

英国土木工程师学会

国际抽水蓄能会议文集

(中译本)



中国水力发电工程学会
天津市水力发电工程学会
水利部
能源部
天津勘测设计院



天津·一九九一年十二月

英国土木工程师学会

国际抽水蓄能会议文集

(中译本)

伦敦 90.4

中国水力发电工程学会
天津市水力发电工程学会
水利部
能源部 天津勘测设计院

天津。1991年12月

序

1990年4月在英国伦敦召开了“世界抽水蓄能电站会议”，曹楚生总工程师领队参加了这次会议，并带回会议论文集。鉴于这本论文集汇集了当今世界上抽水蓄能电站在规划、设计、施工、制造，特别是运行、监测和维护等多方面的经验，很有参考借鉴价值，因此曹楚生同志积极组织翻译工作，现译文集已正式出版。这是一件很有意义的工作，对正在蓬勃兴起的我国抽水蓄能电站建设事业的发展必将起到有益的促进作用。这本译文集的出版，使广大读者有机会得以学习吸取国外有益的经验教训，更好地开展我国自己的抽水蓄能电站的建设，并在此基础上继续不断地提高前进，走向世界前列。

抽水蓄能电站在本世纪初诞生于瑞士，但前半个世纪发展缓慢，六十年代以后发展速度逐渐加快，迄至七十、八十年代发展迅速，目前世界上已掀起了竞相发展抽水蓄能的热潮。在工业发达国家，如美国、日本等发展最快，建成容量已越2500万kW左右，分别为常规水电的1/3和1左右。日本的抽水蓄能装机已与常规水电相等。抽水蓄能之所以发展的如此迅猛，是因为在水能资源缺乏或已开发殆尽的地区，由于电力工业发展需要，只有主要依靠火电、核电等，电力系统中不可避免地要出现可观的低容剩余电能；这样就为兴建抽水蓄能工程来进行调峰、填谷，以改善系统供电质量创造了条件。抽水蓄能与煤电比，不耗煤，能担任尖峰，运行灵活；与油电比，经济灵活；与水电比，需要水；但基本不耗水。抽水蓄能主要特点是利用系统多余无用的低容电能转化为有用的尖峰电能，其适应性很强。从这次在英国伦敦召开的世界抽水蓄能会议的论文集中可以看出：抽水蓄能适应

性强，应用范围广阔，型式多样，可因地制宜，择优选择。在水能规划方面，从过去的日调节抽水蓄能逐步向周调节和季调节发展；水头以数米到千米，或以上，分高、中、低水头；在抽水蓄能枢纽布置方面，有利用河流上下梯级，有另建上池或下池，或上下池的；有将抽水蓄能应用于潮汐电站的；也有利用深达数百米废矿井作下池，而在地面另建上池的；还有拟在海滩上修筑土坝围海作上池，以大海为下池的；而且，既有纯抽水蓄能，也有与常规机组或水泵组成的混合式抽水蓄能电站。这些日新月异、多种多样的抽水蓄能电站的型式可为今后抽水蓄能工程借鉴。

本文集还以较多篇幅阐述了抽水蓄能电站在运行、检查、维护等方面的经验教训，指出了抽水蓄能电站与一般常规电站差别及应予以注意的地方，如开停机频繁，水道中往复水流易导致破坏，要加强水下检查及维护，以及由于吸出水头较大造成的机组密封、轴承方面的问题等。我国大型抽水蓄能电站的建设还刚刚开始，运行检查、维护等经验教训尤为可资。

在设计施工方面，对深埋式隧洞及浅埋式隧洞，对斜井式及竖井式隧洞，对地下式及半地下式厂房，隧洞预应力衬砌以及水机电气及工程效益等方面均有论述。总之，从本文集可以窥知世界抽水蓄能电站发展的概貌。

我国除西南、西北水能资源较多外，其他地区均感不足，在大力发展多种电能，包括煤、核、水电（常规）外，还要更加重视多种型式水电的开发，如常规水电多装机以调峰，增建抽水蓄能或混合式蓄能电站等。抽水蓄能电站的修建，能改善系统能源结构，提高火电、核电和常规水电的效率，并可改善供电质量、电网的灵活性和可靠

性。

我国抽水蓄能电站起步较晚,70年代修建了几座中小型蓄能电站。80年代进行了我国第一座大型混合式抽水蓄能电站——潘家口工程的建设。现正在修建的有容量为240万kW、180万kW和9万kW的广州、天荒坪、十三陵及羊卓雍湖工程。现在处在规划设计阶段的工程很多,几乎遍及全国多个地区。可以预期,在2000年左右,我国和世界先进国家一样,抽水蓄能电站的建设将有一个大的发展。

本文集介绍了当今世界抽水蓄能电站的规划、设计、施工、制造,特别是运行、监测、维护等方面的经验,广大读者,特别是从事上述各方面工作的技术工作者和教学人员都会从中得到教益。相信此文集的出版将会对我国抽水蓄能电站的建设起到有益的促进作用。预祝我国抽水蓄能电站建设事业取得更大的成绩。

李鹤 85
1992年6月

编译者的話

本文集系英国土木工程师学会于1990年4月在伦敦召开的“国际抽水蓄能会议”论文集的中译本，其中所收论文专业性强，主要涉及了以下七个方面：国际抽水蓄能工程建设的最新发展；运行经验；新形式；水力学问题；工程检修设备；衬砌设计；有关水机设备密封件及轴承问题等。这些论文广泛地讨论了与抽水蓄能工程有关的拟建工程的规划、设计、施工、设备选型；在建工程的特点，施工概况；已建工程的运行经验，检修方法，所起作用及存在问题等诸方面专题。

当前，我国抽水蓄能工程正处在大规模开发的前期，国内有关经验还很不足，有些方面的研究尚待进一步深入。因此，本文集所涉及的世界上一一些著名抽水蓄能工程的各方面宝贵经验很值得我们参考借鉴。众所周知，抽水蓄能电站是现代电网中重要的调峰填谷电源，是保证电网安全经济运行的重要措施。世界上建设抽水蓄能电站已有近百年历史，许多发达国家积累了丰富的成功经验，而且还在不断地发展提高。我国在这方面起步较晚，但近年已开始重视，有关部门亦定了“要建设一批抽水蓄能电站，以解决系统调峰，提高供电值量”的方针。目前，我国抽水蓄能电站建设速度很快，开发潜力很大，不论在建工程、已完成初设和准备扩容的工程，还是已作初步规划的工程，其总容量均十分可观。在这种形势下，我国有关方面的研究正在逐步深入，同有关国家广泛地开展了各方面的合作，且对国外的有关经验教训也倍加关注，以便在实际工作中扬弃吐纳，促进自身技术的发展。为此，我们编译了此文集，谨供有关技术人员及大专院校师生

和其他有关方面科研人员参考。

本文集原版系由我院技术委员会主任、中国工程设计大师曹楚生同志应邀赴英参加会议时直接带回，并由他倡议和亲自主持了文集的编译工作，总审了译稿，大大促进了它的编译出版。值得提及的是，全国著名水电专家、中国水力发电工程学会理事长李鹗鼎同志也对此工作给予了很大的关心和高度重视，并在百忙之中撰写序言，而且中国水力发电工程学会梁益华等同志对出版方面的工作也给予了大力支持，在此我们深表谢意。另外，在本文集的编译出版过程中，天津院机电处袁森同志审查了部份机电方面，而且在此工作中我们亦得到了天津院代院长刘英、天津市水力发电工程学会秘书长姜梦清同志及秘书处、天津院档案处、机电处、水机磨蚀研究中心、大坝监测中心等部门的大力支持，特在此一并表示感谢。

由于我们水平有限，谬误在所难免，敬请读者指正。

编译者 1992年3月·天津

目 录

序

编译者的话

致词(代前言)..... (1)

最新发展

- 潘家口混合式抽水蓄能电站.....〈中国〉曹楚生 (7)
- 萨米特抽水蓄能工程.....〈美国〉C. 怀尔莱特 (14)
- 西德赫代克新考琴沃克抽水蓄能电站的建设.....〈西德〉J. 科里 (25)
- 讨论 1 (35)

运行经验

- 抽水蓄能电站电动发电机的经验和设计特点.....
-〈瑞士〉J. J. 西蒙, H. 佛吉 (39)
- 抽水蓄能电站的管理.....〈法国〉P. 吉荣 (49)
- 潮汐电站中的抽水运行——拉兰斯电站的经验及水轮机的设计要点.....
-〈法国〉J. P. 弗劳, P. Y 拉罗兹 (56)
- 讨论 2 (73)
- 南非的抽水蓄能工程.....〈南非〉J. H. 亨德森, B. W. 格雷伯 (77)
- 抽水蓄能电站的检修.....〈美国〉B. E. 萨登 (89)
- 迪诺威克电站发电——电动机组运行早期的工程经验.....
-〈英国〉E. 比德海姆, I. E 麦克尚尼 (110)
- 苏格兰两座可逆式机组抽水蓄能电站的二十年运行经验.....
-〈英国〉A. 锡德博萨姆, A. S. 肯尼迪 (122)
- 抽水蓄能电站的土建工程实践.....
-〈英国〉F. G. 约翰逊, C. K. 约翰斯顿 (137)
- 迪诺威克抽水蓄能电站在英国国家电网中的运行方式.....
-〈英国〉J. R. 洛文, A. J. 史蒂文森 (150)
- 库塔水泵水轮机组的设计标准、现场试验以及运行经验.....
-〈奥地利〉H. 施米德, R. 厄拉彻尔 (162)
- 讨论 3 (174)

新形式

- 荷兰抽水蓄能发电……………〈荷兰〉H. 范托格伦等 (181)
- 抽水蓄能: 环境允许的方案……………〈英国〉R. 瓦茨 (194)
- 抽水蓄能在拟建的默西潮汐发电工程中的应用……………〈英国〉E. T. 霍斯等 (207)
- 西萨摩亚群岛阿菲阿马鲁抽水蓄能电站……………〈英国〉H. 古杰等 (220)
- 讨论 4…………… (230)
- 抽水蓄能——匈牙利电力系统合理化之途径……………
……………〈匈牙利〉伊斯瓦恩·泽赖迪, 维齐特夫 (232)
- 英国近期的某些抽水蓄能电站研究……………〈英国〉J. G. 考瓦 (240)
- 广州抽水蓄能电站规划——中国境内的最高水头、最大容量的抽水蓄能电站…
……………〈中国〉蔡瑶忠 (250)
- 讨论 5…………… (255)

水力学问题

- 下乡抽水蓄能电站弃荷时水道中瞬态现象探讨……………〈日本〉M. 保利 (259)

工程检修设备

- 应用水下 ROV 技术检修水电站隧洞……………〈美国〉R. E. 赫夫龙 (261)
- 英国用遥控潜水设备检查水力系统的经验……………〈英国〉T. H. 道格拉斯等 (269)

衬砌设计

- 德雷肯斯抽水蓄能工程中耐高压混凝土衬砌的设计……………
……………〈南非〉P. A. A. 巴克 (275)
- 专题讨论会小结……………〈英国〉F. G. 约翰逊 (279)

水机密封

- 水泵水轮机的机械密封……………〈英国〉R. G. 埃尔伯利 (281)

其 它

- 抽水蓄能电站的变速系统……………〈日本〉勤山野良等 (285)
- 会议论文集小结……………〈英国〉I. W. 汉纳 (293)
- 附原文英文目录

Discussion 3	(174)
--------------------	---------

EVOLVING ROLES AND OTHER FORMS

Pumped storage accumulation and generation in the Netherlands. H.VANTONGEREN, L.GILDE, J.A.DERIDDER, A.L.VANSCHAIK, C.J.SPAARGAREN, D.P.DEWILDS and E.R.TEGELBERG	(181)
Pumped storage: the environmentally acceptable solution. R.WATTS	(194)
Pumped storage in the proposed Mersey tidal powerproject. E.T.HAWS, E.A.WILSON and H.R.GIBSON	(207)
Afiamalua pump assisted by hydro power project, Western Samoa. H.GUDGE and A.B.HAWKINS	(220)
Discussion 4	(230)
How the Hungarian energy system can be rationalized by pumped storage. I.SZEREDI	(232)
Some recent pumped storage studies in the UK. J.G.COWIE, T.H.DOUGLAS and T.J.M.PATERSON	(240)
Planning of the guangzhou pumped storage station; the first high water head large capacity pumped storage power station in the main land china Y.Z.CAI	(250)
Discussion 5	(255)

HYDRAULICS WORKSHOP

Consideration of transient phenomena from load rejection in the waterway of Shimogo pumped-storage power station. H.HORI and M.KASHIWAYANGI	(259)
---	---------

ROVs WORKSHOP

Use of submersible ROVs for the inspection and repair of hydroelectric station tunnels. R.E.HEFFRON	(261)
UK experience of inspecting hydraulic systems using remotely operated submersible equipment. T.H.DOUGLAS, C.F.LADD and C.K.JOHNSTON	(269)

LININGS WORKSHOP

Design of high pressure concrete linings for the Drakensberg pumped storage scheme. P.A.A.BACK	(275)
---	---------

致 词 (代前言)

〈英国〉 D.G.杰弗里斯 (国家电网公司)

人们利用水力发电可以追溯到很多年以前，但是抽水蓄能的构想却是二十世纪的产物。

根据《国际水力发电和坝工建设》杂志的记载，最早投入运行的抽水蓄能电站为瑞士的沙夫豪森(Schaffhausen)电站，这个电站从1909年开始迄今仍在运行中。英国最早的抽水蓄能电站是1920年交付使用的沃克伯恩(Walkerburn)电站。

在世界各地，已投入运行或正在施工的抽水蓄能电站有300座以上，这显示出抽水蓄能在电力上的应用仍然是有重大意义的。

美国是抽水蓄能方面投资最大的国家，他们对抽水蓄能的利用多于世界其它任何一个国家。统计数字表明，1988年美国抽水蓄能总发电量为22,900GW·h。

不管怎样，小型抽水蓄能电站仍然能做一些有益的工作。在西德已建的这类小型抽水蓄能工程中最小一座的容量约为0.6MW。

大部分抽水蓄能电站建在工业高度发达的一些国家，日本已有40余座抽水蓄能电站，总出力在16GW以上。

在不久的将来，计划抽水蓄能容量为50GW以上。日本、美国和前苏联是正在兴建抽水蓄能电站最多的国家。日本已确认了440余个可用作兴建抽水蓄能电站的站址，其总容量可能为329GW。美国和前苏联已确定了开发计划分别为17GW和11GW。

抽水蓄能不仅是一种公认和被证明了的技术，而且象本论文集的文章所证实的那样，也是一项正在发展的技术。电力企业一直在寻求各种有效、经济和安全的蓄电新方法。

美国电力研究院（EPRI）正投资于一个与能源储备有关的大型研究和开发计划，该计划正在研究包括利用压缩空气储备蓄能蓄电池在内的一些选择方案。

压缩空气储备蓄能在这些技术中最为先进。用压缩空气储备蓄能时，是利用非峰荷期余电将空气泵入到地下岩洞中，这些地下岩洞可以是天然的，或人工在岩石或盐岩构造中开挖的。当需要电力时，将所储备的压缩空气抽出，用燃气或油加热，通过空气膨胀，使汽轮机运转发电。

在欧洲，西德的亨托夫（Huntorf）有一座首创的 290 MW 的压缩空气蓄能电站。1991 年，美国的第一座同类电站也将投入运行，该电站建立在一个从盐穹中开挖出来的，容量为 500,000 m³ 的岩洞中。这座电站由阿拉巴马（Alabama）电力公司运营，并能连续进行长达 26 小时的发电，出力为 110 MW。

前苏联和以色列也正在规划大型岩洞电站。根据美国电力研究院得出的研究表明，包括工程在内的储气蓄能的总投资可能为抽水蓄能工程的一半左右，而且建设时间要快得多。

在英国正密切注视着这些发展，而且已逐步形成了使英国电网系统独立于欧洲其它电网，可自己提供系统备用的政策。

作为国家电网公司一部分的新设立的抽水蓄能业务部，将为英格兰和威尔士的第四大发电企业，有近 180 名工作人员。

英国的电力工业将在新的环境下进行竞争，在那里通过供电和提

供储备的市场，在电力联合系统内进行买电和卖电。

抽水蓄能企业除了日常(即使不是按分计)起到稳定英格兰和威尔士供电系统的帮助作用外，而且打算在此可能的国际性能源竞争市场中发挥作用。

弗斯廷约格(Ffestiniog)和迪诺威克(Dinorwig)抽水蓄能电站

弗斯廷约格抽水蓄能电站经过6年施工建设，于1963年建成。

这个电站能够在1分钟内达到它的最大出力 360 MW,如有需要，还能完全实现远距离自动控制运行。

弗斯廷约格电站的运行经验为迪诺威克电站的设计和施工铺平道路，它是二十世纪大型工程的伟绩之一。

迪诺威克电站在其建设之时是西欧抽水蓄能型的最大一座水电工程，而且也是迄今为止英国最大的一项土木承包工程。它开挖了一条 16km长，通至埃利迪尔(Elidir)山中心的隧洞。

确实，容量为1800MW的迪诺威克电站是当今世界上最大型抽水蓄能电站之一，同时它能以最快的速度，在12秒钟时间内即可提供高达 1320 MW 的电力。

管理者已为其设计出了一个目标效率为78%的日抽水蓄能运行周期。

该电站可在水泵全负荷运行情况下，约 6 小时就将全空的上池充满。

迪诺威克抽水蓄能电站的建造、施工和设备购置及安装是在国际性协作基础上完成的。建成以后6年多，该电站频繁地接待了来自外国各公司企业的参观者，他们也打算在自己国家内建设起自己的抽水蓄

能工程。

当建造一座抽水蓄能电站时，只要一开始就进行仔细的规划，并持续进行监测，那末环境不仅能够被得到保护，而且还能进一步改善。

弗斯廷约格和迪诺威克电站的大量发电设备和与之相联的 400kV 变电站安装在一座具有板岩构造的山体中，需与国家主电网相联的 11km 长的主电缆也敷设在地下。

施工中总共开挖了 200 万 m^3 岩石，并开凿了 16km 长的隧洞，这相当于 6000 人/年的钻爆工作量。

迪诺威克电站是建在一个老的板岩采石场上，山坡山历经 200 多年的板岩开采对环境产生了极大的影响。过去采石工人采用爆破法采石，在山体上遗留下了一些深至 600 英尺的坑洞。电站施工期间，下池(湖)被修复到了从前的规模，一些较大的采石坑洞进行了回填，并对采石遗留阶地作了安全性处理。

在老采石场工作区内清除了近 900 万吨板岩。

施工以后，已付予了大量的维护保养，以在恢复自然地表地貌方面作了大量工作。调查了各种类型的地表土壤和植被，还从山坡上采集了石南属植物的种子，并送至班戈(Bangor)城的威尔士大学试验进行培植，以后又将其种植在上游坝坡上。

今天，地下迪诺威克电站已与其周围环境溶为一体。在那里，野山羊沿着内藏迪诺威克电站的埃利迪尔山的阶地自由地徘徊，猎鹰在山上筑巢。

电站建成后，水质一直得到了保持，并且在建成后的一段很长时间内电厂持续对鱼类总数进行定期监测，并对水纯度进行了测试。

英国的抽水蓄能已显示出其本身是一种供电和保持系统稳定性的

经济和有效的方法，同时它将继续在下一世纪作得更为出色。

俞瑞堂 译

宋守度 核

最新发展