                               |                                   | 6 872                            |
| 966.00    | 20.36                   | 5.66                      | 630                               | 490                               |                                   | 7 000                            |