

贯流式 水电站

沙锡林 主编 陈新方 游赞培 孔令兵 副主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

贯流式水电站

主 编 沙锡林
副主编 陈新方
游赞培
孔令兵



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是作者根据自己多年的工作实践并在广泛收集国内外有关资料的基础上,系统总结了我国多年来建设贯流式水电站、研制贯流式水轮发电机组的经验,全面论述了贯流式水电站的基本理论和基本知识,内容丰富、资料翔实。主要包括:贯流式水电站的动能设计、厂房设计;贯流式水轮机的结构、选型设计、水力性能、试验研究;贯流式水轮发电机的选择;贯流式水电站的过渡过程、辅助设备、自动化以及贯流式水轮发电机组的安装与检修等。

本书可供从事水力资源开发的工程技术人员使用,也可供大中专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

贯流式水电站/沙锡林主编. —北京:中国水利水电出版社,1999.12
ISBN 7-80124-820-1

I. 贯… II. 沙… III. 贯流式水轮机-水力发电站 IV. TV74

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第55182号

书 名	贯流式水电站
作 者	沙锡林 主编
出版、发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京密云红光排版厂
印 刷	北京密云红光印刷厂
规 格	787×1092毫米 16开本 23.75印张 556千字
版 次	1999年12月第一版 1999年12北京第一次印刷
印 数	0001—3100册
定 价	48.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

贯流式水电站是指采用贯流式水轮发电机组、开发低水头水力资源而建造的水电站。这种水电站的枢纽布置、厂房结构设计、动能经济计算、装机规模与机型选择计算等等与常规电站相比，有不同的要求和特点。贯流式水电站一般工程量少、建设周期短、见效快、便于集资，因此发展很快。从20世纪60年代开始，水头在25m以下的水电站，国际普遍采用贯流式水电站，贯流式水轮发电机组的单机容量也越来越大。1989年日本投运的只见水电站，贯流式机组的单机出力已达65MW，水轮机转轮直径6.7m；1985年美国投运的悉尼墨累贯流式水电站(SIDNEYA MURRAY)水轮机转轮直径达8.2m，单机容量24MW，共8台；1983年加拿大投运的安纳波利斯潮汐电站，采用全贯流式潮汐水轮发电机组，转轮直径7.6m，额定出力17.8MW。

我国可采用贯流式水电站的资源丰富。据不完全统计，我国经过规划的、水头在25m以下，规模在25MW以上的水电站，总计约13400MW，年发电量约600亿kW·h，还有大量的25MW以下小型贯流式水电站和潮汐电站，有很好的发展前景。1993年我国在建与拟开工建设的贯流式水电站约30座，总装机容量达3000MW。截止1996年全国建成的贯流式水电站13座，总容量546.3MW，共34台机组。已建的一批中型贯流式水电站都有建设条件好、淹没损失小、施工快等特点。一座50~100MW的电站从开工到第一台机组发电一般用2~4年时间即可完成，有利于降低工程投资，如白坨贯流式水电站，电站水头6.2m，比常规立式机组节约总投资22.6%；马骊滩贯流式水电站节约总投资24%。由于贯流式机组比立式转桨式水轮发电机效率高，电站还可多发电3%~5%。

本书总结了我国多年来建设贯流式水电站和研制贯流式水轮发电机组的经验，广泛收集国内外有关资料，全面论述贯流式水电站的基本理论和基本知识。本书由沙锡林任主编；陈新方、游赞培、孔令兵任副主编，陈新方、游赞培负责全书的统稿工作。全书由河海大学季盛林教授负责审稿。各章节的内容及参加编写的人员有：前言，沙锡林；第一章，概论，沙锡林、孔令兵、游赞培；第二章，贯流式水电站的动能设计，戴力群、欧阳启麟；第三章，贯流式水电站厂房设计，殷长令；第四章，贯流式水轮机选型设计，游赞培；第五章，贯流式水轮机水力性能，陈新方、游赞培；第六章，贯流式水轮发电机的选择，杜长泉；第七章，灯泡贯流式水电站过渡过程，匡和碧；第八章，灯泡贯流式水轮机结构，王曰平；第九章，贯流式水轮机的试验研究，赵春明；第十章，贯流式水电站的辅助设备及自动化，杨类琪、翁映标、张如汉、胡盛禄；第十一章，灯泡贯流式机组安装检修，冯衍祥；第十二章，潮汐电站，陈新方。在编写过程中尚得到河海大学、珠委设计院、杭州小水电研究所、富春江水电设备总厂、马迹塘水电站等有关部门和同志的协助，还得到了中国水利水电出版社领导的大力支持。在此谨向以上的部门及有关关心、帮助本书出版的同志一并致谢。

由于我们水平和经验所限，错误与不足之处，希望读者批评指正。

目 录

前 言

第一章 概论	1
第一节 贯流式水电站的形式.....	1
第二节 贯流式水轮机的发展概况.....	4
第三节 贯流式机组的应用范围.....	8
第二章 贯流式水电站的动能设计	10
第一节 贯流式水电站动能设计的特点.....	10
第二节 电站装机容量的确定.....	21
第三节 电站调峰下游非恒定流计算.....	34
第三章 灯泡贯流式水电站厂房设计	39
第一节 电站枢纽建筑物布置特点.....	39
第二节 厂房布置设计.....	41
第三节 厂房结构设计.....	45
第四节 工程实例.....	47
第四章 贯流式水轮机选型设计	55
第一节 水轮机选型设计的任务、原则和步骤.....	55
第二节 水轮机的选型设计.....	57
第三节 几种常用的水轮机参数优选方法.....	69
第四节 特殊工况的利用.....	79
第五章 贯流式水轮机水力性能	85
第一节 贯流式水轮机的水流运动.....	85
第二节 贯流式水轮机过流部件水力损失.....	86
第三节 贯流式水轮机的能量与空化特性.....	100
第四节 贯流式水轮机的可逆特性.....	104
第五节 贯流式水轮机转轮的水力计算.....	107
第六节 水轮机流道尺寸计算.....	117
第六章 贯流式水轮发电机的选择	132
第一节 贯流式水轮发电机组结构方式的选择.....	132
第二节 贯流式水轮发电机电气参数的选择.....	137
第三节 灯泡式水轮发电机通风冷却方式的选择.....	174
第七章 灯泡贯流式水电站过渡过程	184
第一节 概述.....	184
第二节 大波动过渡过程特征和分类.....	185

第三节	灯泡贯流式机组水轮机特性曲线的特点	191
第四节	灯泡贯流式水轮发电机组大波动过渡过程的计算机解法	199
第五节	关闭规律的优化	212
第六节	灯泡贯流式水轮机调节系统小波动稳定性分析	212
第八章	灯泡贯流式水轮机结构	218
第一节	灯泡贯流式机组总体布置	218
第二节	灯泡机组的有限元分析	223
第三节	埋设部件	228
第四节	导水机构	231
第五节	转轮与转轮室	234
第六节	主轴与主轴密封	236
第七节	水导轴承	237
第八节	组合轴承	238
第九章	贯流式水轮机的试验研究	240
第一节	概述	240
第二节	水轮机的相似理论	240
第三节	贯流式水轮机的模型试验系统	246
第四节	贯流式水轮机的模型试验	252
第五节	综合特性曲线的绘制	259
第十章	贯流式水电站的辅助设备及自动化	263
第一节	贯流式水轮机调节设备的选择	263
第二节	压缩空气系统设计	269
第三节	技术供水与排水设计	272
第四节	油系统设计	286
第五节	电站通风采暖系统设计	291
第六节	贯流式水电站自动化	297
第十一章	灯泡贯流式机组安装检修	305
第一节	埋设部件的安装	305
第二节	贯流式水轮机的安装	310
第三节	灯泡式发电机的安装	326
第四节	检修管理	339
第十二章	潮汐电站	352
第一节	我国潮汐资源及开发利用	352
第二节	潮汐资源的开发方式	358
第三节	潮汐发电的经济分析	361
第四节	潮汐发电机组	364
第五节	潮汐电站机组防腐蚀及防污损	368
参考文献		371

第一章 概 论

我国低水头水力资源十分丰富。尤其是华东、中南等沿海地区，工农业生产发达，用电需求量增加较快，但能源紧缺，这一地区水力资源仅占全国水力资源总量的10%左右，可开发的中、高水头水力资源在目前已剩下不多。为满足该地区工农业生产迅速发展的需要，开发利用低水头水力资源（包括沿海的潮汐资源）已引起各方面的关注。贯流式水电站是开发低水头水力资源较好的方式，一般应用于25m水头以下。它与中、高水头水电站、低水头立轴的轴流式水电站相比，具有如下显著的特点。

(1) 电站从进水到出水方向基本上是轴向贯通。如灯泡贯流式水电站的进水管和出水管都不拐弯，形状简单，过流通道的水力损失减少，施工方便。

(2) 贯流式水轮机具有较高的过流能力和大的比转速，所以在水头和功率相同的条件下，贯流式水轮机直径要比转桨式小10%左右。

(3) 贯流式水电站的机组结构紧凑，与同一规格的转桨式机组相比其尺寸较小，可布置在坝体内，取消了复杂的引水系统，减少厂房的建筑面积，减少电站的开挖量和混凝土量，根据有关资料分析，土建费用可以节省20%~30%。

(4) 贯流式水轮机适合作可逆式水泵水轮机运行，由于进出水流道没有急转弯，使水泵工况和水轮机工况均能获得较好的水力性能。如应用于潮汐电站上可具有双向发电、双向抽水和双向泄水等六种功能。因此，很适合综合开发利用低水头水力资源。

(5) 贯流式水电站一般比立轴的轴流式水电站建设周期短，投资小，收效快，淹没移民少，电站靠近城镇，有利于发挥地区兴建电站的积极性。

第一节 贯流式水电站的形式

贯流式水电站的形式一般采用河床式水电站布置，电站厂房是挡水建筑物的一部分，厂房顶有时也布置成泄洪建筑。由于水头较低，挡水建筑大部分采用当地材料坝，以土石坝为主，广东的白坭贯流式水电站则采用橡胶坝作为挡水建筑物，在洪水期则作为泄洪建筑，降低了工程投资。有的电站由于河流地形、地质条件的特点，也采用引水式布置，如我国四川安居、湖南南津渡水电站则采用明渠引水式的布置。贯流式水电站也常有航运、港口通航的要求，枢纽中设有船闸、升船机等建筑。

贯流式水电站一般处于地形比较平坦，离城镇比较近，水量比较丰富的地点，枢纽的总体布局应认真研究，与当地地区经济发展规划相结合（例如除发电以外的灌溉、水产、环境保护、旅游资源的综合利用），以发展水力资源的深度开发，增加贯流式水电站的经济效益。

贯流式水电站的动能计算、枢纽的布置等与一般水电站一样，与当地地形、人文条件有密切的关系，需要在具体设计中经过勘测设计、科学研究和技术经济方案的比较而确定。

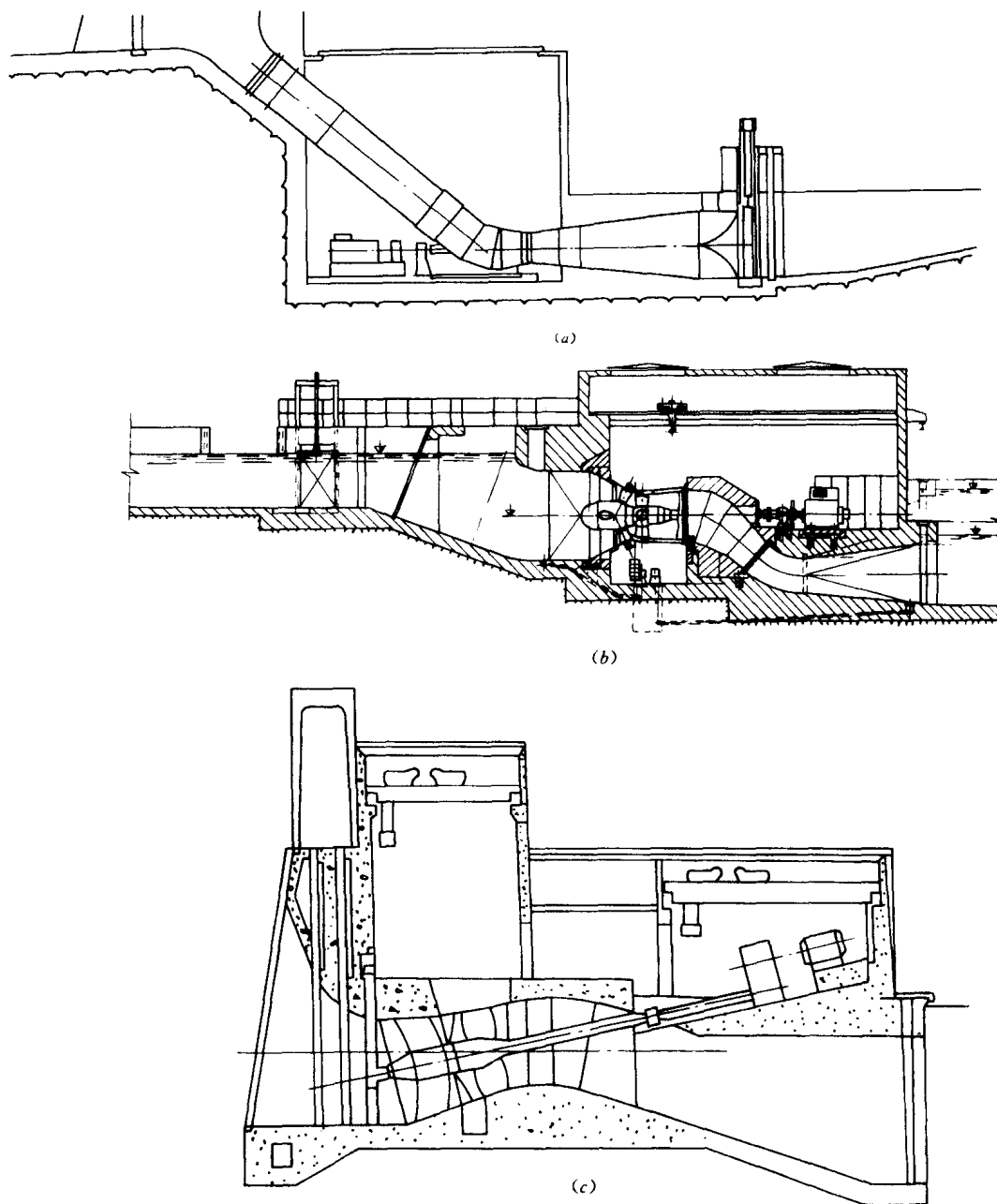


图 1-1 轴伸贯流式水电站剖面图
 (a) 前轴伸; (b) 后轴伸; (c) 斜轴伸

但贯流式水电站，尤其是它的厂房结构与布置，受贯流式机组形式的影响很大。按常规采用的贯流式机组形式，可把贯流式水电站形式划分为半贯流式水电站和全贯流式水电站两类。半贯流式水电站又可分为轴伸贯流式、竖井贯流式和灯泡贯流式水电站三种。轴伸式、竖井式两种一般应用在小水电站上，大、中型水电站一般采用灯泡贯流式。现按水轮发电机组形式分述如下。

1. 轴伸贯流式

这种贯流式水轮发电机组基本上采用卧式布置,水流基本上沿轴向流经叶片的进出口,出叶片后,经弯形(或称S形)尾水管流出,水轮机卧式轴穿出尾水管与发电机大轴连接,发电机水平布置在厂房内。

轴伸贯流式机组按主轴布置的方式可分成前轴伸、后轴伸和斜轴伸等几种,如图1-1所示。这种贯流式机组与轴流式相比没有蜗壳、肘形尾水管,土建工程量小,发电机敞开布置,易于检修、运行和维护。但这种机组由于采用直弯尾水管,尾水能量回收效率较低,机组容量大时不仅效率差,而且轴线较长,轴封困难,厂房噪音大都将给运行检修带来不便。所以,一般只用于小型机组。

2. 竖井贯流式

这种机组主要特点是将发电机布置在水轮机上游侧的一个混凝土竖井中,发电机与水轮机的连接通过齿轮或皮带等增速装置连在一起,如图1-2。该机组除具有一般贯流式水轮机的优点外,因发电机和增速装置布置在开敞的竖井内,通风、防潮条件良好,运行和维护方便,机组结构简单,造价低廉。例如福建省幸福洋潮汐电站建于80年代末,采用竖井式机组,其单位千瓦的投资为2107元。如果采用灯泡式机组,单位千瓦投资将达4760元,是竖井式的2.26倍。由于竖井式具有以上优点,所以广泛应用于小型电站机组上。这种机组的缺点为因竖井的存在把进水流道分开成两侧进水,增加了引水流道的水力损失,一般竖井式机组的水力效率比灯泡式要降低3%左右,如果要作为反向发电,其效率下降更多。单机容量比较大的机组以采用灯泡贯流式机组为宜。

3. 灯泡贯流式

这种机组的发电机密封安装在水轮机上游侧一个灯泡形的金属壳体中,发电机主轴与水轮机转轮水平连接。水流基本上轴向通过流道,与轴对称流过转轮叶片,流出直锥形尾水管,如图1-3。机组的轴系支承结构、导轴承、推力轴承都布置在灯泡体内。由于贯流式水轮机水流畅直,水力效率比较高,有较大的单位流量和较高的单位转速,在同一水头、同一出力下,发电机与水轮机尺寸都较小,从而缩小

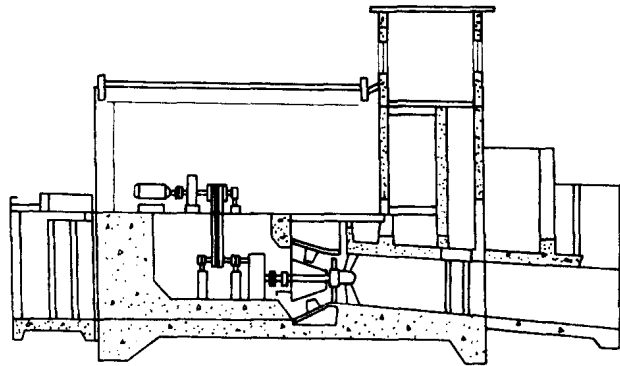


图 1-2 竖井贯流式水电站剖面图

厂房尺寸,减少土建工程量。但是发电机装在水下密闭的灯泡体内,给电机的通风冷却、密封、轴承的布置和运行检修带来困难,对电机设计制造提出了特殊的要求,增加了造价。但它与立式轴流式机组相比仍具有明显的优点。灯泡贯流式机组近20年来已积累了许多成功的经验,并逐渐向较高水头和较大容量发展,在国内外得到广泛应用。

4. 全贯流式

这种机组采用卧式布置,发电机的转子磁极与水轮机转轮叶片合为一体,发电机的磁极直接安装在水轮机叶片的外缘上,密封隔离磁极与流道内的水流,防止渗漏,如图1-4。

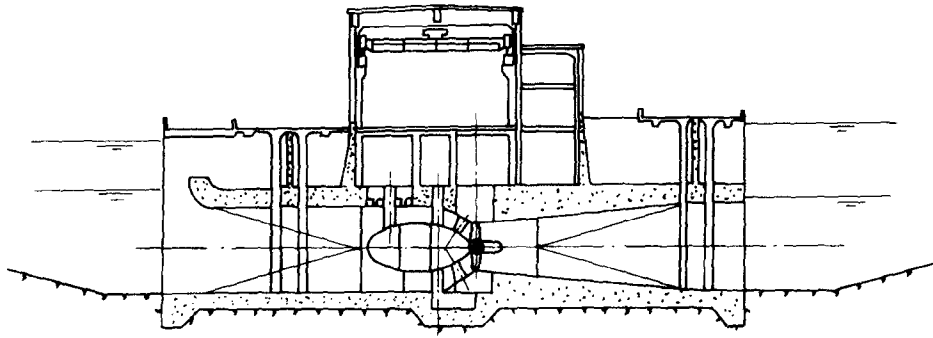


图 1-3 灯泡贯流式水电站剖面图

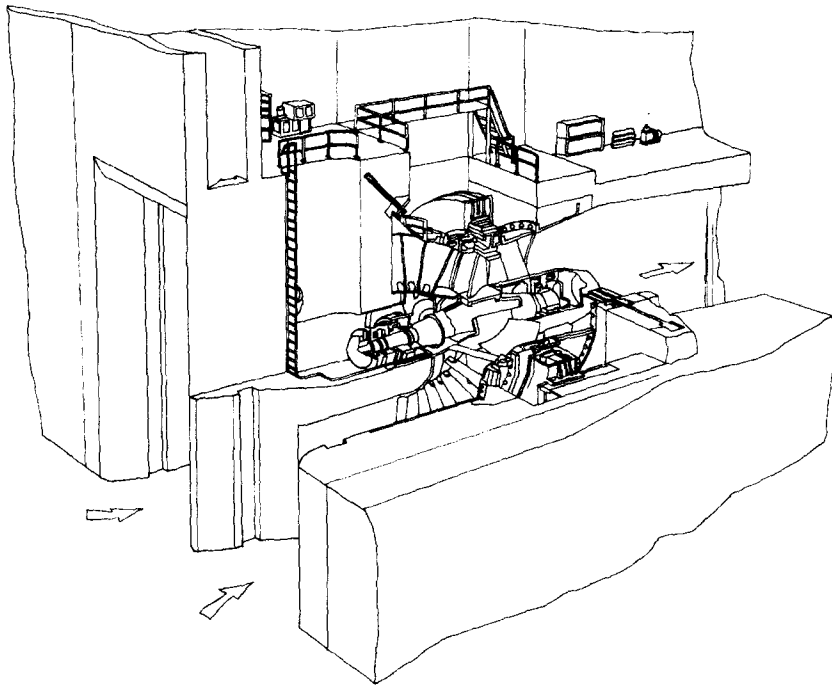


图 1-4 全贯流式水电站剖面图

该机型的主要特点为：取消了水轮机与发电机的传动轴，缩短了轴线尺寸，结构紧凑，厂房尺寸减少，使整个工程造价降低，而且增大了机组的转动惯量，有利于机组的运行稳定性。但叶片与发电机转子连接结构比较特殊，制造工艺要求很高，转子轮缘的密封复杂，我国目前尚处试验研究阶段。

第二节 贯流式水轮机的发展概况

贯流式水电站是随着贯流式水轮发电机组的研制发展而发展的。各种贯流式机组的发

展概况分述如下。

一、全贯流式水轮发电机组的发展概况

全贯流式机组的设想最早是由美国人哈尔扎 (Harza) 于 1919 年提出来的。由于它的发电机布置在水轮机转轮的轮缘外, 因此, 它的发电机又称为轮缘式发电机。这类机组实际上发电机转子和水轮机的转轮已结合为一体, 因此厂房跨度很小, 可节省大量土建投资。但它的密封技术要求特别高。经过瑞士爱舍维斯 (Escher Wyss) 公司近 20 年的努力, 于 1937 年制造出第一台样机安装在德国的莱茵河上。单机容量为 1753kW, 转轮直径为 2.05m, 最大水头 9m。此后经过若干次改进, 目前单机容量最大的机组也是由爱舍维斯公司制造, 安装在加拿大的安纳波利斯 (Annapolis) 电站, 于 1983 年投产。该机组最大出力达 20MW, 转轮直径 7.6m, 最大应用水头 7.1m。目前全世界已有 100 多台套这类机组投入运行。

我国对这类机组的研究和应用均较少, 目前正在研制 500kW 级机组, 已通过鉴定的、在运行的机组为武汉汽轮机厂生产、安装在湖北白莲河水库渠首电站的机组。容量为 120kW, 转轮直径 1.2m, 最大运行水头 5m。世界各国部分大中型全贯流式机组部分参数列于表 1-1。

表 1-1 世界各国部分全贯流式机组参数

序号	投产年份 (年)	电站名称	国别	形式	转轮直径 (mm)	最大水头 (m)	台数	转速 (r/min)	容量	
									单机 (kW)	装机 (kW)
1	1937	莱茵 VI (Lelervll)	德国	STH*	2050	9.0	4	250	1753	7012
2	1939	莱茵 VI (Lelervll)	德国	STH	2100	9.2	3	214.3	1867	5601
3	1943	萨阿拉赫 (Saalach)	奥地利	STH	1950	8.45	2	214.3	1365	2700
4	1980	昂代纳 (Andenne)	比利时	STH	3550	5.25	3	107.1	3500	10500
5	1980	利克塞 (Lixhe)	比利时	STH	3550	7.91	4	120	5850	23400
6	1980	赖瓦 (Raiva)	葡萄牙	STH	3300	18.2	2	200	12840	25680
7	1981	亨格 (Hongg)	瑞士	ST	3000	3.48	1	115.4	1499	1499
8	1982	魏思佐德尔 (Weinzodl)	奥地利	ST	3700	13.16	2	150	8343	16686
9	1983	安纳波利斯 (Annapolis)	加拿大	STH	7600	7.11	1	50	19900	19900
10	1983	阿博伊索 (Aboisso)	科特迪瓦	STH	3200	6.1	2	125	3489	6978
11	1987	白莲河渠首	中国	STH	120	5.0	1	214.3	120	120

* STH 为定桨导叶可调, ST 的双调型。

二、灯泡贯流式机组的发展概况

为了克服全贯流式机组密封技术困难的问题, 爱舍维斯公司于 1933 年提出了将发电机

密闭于一个容器中且前置于水轮机前流道的全新设计方案，并于同年正式获得专利。首台机组于 1936 年安装在波兰的诺斯汀 (Rostin) 电站并成功投产。该机组容量为 195kW，转轮直径为 1.95m，水头 3.7m。因其发电机外形类似于白炽灯泡的形状而被称为灯泡贯流式机组。由于其结构和技术性能等许多方面均优于全贯流式机组，20 世纪 50~60 年代因西方能源危机转而进入重视开发低水头电站的时期，这类机组便显示了强大的生命力。1966 年由法国奈尔皮克 (Neyrpic) 公司制造的机组，安装在法国罗讷河的皮埃尔·贝尼特电站上，单机出力为 20MW，转轮直径为 6.25m，水头为 8m，标志着灯泡贯流式机组技术已成熟。目前全世界投产的灯泡贯流式机组已有几千台套，总容量已超过 6000MW。目前已运行电站装机容量最大的为美国石岛电站，共 8 台机组，总装机为 432MW，单机出力 54MW，转轮直径 7.4m，水头 12.1m。单机容量最大的为日本只见电站，达 65MW，直径 6.7m，最大水头 20m。转轮直径最大的为美国悉尼墨累电站，达 8.2m。世界各国部分大型灯泡贯流式机组参数列于表 1-2。

表 1-2 世界各国部分大型灯泡贯流式机组参数

序号	电站名称	国别	装机容量 (MW)	单机容量 (MW)	水头 (m)			转轮直径 (m)	流量 (m ³ /s)	转速 (r/min)	投运年份 (年)
					最大	额定	最小				
1	皮埃尔·贝尼特	法国	80	20	12.5	7.8	3.5	6.1	333	83.3	1966
2	博凯尔	法国	210	35	15.3	10.7		6.25	400	93.8	1970
3	鲁西荣	法国	240	40		12.5		6.25	400	93.8	1977
4	阿尔顿沃尔顿	奥地利	360	40	18.07	14.0	10.5	6.0	334	103.4	1973
5	雷辛	美国	49.2	24.6	7.0	6.2		7.7	444	62.1	1977
6	杰瑞夫斯顿	奥地利	139.5	16.5	15.0	12.5		6.5	430		1981
7	萨拉托夫	前苏联	360	45	15.7	10.6	6.5	7.5	528	75	1972
8	石岛	美国	432	54	15.5	12.1	6.0	7.4	481	85.7	1977
9	只见	日本	65.8	65.8	24.3	20.7		6.7	353	100	1989

我国对灯泡贯流式机组的研制从 60 年代开始，到 1980 年广东白坭电站 10MW 级机组投产，标志着我国已基本掌握灯泡贯流机组的制造技术。目前国产灯泡机单机容量最大的为 15.5MW，转轮直径为 5.5m，最大运行水头为 11.5m。正在研制的单机容量已达 20MW，直径 6.4m。合作生产的单机容量最大已达 35MW，直径为 6.4m。我国大型灯泡贯流式机组的部分参数见表 1-3。

三、轴伸贯流式机组的发展概况

轴伸贯流式机组由德国人库尼 (Kühne) 于 1930 年发明并获专利。首台机组由瑞士爱舍维斯公司设计，1952 年由阿里斯查密尔 (Allis Chaimers) 公司制造，安装在美国密执安州的劳沃波恩特 (Lower Paint) 电站，单机容量为 166kW，转轮直径为 0.76m，水头 6.1m。该类机组发电机在流道外，具有安装、检修维护方便的特点，而被广泛应用于低水头的中、小型电站中。这类机组根据发电机的位置又可分为前轴伸、后轴伸和斜轴伸等三种。目前世界上已运行的单机容量最大的为美国的奥扎尔卡 (Ozark) 水电站，容量为 25.2MW，转

轮直径 8m, 设计水头 9.8m, 于 1965 年投产。这类机组的尾水流道经常布置成 S 形, 所以又称为 S 形贯流式机组。

我国目前已运行单机容量最大的为 1995 年投产的广东省罗定双车水电站, 单机容量为 2MW, 转轮直径为 2.75m, 最大水头 8m。国内外轴伸贯流式机组部分参数列于表 1-4。

表 1-3 国产部分大型灯泡贯流式机组参数

序号	电站名称	台数	装机容量 (MW)	单机容量 (MW)	水头 (m)			转轮直径 (m)	流量 (m ³ /s)	转速 (r/min)	投运年份 (年)
					最大	额定	最小				
1	白坭	2	20	10	10.0	6.2	3.0	5.5	205	78.9	1984
2	安居	2	31	15.5	9.6	8.0	3.5	5.5	222.8	88.2	1991
3	马骊滩	3	46.5	15.5	11.5	7.5	2.5	5.5	239	90.9	1992
4	都平	2	30	15	11.0	7.4	3.3	5.5	231	88.2	1992
5	白石窑	4	72	18	12.18	7.8	3.0	5.8	263	85.7	1996
6	江口	2	40	20	12.1	7.3	3.0	6.4	316.7	78.9	1997
7	百龙潭	6	192	32	18.0	9.7	3.0	6.4	377.5	93.8	1996

表 1-4 国内外部分轴伸贯流式机组参数

序号	电站名称	国别	台数	装机容量 (kW)	单机容量 (kW)	转轮直径 (m)	水头 (m)	转速 (r/min)	投产年份 (年)
1	劳沃波恩特 (Lower Paint)	美国	1	166	166	0.76	6.1	514	1952
2	杰斯特霍峰 (Gerst hofen)		5	9750	1950	2.10	8.9	200	1958
3	奥扎尔卡 (Ozark)	美国	5	126000	25200	8.0	9.8	60	1965
4	韦伯斯法尔斯 (Webbers Falls)		3	69150	23050	8.0	8.1	60	1967
5	柯尼尔 (Cornill)		3	31110	10370		11.0	100	1972
6	吉波尔 戴韦 沃拍门特 (Gibor Devel opment)				3500		19.0	262	1979
7	艾坝	中国	3	3750	1250	2.0	8.0	187.5/750	1986
8	丁桥	中国	3	3750	1250	1.8	9.4	300	1989
9	双车	中国	3	6000	2000	2.75	6.5		1995

四、竖井贯流式机组发展概况

竖井贯流式机组是将发电机布置于转轮前流道中的空心“闸墩”内的另一类贯流式机组。由于其空心“闸墩”提供的空间远比灯泡机组的密封仓要大得多, 可以布置增速齿轮

以提高发电机转速,从而减少造价,因此适用于更低水头。由于空心“闸墩”有如坑井,所以也被称为坑井贯流式机组。目前世界上单机容量最大的竖井贯流式机组安装于美国的路易斯安那州的威达利亚电站。单机容量 25MW,转轮直径 8.2m,于 1986 年投产。

我国目前竖井贯流式机组应用较少,且限于小型机组。国内外竖井贯流式机组的部分参数列于表 1-5。

此外,我国自行设计制造的适用于潮汐电站的双向式多工况运行的贯流式机组也已在浙江江夏潮汐电站运行多年(详见第十二章)。

表 1-5 国内外部分竖井贯流式机组参数

序号	电站名称	国别	台数	装机容量 (MW)	单机容量 (MW)	转轮直径 (m)	水头 (m)	转速 (r/min)	投产年份 (年)
1	Vidalia (威达利亚)	美国	8	200	25	8.2	6.1	52.2 (T) 600 (G)	1986
2	Vargonz (华尔刚)	瑞典	1	14.2	14.2	6.1	5.2	65.9 (T) 750 (G)	1986
3	墨累 (Murray)	美国	2	38.8	19.4		5.03	45.3 (T)	1985
4	Mohawk (莫哈华克)	美国	1	3.16	3.16	4.5	4.42	70.0 (T) 900 (G)	1986
5	高尚	中国	4	1.0	0.25	2.0	2.8		1981
6	淮安运西	中国	10	2.3	0.23	1.6	2.6	150 (T) 600 (G)	1976

第三节 贯流式机组的应用范围

我国对贯流式机组的研究起步较晚,且进展缓慢。除灯泡贯流式机组已有大型机组外,其他各类贯流式机组的单机规模基本上还限于小型,同时各类贯流式水轮机的转轮品种很少。因此贯流式水轮机的型谱目前尚未正式编制出来。现参考国外有关资料列出各类贯流式水轮机的适用范围列于表 1-6,供使用中参考。

表 1-6 贯流式水轮机适用范围

水轮机形式	适用水头 (m)	流量 (m ³ /s)	容量 (MW)	备注
全贯流式	小于 40	8~900	1.5~90	新型结构、轮缘式发电机
灯泡贯流式	小于 25	4~900	2.5~90	
轴伸贯流式	小于 25	4~90	0.25~30	
整装齿轮传动灯泡式	小于 8	3~21	0.1~1	
整装皮带传动全贯流式	小于 12	7~100	0.4~6	
竖井贯流式	小于 9	4~500	0.1~30	

表 1-6 仅是根据一般情况分类,实际应用时各类水轮机根据不同的叶片数尚可具体划

分水头应用范围。国内一般认为灯泡贯流式机组的应用尚受到灯泡直径限制，即认为当水轮机转轮直径 $D_1 \leq 2.5\text{m}$ 时灯泡空间进入比较困难，应考虑选用其他形式的贯流式机组或改用整装灯泡贯流式机组。

现将国内部分贯流式水轮机转轮的应用范围列于表 1-7，供参考。

表 1-7 国内部分贯流式水轮机转轮应用范围

类别	转轮型号	使用水头 (m)	模型直径 (mm)	试验水头 (m)	轮毂比	叶片数	最优工况				一般设计工况			
							n_{110} (r/min)	Q_{110} (m ³ /s)	η_{max} (%)	σ_M	n_{11} (r/min)	Q_{11} (m ³ /s)	η_M	σ_M
灯泡贯流式	GZ003	不大于 12	250		0.4	4	130	1.60	90.5	0.8	174.3	2.72	82.2	1.8
	GZF02	不大于 18	350		0.428	4	153	1.58	91.9	1.06	180	2.90	88.3	2.06
	GZSK111B	不大于 18	350	0~20	0.428	4	150	1.60	92.3	0.6	180	2.76	88.0	1.66
	GZTF07	不大于 18	300	3~6	0.4	4	155	1.75	91.9		184	2.89	88.3	2.04
	GZTF08	不大于 12	300	3~6	0.4	3	181	1.92	91.2	1.05	210	3.4	85.4	2.7
	GZTF09	不大于 25	300	4		5	145	1.65	92.6	0.62	160	2.3	90.8	1.22
	GZA391a	不大于 18	350			4								
轴伸贯流式	GZ004	不大于 6	250	1.5	0.35	4	170	1.65	86					
	GZ006	不大于 12	250			4	160	1.2	90.4	0.8	180	2.5	81	1.29
	GZ008	不大于 7	250			3	180	1.6	89		200	3.0	82.5	
	GZ007	不大于 18	250			5	135	1.39	91.4		160	2.4	87.5	

第二章 贯流式水电站的动能设计

贯流式水电站的动能设计应以河流（流域或河段）规划为基础，根据各开发目标的要求，在广泛收集和分析本地社会经济、自然资源、电力系统、生态环境，以及综合利用的基本资料和基本要求的基础上进行，必须遵循和贯彻国家的有关政策和行业产业政策，贯彻执行《中华人民共和国水法》，符合有关专业的规程规范要求，其精度应满足各设计阶段的要求。进行具体水能参数的计算，提供工程规模和装机容量，水能参数如保证出力、保证电量、多年平均发电量等指标，经综合分析和论证，选定工程规模及特征值。

第一节 贯流式水电站动能设计的特点

在河流的中下游段，随着坡降的逐渐变缓，地势逐渐开阔，两岸农田和居民点逐渐密集，中、高水头蓄水式水电站的开发已不现实，而河流的中下游段，水量资源比较丰富，为了充分加以利用，只能选择低水头电站开发。低水头水电站可选用的水轮发电机组包括贯流式机组和立式轴流机组。通常将装置贯流式机组的水电站简称为贯流式水电站，它是开发利用低水头水力资源的最好形式。贯流式水电站属于低水头水电站，因此具有低水头水电站的一般特点。本文以后提到的贯流式水电站均指低水头水电站，包括径流式和日调节水电站。

贯流式水电站的动能设计与中、高水头蓄水式水电站有许多不同特点，比如泄洪规模及水库淹没赔偿回水外包线的确定，径流调节计算，正常蓄水位的选择，电站运行方式，水库腾空库容计算及电站的预报预泄等，以下将分别加以叙述。贯流式水电站由于坝低，库容小，一般不承担防洪任务，即使承担防洪任务，也往往采用空库迎洪的办法，与贯流式水电站的动能设计没有矛盾。

一、泄洪规模的确定

贯流式水电站一般位于河流的中下游地区，地势较为平坦，两岸居民点密集，耕地成片，因此淹没往往成为这类水电站开发利用的一个制约性因素。这类水电站的设计，首先要考虑的就是选择足够大的泄洪规模，尽量在洪水来临时水库基本恢复到天然河道行洪状态。因为水库的淹没赔偿洪水标准根据现行规范规定为：重要城镇及工矿企业采用50~100年一遇洪水；一般村镇及居民迁移采用10~20年一遇洪水；土地征用采用2~5年一遇洪水。淹没范围按建库前后水位差为0.1~0.3m决定。而贯流式水电站一般在遇到水库淹没赔偿标准的设计洪水时，电站已不发电，泄洪闸可以敞开，如果泄洪规模足够大，可将由于建设而引起的水位壅高值（发生水库淹没赔偿标准相应的洪水）控制在不超过0.3m以内，则可避免大量淹没，将水库淹限制在正常蓄水发电引起的淹没范围内，从而促进工程的建设。反之，如果泄洪规模选择不够大，发生水库淹没赔偿标准的设计洪水时建库前后的水位差未能限制在0.3m以内，往往会因淹没过大，地方难以承受而导致工程的不可

行。可见选择足够大的泄洪规模是贯流式水电站设计的一个关键点。

〔例〕 某水电站是某河流梯级电站之一，电站兼有发电、航运等综合利用效益。坝址以上集水面积 46810km^2 ，多年平均流量 $1250\text{m}^3/\text{s}$ 。电站装机容量 230MW ，装有 6 台贯流式灯泡机组，该电站上游约 25km 处有一重要工业城市，电站上游约 17km 处有该市的一处重要工业设施。规划阶段设计没考虑这一重要因素，枢纽泄洪规模定得比较小，造成淹没区 24 万人口、耕地 1005.4km^2 的较大淹没损失，地方政府难以承受。可行性研究阶段，充分重视这一因素，为了尽量减小枢纽泄洪时对城市的防洪影响，电站采用较大的泄洪规模，按 50 年一遇洪峰流量，上游的重要工业设施处水位壅高以不超过 0.2m 为原则，确定电站的泄洪规模为 19 孔泄水闸，每孔宽 16m 。比规划阶段多设了 2 孔泄水闸，并配合电站合理的运行方式即限制电站的发电流量，使发电回水位在该市中心处限制在允许范围内，从而大大减小建库后的淹没影响，在与规划阶段同一正常蓄水位情况下，淹没人口仅 16 人，淹没耕地 680km^2 ，效果显著。

二、淹没赔偿回水外包线的确定

水库淹没范围系由水库淹没赔偿回水外包线确定。而淹没赔偿回水外包线一般由淹没赔偿设计洪水（土地、人口）外包线所组成。

对于贯流式水电站，如果泄洪规模足够大，当发生淹没赔偿标准的设计洪水时，电站已不发电，闸门敞开，河道基本恢复天然状态，因此枢纽的淹没赔偿回水外包线实际上是由正常蓄水位与发电各级流量的回水外包线组成，如图 2-1 (a) 所示。

有调节蓄水式水电站的回水外包线一般由正常蓄水位与淹没赔偿设计流量组成的单一一线，如图 2-1 (b) 所示。有调节电站由于坝高库大，建库水位壅高大，而且上游农田、居民点稀疏，采用淹没赔偿设计流量取值一般大于发电流量及其相应水位计算的回水线，作为淹没赔偿外包线所引起淹没误差一般不大，对于有调节蓄水式电站这种处理是可行的。而贯流式水电站由于所处的地理位置较平坦，两岸的淹没比较敏感，如果也采用与高坝大库同样的处理方式，则淹没范围往往包不住，处理不当，不仅给两岸人民的生产、生活带来较大影响，也给电站建成后的运行带来不必要的麻烦。鉴于贯流式水电站的回水具有如下特点：当流量大时，回水终点距坝址近，但末端水位高；当流量小时，回水终点距坝址远，但末端水位低；当闸门全开敞泄洪时回水终点尖灭在坝前（见图 2-1）。图中 A 点为发电停机流量计算的回水线，AB 段为发电停机流量以下各级流量回水终点的连线，由于 AB 段所引起的淹没往往不是少量，且又是因为正常发电运行所造成，必须考虑。因此贯流式水电站，当泄洪规模足够大，发生水库淹没赔偿设计洪水标准时能使建库前后的水位差控制在要求范围内，则采用电站的正常蓄水位与停机流量及其以下各级流量组成的回水外包线，作为水库淹没指标调查的依据是合理的。

三、径流调节计算

对贯流式水电站目前还没有严格的定义和分界，一般是指在流量比较丰富的大江大河中下游，规划利用行洪河槽壅水的综合利用枢纽，发电水头在 20m 特别是 15m 以下的水电站。此类电站，在枯水季节，发电水头成为发电能力的重要因素，通常为了尽可能多得电能，保持上游高水位，对天然径流不作调节；洪水季节，发电水头锐减，天然径流再增时发电因水头不足受阻，每年汛期有一段时间不发电，总的流量利用率较低。