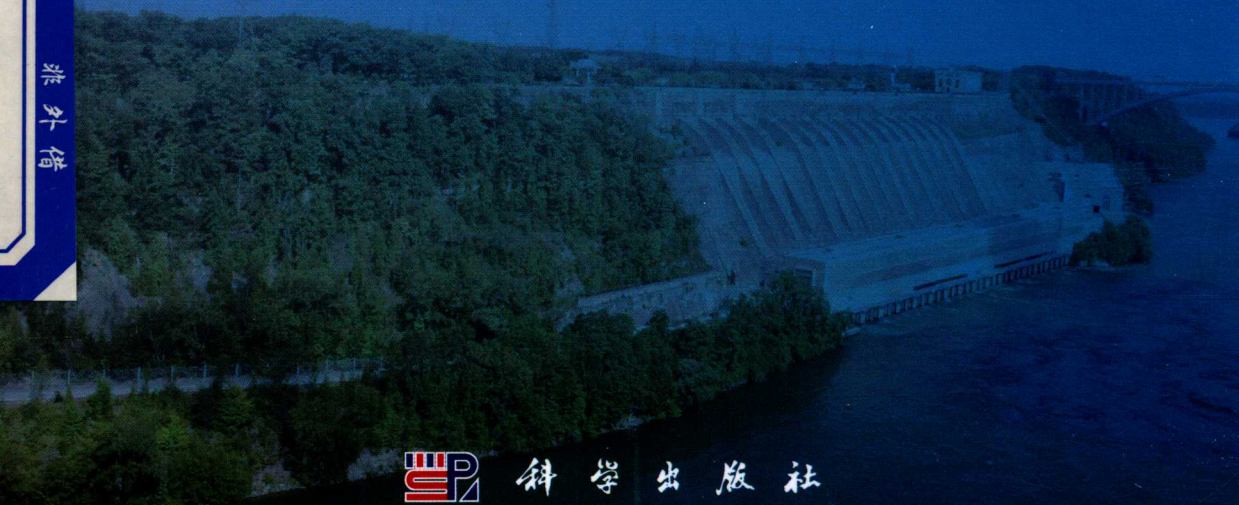




*Theory and Practice of Pumping Well Water to Melt Ice for Diversion Channel of
Power Station in Cold Regions*

寒区电站引水渠道抽水融冰 理论与实践

宗全利 刘焕芳 刘贞姬 郑铁刚 著



科学出版社

寒区电站引水渠道抽水融冰 理论与实践

Theory and Practice of Pumping Well Water to Melt
Ice for Diversion Channel of Power Station
in Cold Regions

宗全利 刘焕芳 刘贞姬 郑铁刚 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以新疆玛纳斯河流域红山嘴电站引水渠道为研究对象,采用原型试验、概化水槽试验、理论分析与数值模拟相结合的方法,开展了引水渠道抽水融冰机理、水温沿程变化规律、引水渠道不冻长度计算、单井和多井融冰过程模拟、井群优化布置等研究,最终获得了不同水力、热力、气候条件下抽水融冰运行优化参数,可为解决寒区引水式电站冬季运行冰害提供科学依据。

本书可供河冰研究人员、水电站设计、施工和管理人员及高等院校相关专业师生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

寒区电站引水渠道抽水融冰理论与实践=Theory and Practice of Pumping Well Water to Melt Ice for Diversion Channel of Power Station in Cold Regions/宗全利等著.—北京:科学出版社,2018.1

ISBN 978-7-03-056227-2

I. ①寒… II. ①宗… III. ①寒冷地区—抽水蓄能水电站—融冰化雪—研究 IV. ①TV743

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第323893号

责任编辑:范运年/责任校对:桂伟利

责任印制:张伟/封面设计:铭轩堂

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京九州迅驰传媒文化有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年1月第一版 开本:720×1000 1/16

2018年1月第一次印刷 印张:11

字数:219 000

定价:98.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

我国西北地区冬季严寒,气温低且冰期长,导致大多数引水工程的引水渠道产生不同程度冰灾,不仅影响渠道输水能力,对农业生产和人民生活也会产生一系列影响,所以引水渠道冰害是寒区引水式电站冬季运行必须解决的一个关键问题。目前对水电站引水渠道冰害防治包括渠首蓄冰运行、渠首排冰运行、渠道冰盖运行、渠道排冰运行、抽水融冰等方法。实践证明,应用抽水融冰解决水电站冬季运行冰害是一项经济、安全、可行的技术措施。

然而,抽水融冰机理、引水渠道水温沿程变化规律、引水渠道不冻长度理论计算、单井和多井运行参数变化模拟、井群优化布置等关键科学问题尚停留在经验阶段,缺少理论计算依据。因此,在国家自然科学基金等项目的支持下,本次研究对上述关键问题进行全面、系统地研究,多次到新疆玛纳斯河流域红山嘴电站引水渠道进行实地勘察和原型观测,并开展引水渠道抽水融冰机理、水温沿程变化规律、引水渠道不冻长度计算、单井和多井运行参数变化模拟、井群优化布置等内容,最终获得不同水力、热力、气候条件下抽水融冰运行优化参数,为解决寒区引水式电站冬季运行冰害提供科学依据。本书为研究成果的总结,包括抽水融冰机理、原型观测与概化水槽试验、不冻长度理论分析、单井和多井数值模拟四部分内容,重点阐述抽水融冰的机理和各关键因素产生的影响规律,最终通过数值模拟提出井群优化布置方案。

抽水融冰机理部分在系统介绍玛纳斯河流域气象水文概况、红山嘴电站及其引水渠道冰情、抽水融冰井的基本概况基础上,重点分析了引水渠道冰害形成的过程和凿取地下水注入引水渠以提高渠水水温、融化冰花的抽水融冰机理,即温度较高的井水($9.6\sim 10.6^{\circ}\text{C}$)注入温度较低渠水($0.1\sim 0.2^{\circ}\text{C}$),使混合后水温保持在 $0.5\sim 2.8^{\circ}\text{C}$,保证渠道水流不形成冰花。

原型观测和概化水槽试验部分系统研究抽水融冰过程中水温变化、冰花密度和冰水合流速的沿程分布规律,分析了水温、冰花密度及冰水合流速与冰花消融耦合关系,为抽水融冰的进一步应用奠定理论基础。通过对红山嘴电站二级引水渠进行原型观测试验,获得一级、二级引水渠融冰井的出水温度、流量等基本参数;分别在未注井水、单井注水、双井注水和多井注水情况下进行多组不同渠水流量和井水流量的水槽试验,对抽水融冰运行过程的

气候、水力和热力条件进行全面观测。

不冻长度理论计算部分探索井水流量、大气温度、风速等水力、热力和气候条件对不冻长度的影响规律,建立不冻长度的统一计算公式;依据红山嘴电站二级引水渠的实测数据,给出该电站不冻长度的计算公式,并与原苏联萨费罗诺夫公式、香加水电站公式、新疆水利水电勘测设计院公式、金沟河公式等计算结果进行了对比分析。

单井和多井运行参数变化模拟部分以新疆玛纳斯河流域红山嘴电站为例,选取最具代表性的5[#]井,分别模拟了单井运行条件下井水流量、渠道流量、井水温度、渠道水温及流量和温度同时变化等不同边界条件下引水渠道水温变化过程,分析了各因素变化对渠道水温的影响规律;以红山嘴电站二级引水渠道的9[#]、10[#]、11[#]井为例建立三维紊流多井数学模型,分别模拟不同渠道引水流量和大气温度工况下引水渠道的沿程水温变化,分析了融冰井群运行过程中引水渠道沿程水温变化及各井之间的耦合影响作用,给出了不同渠道引水流量和不同大气温度条件下不冻长度计算结果和井群的合理布置优化方案,建立了不同气候、水力、热力条件下抽水融冰井群运行优化参数方案;同时应用抽水融冰数学模型建立三维水温计算模型,以某一典型水温分层型水库为实例,对不同工况下库区水温分布进行模拟研究。

本书得到国家自然科学基金委员会项目“高寒区引水式电站冬季运行抽水融冰机理及运行参数优化研究”(51269028)及“国家人力资源和社会保障部2015年度出国留学人员科技活动择优资助项目”的资助,在此表示感谢。参加本项研究的本校人员主要有:宗全利、刘焕芳、刘贞姬、吴素杰、黄酒林、赵梦蕾,另外中国水利水电科学研究院的郑铁刚高级工程师,新疆兵团勘测设计院(集团)有限责任公司的王子坚高级工程师、张小燕高级工程师也参与了本项研究。在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

作者

2017年9月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.2 研究现状及存在问题	3
1.2.1 影响水电站运行的冰类型	3
1.2.2 冰对水电站建筑物及设备的影响	5
1.2.3 水电站常用防冰措施	8
1.2.4 抽水融冰技术应用现状	10
1.2.5 冰水二相流研究方法	11
1.2.6 存在问题	14
1.3 选题意义及研究内容	14
1.3.1 选题意义	14
1.3.2 研究内容	16
第 2 章 引水渠道抽水融冰机理	18
2.1 玛纳斯河流域概况	18
2.1.1 自然地理位置及自然概况	18
2.1.2 流域地形、地貌及河相	19
2.1.3 流域气候特征	19
2.1.4 玛纳斯河水系特征	20
2.1.5 玛纳斯河水文特征及演变规律	21
2.2 红山嘴电站概况	23
2.3 引水渠道及冰情概况	24
2.4 抽水融冰井的基本概况	25
2.5 抽水融冰机理	29
2.5.1 引水渠道冰害形成过程	29
2.5.2 抽水融冰基本原理	30
2.6 引水渠道冬季运行的设计要求	31
2.6.1 结冰的引水渠道	32

2.6.2	不结冰的引水渠道	33
2.6.3	供输送冰凌和冰块用的引水渠道	33
2.6.4	输凌情况下渠道中的水流速度	35
2.6.5	渠道转弯的允许半径	38
2.6.6	根据冰凌冰结条件确定的稳定流渠段的最大长度	42
2.7	引水渠道消除冰害的设计方法	43
2.7.1	由渠道输凌	43
2.7.2	在渠道中形成冰盖层	47
2.8	本章小结	49
第 3 章	抽水融冰原型试验	51
3.1	试验方案	51
3.2	试验结果及分析	52
3.2.1	观测期间气温变化	52
3.2.2	融冰井及引水渠道水温	52
3.2.3	融冰井后明渠沿程水温变化规律	54
3.2.4	水井前后 5m 附近明渠水温变化规律	54
3.2.5	引水渠道沿程水温变化规律	55
3.3	本章小结	58
第 4 章	抽水融冰概化水槽试验	59
4.1	试验平台搭建	59
4.1.1	试验装置	60
4.1.2	试验方案	61
4.2	水温沿程变化规律	64
4.2.1	无井水注入	64
4.2.2	单井注水	65
4.2.3	双井注水	75
4.2.4	多井注水	82
4.3	冰花密度变化规律	90
4.3.1	渠水流量对冰花密度影响规律	90
4.3.2	井水流量对冰花密度影响规律	92
4.3.3	气候条件对冰花密度影响规律	94
4.4	渠水合流速的影响规律	95
4.5	本章小结	97

第 5 章 抽水融冰引水渠道不冻长度计算	99
5.1 研究背景	99
5.2 不冻长度的理论分析	100
5.3 计算结果及分析	104
5.3.1 红山嘴电站引水渠道实测结果	104
5.3.2 红山嘴电站引水渠道不冻长度计算	105
5.3.3 与其他公式的对比	109
5.3.4 不冻长度的影响因素分析	110
5.4 本章小结	113
第 6 章 单井条件下抽水融冰过程概化模拟	115
6.1 研究背景	115
6.2 抽水融冰基本数学模型及验证	116
6.2.1 基本数学模型	116
6.2.2 基本数学模型验证	118
6.3 红山嘴电站引水渠道单井抽水融冰模型建立	123
6.3.1 计算模型及网格生成	123
6.3.2 边界条件	124
6.4 模拟结果及分析	124
6.4.1 模拟结果与实测结果对比	124
6.4.2 不同边界条件下水温变化过程模拟	126
6.4.3 流量与温度同时变化对抽水融冰效果的影响	130
6.5 本章小结	132
第 7 章 多井条件下抽水融冰过程概化模拟	134
7.1 研究背景	134
7.2 红山嘴电站引水渠道多井抽水融冰模型建立	135
7.2.1 研究区域	135
7.2.2 模型建立及网格生成	136
7.2.3 求解方法和边界条件	137
7.3 模拟结果及分析	138
7.3.1 模拟结果验证	138
7.3.2 水流速度和温度模拟结果分析	139
7.4 不同边界条件下水温变化过程模拟	142
7.4.1 井水流量变化对渠道混合水温的影响	142

7.4.2 井前渠道水温变化对渠道混合水温的影响	144
7.5 井群合理优化布置	145
7.5.1 不同井前渠道流量条件下井群的合理布置	146
7.5.2 不同大气温度条件下井群的合理布置	146
7.6 本章小结	147
第 8 章 抽水融冰数学模型在水温分层型水库中的应用	149
8.1 水库水温的变化特性	149
8.2 抽水融冰水温模型在分层水库的应用	150
8.2.1 水动力学方程	150
8.2.2 温度方程	152
8.2.3 边界条件	152
8.2.4 工程实例	153
8.2.5 结果分析与讨论	153
8.3 本章小结	162
参考文献	163

第1章 绪 论

我国高纬度地区河流在冬季经常形成冰盖、冰塞或冰坝,冰情比较严重的地区有:新疆地区、东北地区和黄河流域,其中新疆由于地形复杂、气候特征等不同,形成的河流冰情与其他地区有所不同。中华人民共和国成立以来,为了满足当地经济和社会发展需要,西北的新疆、甘肃、青海三省(区)修建了大量水电工程,其中多数为引水式水电站,这些水电站的引水渠道冬季运行会产生不同程度冰害,这不仅影响渠道输水能力,对农业生产和人民生活等都会产生一系列影响,因此引水渠道冰害是寒区引水式电站冬季运行必须解决的一个关键问题。

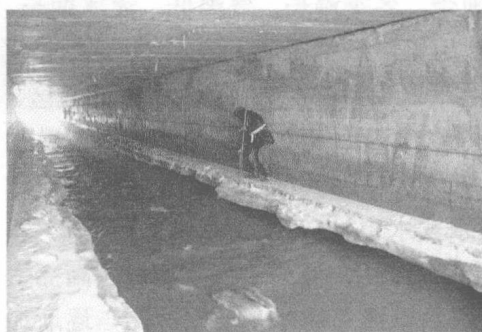
1.1 研究背景和意义

我国西北部地区海拔高,位于高寒地带,冬季漫长、气温低,流冰期长。如新疆玛纳斯河流域年平均气温 5.9°C , 历年最低气温 -39.8°C , 每年负气温持续天数平均 130 多天, 冬季累积负气温平均为 -1454°C , 属典型高寒地区。为了满足当地经济和社会发展需要,我国修建了大量水电工程,中华人民共和国成立后至 20 世纪 80 年代,仅西北新疆、甘肃、青海三省(区)就已建成中小型水电站 1400 余座,其中多数为引水式水电站(王瑞庭, 1982)。为了获得一定发电水头,引水式电站一般修建几公里至几十公里的引水渠道(高需生和靳国厚, 2003)。在电站冬季运行中,引水渠道中的冰花层层冻结,逐渐加厚,甚至完全堵塞过水断面,形成冰害,使得渠道输水能力大大降低,甚至出现冰水漫堤、渠道损坏等现象,对周围生态环境、渠道安全输水及水电站安全发电等都产生很大影响(吕德生等, 2004)。因此,引水渠道冰害是高寒地区引水式电站冬季运行必须解决的一个关键问题。

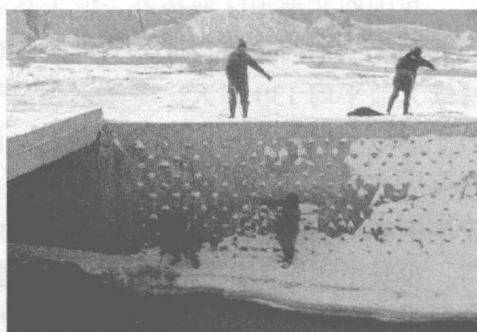
目前,水电站引水渠道冰害防治的主要方法有:渠首蓄冰运行、渠首排冰运行、渠道冰盖运行、渠道排冰运行及渠水增温运行等(邓朝彬, 1986; 杨芳, 1995; 李长军和王铁军, 1999; 黄惠花, 2010)。渠水增温运行是一种比较理想的解决冻害的方法,该方法主要是给渠道来水补充热量,以提高水温,使引水渠道不结冰,保证冬季输水畅通。渠水增温运行既可消融冰花,省去

排冰消耗的人力和水量(一般冬季约 30%~50%水量要用来排冰),又可增加发电水量,同时可控性较强。增温方法主要有引泉水融冰和抽取地下水融冰两种,其中引泉水融冰主要在泉水资源丰富地区才可能应用,我国仅在青海省祁连县牛板筋水电站有所应用,该水电站从 1978 年引泉水入渠后,渠内水温增高 0.8°C ,使全长 2.7km 的渠道内冰花消融,冬季运行正常(杨芳,1995);与引泉水融冰相比,抽取地下水融冰(简称抽水融冰)应用范围则不受此限制,只要当地有可利用地下水资源均可应用。

实践证明,在高寒地区应用抽水融冰解决水电站冬季运行冰害是一项经济安全可行的技术措施。但该技术许多关键问题,如抽水融冰机理、引水渠道水温沿程变化规律、引水渠道不冻长度理论计算、单井和多井运行参数变化模拟、井群优化布置等都是依靠经验,缺少理论计算依据,导致该技术在应用中出现较多问题。如 2011 年冬季,新疆红山嘴电站遭受了本地区 1956 年以来降温幅度最大、持续时间最长的一次强降温天气,虽然将抽水融冰井泵全部投入运行,但一级电站前池及渠系仍然结冰严重,需要人工打冰(图 1.1)。可见该电站抽水融冰设计和计算存在一定问题,抽水融冰应用的一些关键理论及技术问题迫切需要解决。



(a) 平顶暗渠内部打冰时的情形



(b) 平顶暗渠口打冰时的情形

图 1.1 2011 年新疆玛纳斯河红山嘴电站引水渠冰害情况

图片来源于 2012 年红山嘴电站厂区宣传栏

随着新一轮西部大开发战略的实施,今后西部地区将成为经济和生态发展的重要地区,因此以新疆玛纳斯河红山嘴电站冬季抽水融冰为研究对象,采用原型观测、水槽试验、理论分析和数值模拟等方法,对抽取地下水对渠道水内冰的融解机理,对引水渠沿程水温及典型断面水温变化规律、冰花密度和冰水合流速沿程变化规律,水力、热力和气候条件与不冻长度之间定量

关系式，以及井群优化布置等一系列问题进行研究，为引水式电站冬季运行抽水融冰提供理论依据与技术支持，保障高寒区引水式电站能够全冬季发电，对当地居民生态环境、生活生产等方面均具有重要意义。

1.2 研究现状及存在问题

1.2.1 影响水电站运行的冰类型

冰对水电站各种枢纽及各个构成部分的影响多种多样，并与河流挟带的或水工建筑物范围内结成的冰的种类、数量，气温和其他气象条件，挟冰水流的水力状况，以及各种水工建筑物结构形式等因素有关。

下面列举的各种冰类型均会对水电站产生重要影响(图 1.2)。

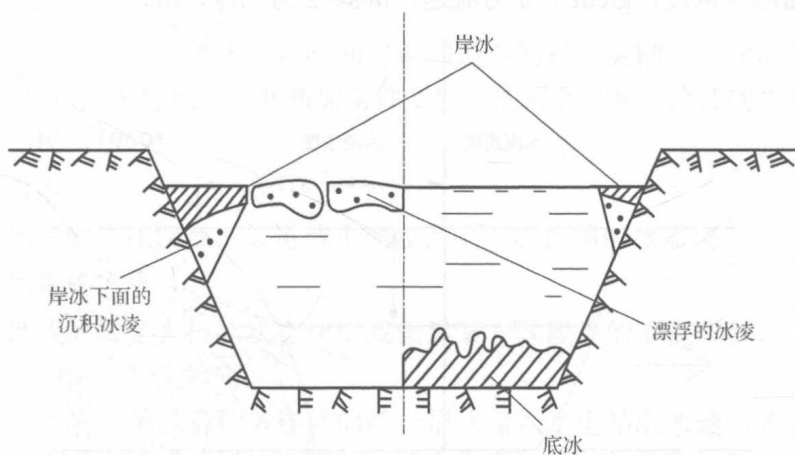


图 1.2 引水渠道中形成冰的类型

1) 面冰

面冰主要结于水面，在寒冷空气的影响下，因结晶作用或由于大量冰凌及冰上的积雪覆盖层冻结而成的。冰的密度从 0.92g/cm^3 (结晶冰) 至 0.85g/cm^3 (多孔的凌成冰或雪成冰) 不等。水电站管理人员所见到的水盖层厚度，在每年冬季里各不相同。在水工建筑物附近观察所得的最大冰层厚度一般为 1m ，观测的冰层厚度增长的最大速度为每昼夜 2cm 。解冻天气时，冰盖层的融化速度超过其增长速度 $4\sim 6$ 倍(杜一民，1959)。

2) 挂结冰

挂结冰是结在水工建筑物和闸门表面的结晶冰，由许多薄层冻结而成。

这种冰的强度很高，同时它的温度和气温相近。由于冷气积蓄在冰层内，挂结冰的融化很缓慢。

3) 冰凌

冰凌是一种疏松的冰团，根据水流速度的不同形成大小不等的零散颗粒，遍布在水流深度处游动或成片地在水面上浮动。冰凌常以不同的形状出现：片状和针状的冰凌是活动性最强的一种冰凌，易于冻结在它所绕流过的物体表面；扁豆状和球状的冰凌多出现在山区河流，易于通过各种水工建筑物而不冻结在建筑物的表面。河流所挟带冰凌数量在个别情况下可能达到河流数量的 10%~15%。冰凌颗粒不冻结在一起时的凌团密度为 $0.6 \sim 0.65 \text{g/cm}^3$ 。随着水流速度增加，冰凌颗粒就逐渐地被带入水流深处。不致发生散裂的片状冰凌的最大流动速度是 $1.8 \sim 2.0 \text{m/s}$ ，如图 1.3 所示，图中， S 为冰凌浓度， g/cm^3 ； S_0 为表面冰凌浓度， g/cm^3 ； u 为流速， m/s ； z 为水深， m 。

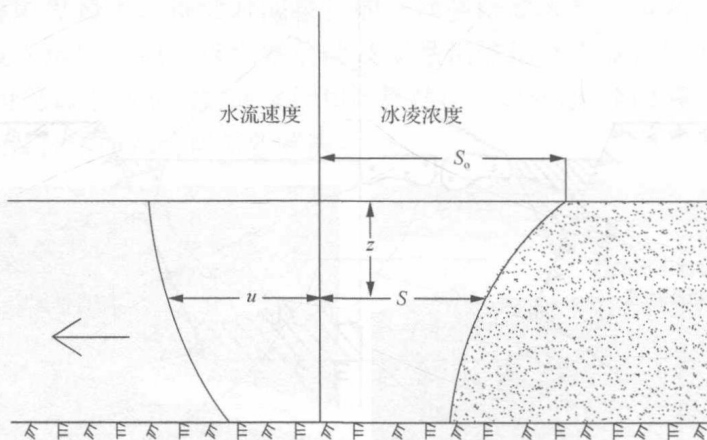


图 1.3 水流中水内冰的浓度示意图

4) 底冰

底冰是分布在河底上，在具有适合冻结和聚集等水利条件的区域形成的水内冰。底冰有两种：一种是结晶底冰，是水内冰晶体增大使得水底结冰增多所致；另一种是集结底冰，是冰的零散颗粒在水压力作用下碰到障碍物或相互碰撞到一起冻结而成。

底冰是否沉陷，是由水流的冰冷程度，以及冻结后的底冰所受的浮力与其同河底的黏结力之间的关系来确定。漂浮后的底冰如同冰凌一样游动于水流中。

5) 雪凌

雪凌是水流挟带的雪团, 由于降雪或暴风雪的刮送, 雪落到河中。雪凌具有不同的形状, 视河水的冰冷程度和雪片的温度而定。当水温零度时, 雪团是疏松的, 碰到途中的物体极易散开; 当水和雪的温度低于零度时, 雪团就变得密实, 且具有较高的冻结性。河流中的雪量各不相同, 主要视暴风雪活动猛烈流域的长度(或水电站引水渠道长度)而定。

下面所列举的冰冻作用, 也会影响水电站的各种建筑物。

1) 流冰

流冰是面冰于某一时间内在河道或渠道中的稳定流动。对于平原河流, 这种现象在春、秋两季表现的特别显著。对于山区河流, 河中流冰只是在解冻天气时才发生, 这是一种短期的现象。

2) 流凌

流凌是冰凌或雪凌于一定时间内在河道中的稳定流动。一次流凌时间可达5~6昼夜而不停歇。根据高加索许多河流的观测结果, 流凌的平均时间为14h(杜一民, 1959)。

3) 封冰

封冰是面冰在河道、渠道或水池表面上结成稳固的冰盖层。

4) 冰锥或冰堆

冰锥或冰堆是大批冰块在河道或渠道某一区段上的混乱集积, 因而使冰块及冰凌的流动发生障碍。

由于冰流均是以多种多样冰的结合形式流入水电站取水建筑物, 受单一种类冰的影响很少见。流冰通常与凌团及雪团的流动相结合, 在流凌中可看到混入的冰块; 而在流域中具有稳固雪盖层的地方, 流凌则常与雪凌的流送结合。

1.2.2 冰对水电站建筑物及设备的影响

1) 水工建筑物前冰块的聚集

河中流下的冰流大量阻截在水电站上游, 以致不能通过各种建筑物。在各种专门用途的建筑物(进水口、沉沙池及压力前池)所形成的冰块, 或各种枢纽由于结构上的特点所要求的水岸局部扩展所形成的水域中的冰块, 都可能发生沉积。

冰块聚集的产生与流速较小的冰盖层的增长有关, 同时也与从水电站上

游河段或渠段流下来的大批冰块有关。

冰盖层对建筑物的作用主要表现为一种作用力,当气温增高时,与建筑物相接触的冰便会膨胀,这时建筑物(坝、闸门等)就会受这种力的作用。通常小型水电站的坝体并不大,冰压力这一因素不起主要作用,所以设计时通常不予考虑。

在水电站上游形成的冰盖层前端边缘时常拦阻和聚集着大批由河流带来的冰块、冰凌和雪团,并形成大小不同的冰堆和冰坝。这种大量冰的聚集现象对建筑物没有很大影响,且当冰盖层具有足够厚度时,冰堆本身也可能是稳定的。

如果坝前水位涨落不定,冰盖层就会变得不稳固,崩裂开来,冰块移近建筑物,形成了大量的冰块聚集。冰块在水压力作用下逼近建筑物,升到水位以上就从建筑物上边越过,造成危险情况。

在引水式水电站的压力前池中经常会见到大批聚集的冰块,从引水渠道流到电厂枢纽的全部冰块都会集蓄其中。压力前池的主要作用在于调节流入水轮机的水量,使冰凌由输水管排除(当水电站采用这种方法时),以及把多余的冰块排到水电站建筑物以外。这时拦污栅被凌片和冰层所覆盖,压力前池全部被冰凌、雪团和冰块所充塞,以及河水流入输水管受阻拦等现象都属于压力前池冬季运行中最普遍的难题。冰块聚集在引水渠道建筑物范围内的主要危险是因为引水渠道的容量有限,形成的冰堆便迅速沿水流向上游方向扩展,直至冰块和冰凌充塞渠道和隧道的大部分水流断面,使河水流向下游段受到阻碍。

2) 引水渠道中水流断面的充塞情况

视冰块大小和水流速度的不同,流经水电站的水流能够挟送一定数量的冰块。当水力状况改变,即当流速减小时,或冰块流动遇到障碍时,可能破坏冰块的流动。

在明渠中,流动在水面的冰块、冰凌和雪团挤压保护渠岸的渠壁。当水流表面全部充满大量冰块时,一部分小冰块和冰凌就会冻结到渠道岸壁上,从而给冰块的流动造成附加阻力。

随着水流中冰块充塞程度的增加,冰块和凌团相互发生阻制作用,因而促使水面上形成冻结在一起的巨大冰块。在某些水力和热力条件下冰块会停滞不动。从水道上游流来的冰凌和冰块便阻留在障碍物附近,且逐渐地形成冰堆。

当渠道流量突然降低时,冰堆可能结成另一种稍微不同的形状。在挟冰

量相同情况下,水流速度和深度的减小会因冰块与渠壁和渠底所产生的挤压而形成冰块拦滞的有利条件,这是流速值的显著改变和流速场的重新分布的缘故。

渠道断面内各种结构类型的障碍物起着类似冰堆的作用。这些障碍物包括桥台和桥墩、泄凌道和泄雨道的支座及其他类似的建筑物等。渠道断面的缩减是从各种支座周围的冻结及断面宽度和深度上的冰块逐渐聚集开始的。

在闭合型断面的引水隧洞和输水管中,漂起的冰凌会碰擦到壁面,挟凌水流是在特殊条件下流动的,因此这种水流容易引起意外事故。沿隧洞或输水管流动的冰块像在明渠中流动一样,对流速的变化很敏感。如当流速降低20%~25%时,冰凌的稳定流动就可能破坏。这时大批的冰凌漂浮起来,落到靠壁的流速降低的地方,它们同壁面发生强烈的碰擦,互相阻挤;当流速和挟冰量之间有了一定程度的配合时,冰凌就会滞留下来,这时便引起隧洞或输水管中全部的冰块都停止不动。

输水管入口和机组本身是水电站运行的重要部分,这些地方也经常发生冰害。在输水管入口处可能聚集着大批冰块;在机组的引水通道(涡壳及吸出管)中,当通过水输机的流量不大及水流中充满着大量冰凌时,也可能聚集冰块。

如果无压引水隧洞从水面到拱顶有足够的空间,不致妨碍漂浮水面的冰块的流动,那么挟冰水流沿无压隧洞的流动就会像在明渠中流动一样。

3) 建筑物表面的冻结情况

闸门表面、拦河坝表面、渠壁、输水管壁、拦污栅和水轮机导水机构等表面发生冻结,是冰害的最普遍形式。防治这种冰害也是极其困难的,因为要对所有建筑物表面进行保暖是不现实的。被冰层覆盖的原因有下列几种:闸门上面溢水或波浪增涨,止水垫漏水,拦河坝受压面潮湿变化,薄层的水量从溢水道溢流及急流槽中波浪激溅等。被河水冲刷的建筑物表面多半由于水流挟带的冰块和冰凌冻结于其上而发生结冰。桥墩、闸孔扶壁、拦污栅的栅条和导水机构的导叶通常就是这样发生冻结的。

当输水管中流速小且气温低时,输水管中就会结冰。在个别情况下,输水管中结成的冰壳厚度可达10~15cm(杜一民,1959)。

4) 水轮机工作部分和冷却系统的冻结情况

当过冷的水流影响水电站的水力机械设备时,常造成严重的冰害。水轮机导水机构的导叶和转轮轮叶结冰,会引起水轮机壳体中被冰凌及冰块所充塞。最普通的冰害是水轮机的吸出管结冰及水轮机排出池被冰块充塞。给水

系统的管道结冰会引起机组轴承过热, 严重破坏水电站的运行。

1.2.3 水电站常用防冰措施

1. 水电站中常用的消除冰害方法

防冰的主要任务是将其排除到水工建筑物范围以外的地方。第一种防冰方法是苏联在 20 世纪 50 年代广泛使用的多种结构的泄凌措施, 其中应用最广泛的是高斯顿斯基、瓦维洛夫泄凌道, 这种泄凌道在许多水电站中应用。但这些泄凌道的效率都很低(不超过 8%~10%)。

第二种防冰方法是拦污栅加热, 这在一定程度上可以削弱冰的影响, 在中型及大型水电站冬季运行中被视为确实可靠的方法。但对小型水电站来说, 这种方法在经济上不合算, 所以加热法过去只在极少的场合下被采用。

上述这两种防冰方法仍然不够完善。为了清除壅塞的冰块、流送冰块及打碎冰块, 过去电站冬季运行时需要耗费大量的劳力。排出冰凌又得耗用大量的河水, 仅一次流凌所泄的冰凌量就会达几万立方米之多。

最近几十年里, 在水电站冬季运行防冰方面已做了重要改进, 水工建筑物运行新方法和防冰新设施的运用大大地减少了水电站运行的意外事故。

下面所列举的水电站冬季运行的一些主要方法被认为是最通行的方法, 这些方法常根据不同的冰情互相配合应用。

(1) 在水电站上游集蓄冰块。这种方法在苏联中亚细亚和外高加索地区的水电站应用最广泛。其主要目的是在水电站上游河段和壅水曲线区内拦阻大部分的冰流。河中流来的冰块常滞留于上游所结成的冰盖层边缘。冰堆能把大部分的冰流拦住, 因而水电站的运行十分便利。

(2) 由引水渠道排出冰凌和冰块。当水电站的上游延伸很长及冰流很大时, 排出冰块常常成为保障水电站正常运行的一项措施。对于引水式水电站来说, 冰块难以经下游排除, 所以一般由引水建筑物排除冰块。

(3) 引水渠道防寒法。引水渠道防寒法有两种: 第一种方法是在水电站前方的河面结成整片连续的冰盖层, 避免渠道中形成冰凌, 并保证冰凌从冰层下面通过。第二种方法是把别处引来的热水直接供送到拦污栅以减少拦污栅结冰的危险, 同时使冰凌便于通过水轮机。有些水电站为了防止渠道水结冰而设置渠道覆盖。

(4) 通过水轮机泄放冰凌。这种运行方法曾经最常用, 因为这时排除冰凌所耗用的水量最少。所谓通过水轮机泄放冰凌, 就是在水电站建筑物及设备