

水电站气垫式调压室设计

郝元麟 余挺 等 著

华能自一里电站闸坝



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水电站气垫式调压室设计

郝元麟 余挺 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书系国内首部气垫式调压室设计专著。共分8章,系统总结了国内已经建成的多座水电站气垫式调压室的设计研究成果,从工程地质勘察、调压室布置及结构设计、水力计算及稳定分析、设备选择和自动监测系统设计和高压隧道设计等方面,归纳提出了设计的要求、原则和方法,还给出了一些工程应用案例。

本书可供从事水利水电工程气垫式调压室勘测、设计、施工、科研和运行管理的技术人员参考,也可供相关专业的大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

水电站气垫式调压室设计 / 郝元麟, 余挺等著. --
北京: 中国水利水电出版社, 2017.2
ISBN 978-7-5170-5225-8

I. ①水… II. ①郝… ②余… III. ①水力发电站—
气垫式调压室 IV. ①TV732

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第045968号

书 名	水电站气垫式调压室设计 SHUIDIANZHAN QIDIANSHI TIAOYASHI SHEJI
作 者	郝元麟 余挺 等 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 10.5印张 194千字
版 次	2017年2月第1版 2017年2月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	60.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究



前言

我国西部地区山高涧深、河流湍急，水能资源非常丰富，十分有利于开发建设高水头、长引水道的水力发电工程。同时，该地区地势陡峻、植被茂密，施工交通条件普遍较差，引水式电站常规调压井与发电厂房及交通公路的高程差常达几百米，引水隧洞及调压井的施工难度很大。为解决引水隧洞及调压井的施工交通问题，几百米乃至几千米的 Z 形公路顺山坡布置，存在工程量大、施工难度大及工期长等问题，而且公路施工对周边环境和自然生态往往带来较大的不利影响。

气垫式调压室是一种利用封闭式气室内高压空气形成“气垫”抑制室内水位高度和水位波动幅值的性能优越的水锤和涌波控制设备。在地质条件允许的情况下，水电站选用气垫式调压室可较自由地选择调压室位置，使其尽可能地靠近厂房，更充分地发挥反射水锤波的作用，引水隧洞在纵剖面上的布置更接近于直线。由此可缩短引水隧洞长度，取消或缩短至隧洞沿线特别是至调压室的施工公路，减少工程量和水头损失，改善机组的调保性能，同时降低工程施工对环境的不利影响。

自 20 世纪 30 年代以来，气垫式调压室在抽水泵站、工业管网、长距离流体输送管道工程中得到了广泛的应用。在水利水电工程中，50 年代开始得到人们的重视和应用。当时，美国在一小型引水式水电站建设中首先提出了气垫式调压室的设计方案，并付诸实施。但由于没有考虑调压室及机组运行稳定性方面的要求，导致系统运行不良，影响了水电站的正常工作，不久就废弃了。日本和德国等国家也曾在 50 年代对气垫式调压室进行过研究，并提出了一些较为简化的解析计算方法，但至今没有在实际工程中应用。70 年代以来，在地质条件较好的挪威，于 1973 年成功建成了世界上第一座采用气垫式调压室的水电站——Driva 水电站。目前，挪威已在 10 座水电站采用了气垫式调压室，且均运行正常，已积累了一些设计、施工和运行维护等方面的工程经验。

我国对气垫式调压室的研究始于 20 世纪 70 年代后期。直到 2000 年 8 月，青海省大干沟水电站采用了地面钢包式气垫式调压室并建成运行。与大干沟水电站地面钢包式小型气垫式调压室相比，建于地下岩体内的水电站大型气垫式调压室尚需解决位置设置、体型结构、围岩稳定、水力劈裂、漏气、漏水以及

施工和维护等一系列关键技术问题。2001年,中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司(以下简称“成都院”)在水电水利规划设计总院的支持下开始启动“水电站气垫式调压室关键技术及应用研究”项目。项目以自一里、小天都、金康水电站为依托工程,在学习借鉴挪威气垫式调压室工程设计、建设经验的基础上,在研究思路、技术路线、基础理论等方面做了大量的调研和探索工作,在气垫式调压室勘测设计方面取得了一系列重要研究成果。这些成果不但已应用于自一里、小天都、金康水电站,还推广应用到了木座、阴坪、龙洞、二瓦槽、民治等水电站中,取得了良好的经济效益,且成为解决高水头引水式水电站建设与周边生态环境保护间矛盾问题的重要技术手段。目前,自一里、小天都、金康、木座、阴坪水电站已正常运行5~10年,标志着我国已全面掌握了在相对复杂地质条件下建造气垫式调压室的勘测、设计、施工及运行监控的全套关键技术。

在上述工程实践取得成功以后,本书的编撰者深感对其经验的推广应用很有必要,在对相关工程设计和研究成果进行系统总结的基础上,完成了本书的编撰。本书由郝元麟和余挺负责组织策划与审定稿,第1章由余挺、陈子海撰写,第2章由张世殊、甘东科、冷鸿斌、陈卫东、施裕兵、李进元、陈春文撰写;第3、6章由陈子海、刘朝清、张团、刘宇、王立海、周小波、曾海钊撰写;第4、5章由刘丁、蒋登云、田迅、孙文彬、陈宏川、郭筱蓉、兰岗、刘晶撰写;第7章由甘东科、陈子海、刘丁、周光明、唐建昌、许明轩、马德林、马行东、徐威、张团、曾海钊、郭筱蓉、兰岗、陈宏川撰写;第8章由余挺、陈子海撰写。

在国内水电站气垫式调压室关键技术研究 and 工程设计过程中,除本书的编撰人员以外,还有许多成都院的工程技术人员和合作单位的专家都付出了辛勤的劳动,本书也凝结了他们的智慧。在此,谨向他们表示衷心的感谢!

作者

2016年12月



目录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 气垫式调压室的概念与特征	1
1.2 国内外气垫式调压室研究和建设情况	3
第 2 章 工程地质勘察	10
2.1 关键工程地质问题及勘察任务	10
2.2 工程地质勘察内容	13
2.3 工程地质勘察方法	22
2.4 位置及轴线选择研究	37
2.5 工程地质评价	41
2.6 施工地质	51
第 3 章 调压室布置及结构设计	55
3.1 工作原理及设置条件	55
3.2 位置选择及断面设计	56
3.3 防渗设计	61
3.4 结构设计	65
3.5 充、放水及安全监测	69
第 4 章 水力计算及稳定分析	72
4.1 水力动态特性	72
4.2 大波动过渡过程计算	74
4.3 小波动稳定性分析	76
4.4 临界稳定气体体积	79
4.5 室内气体动态特性	85
第 5 章 设备选择和自动监测系统设计	91
5.1 气系统设计	91
5.2 水系统设计	94

5.3 运行监测系统设计	95
5.4 气体运行控制模式及运行控制常数阈值选择	95
第6章 高压隧道设计	100
6.1 布置原则	101
6.2 断面选择	101
6.3 支护设计	102
6.4 防渗设计	106
6.5 其他设计	108
6.6 安全监测设计	113
6.7 小结	113
第7章 工程应用案例	115
7.1 自一里水电站工程	115
7.2 小天都水电站工程	126
7.3 金康水电站工程	136
7.4 阴坪水电站工程	147
第8章 发展与展望	157
参考文献	159

第 1 章 概 述

1.1 气垫式调压室的概念与特征

气垫式调压室是一种利用封闭式气室内高压空气形成“气垫”抑制室内水位高度和水位波动幅值的性能优越的水锤和涌波控制设备^[1]。其工作原理与常规调压室大致相同，但常规调压室上部与大气相通，室内水面压力始终与大气压相同，因而当电站负荷调整时，水面升降幅度较大，调压室体积也相应较大；而气垫式调压室上部呈封闭状态并充以压缩空气，其液面承受较高压强，当电站丢弃负荷时，随着调压室内水位上升，上部空气被进一步压缩，水面承受的压强继续增高，使水位上升受到的抑制作用越来越强，因而气垫式调压室的水面升幅较小；当电站增加负荷时情况则相反，气垫式调压室水位降幅亦较小。由于气垫式调压室水面升降幅度均较小，其体积也相应比常规调压室小。

1.1.1 气垫式调压室的特点

在地质条件允许的情况下，选用气垫式调压室可较自由地选择调压室位置，使其尽可能地靠近厂房，更充分地发挥反射水锤波的作用，引水隧洞在纵剖面上的布置更接近于直线（图 1.1-1）。由此可缩短引水隧洞长度，取消或缩短至隧洞沿线特别是至调压室的施工公路，减少工程量和水头损失，改善机组的调保性能，同时降低工程施工对环境的不利影响。研究表明，在水电站引水系统中当条件具备时采用气垫式调压室一般具有以下优点：

（1）长高压引水隧洞的埋深相对较大，处于更新鲜完整的岩体内，从而可采用不衬砌隧洞，减少工程量，缩短工期。

（2）长高压引水隧洞采用一坡到底，相对顺直，可缩短引水隧洞长度，减少工程量，减少水头损失。

（3）取消或缩短至引水隧洞沿线特别是至调压室的施工公路，达到降低工程造价、缩短工期的效果。

（4）施工支洞设置高程较低，施工道路短，不需修盘山公路，能减少对地表植被的破坏，有利于环境保护。

（5）气垫式调压室在平面布置上比较灵活，对调压室位置选择有利。

(6) 气垫式调压室可以布置在离厂房较近的地方, 对水击波的反射比较有利, 调节保证性增加。

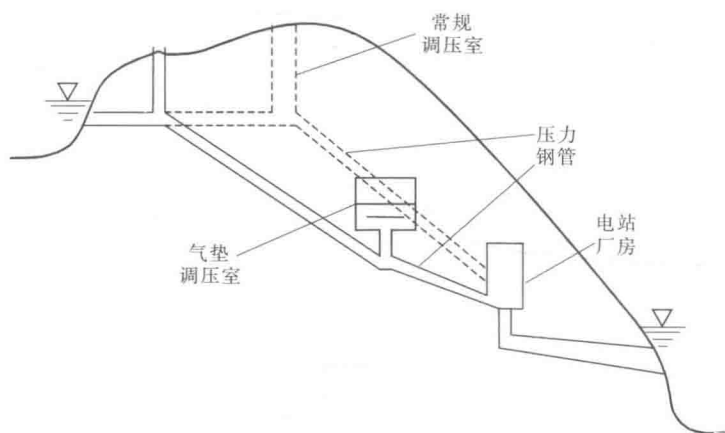


图 1.1-1 气垫式调压室整体布置图

但是气垫式调压室也有一些缺点:

(1) 气垫式调压室对工程地质条件要求较高, 在地质勘察工作中, 需要深入研究山体抗抬稳定性、围岩抗劈裂稳定性、围岩渗透性等问题。

(2) 需增加充、排气设备等费用和运行管理费用, 且对工程管理的要求较高。

综上所述, 气垫式调压室与常规调压室相比具有若干独特的优越性。对于水头高、引用流量小、引水系统沿线地质条件好的水电站采用气垫式调压室, 不仅有利于引水系统周边环境的保护, 而且在工程投资、工期方面有一定的经济效益。

1.1.2 气垫式调压室的适用条件

水电站压力水道需设置调压室时, 是否采用气垫式调压室方案, 需结合地形、地质、工程布置、施工、环境影响、工程量、投资及运行等因素进行技术经济综合比较后确定, 对有较高环境要求的高水头中小型水电站可优先选用。

对于下述几种情况, 应优先考虑采用气垫式调压室的可行性:

(1) 水头高、引用流量小、引水系统沿线地质条件好的水电站。

(2) 水电站引水隧洞较长, 而厂房附近山体较低, 不具备修建常规调压室的地形条件。

(3) 虽有修建常规调压室的条件, 但地形陡峭, 不便于修建至调压室和压力管道的施工道路。

(4) 水电站枢纽工程区有较高环保要求。

(5) 压力引水道特别长, 采用气垫式调压室方案与采用常规调压室方案相比, 可以大大地缩短引水道的长度, 减小水头损失, 缩短工期。

1.1.3 气垫式调压室的关键技术

水电站气垫式调压室的关键技术包括以下主要内容:

(1) 根据气垫式调压室区域的地形、地质、施工条件,以及环保要求、机组特性和运行条件等基本资料,研究采用气垫式调压室的可行性和必要性。

(2) 分析勘探及施工期开挖揭示的工程地质和水文地质等条件,确定气垫式调压室位置。

(3) 进行气垫式调压室闭气设计,防止气体渗漏。

(4) 研究气垫式调压室水电站输水发电系统的水力过渡过程,确定气垫式调压室布置方案。

(5) 提出气垫式调压室运行控制要求。

1.2 国内外气垫式调压室研究和建设情况

1.2.1 国外研究和建设情况

自 20 世纪 30 年代以来,气垫式调压室在抽水泵站、工业管网、长距离流体输送管道工程中得到了广泛的应用。在水利水电工程中,50 年代开始得到人们的重视和应用。当时,美国在一小型引水式水电站建设中首先提出了气垫式调压室的设计方案,并付诸实施。但由于没有考虑调压室及机组运行稳定性方面的要求,导致系统运行不良,影响了水电站的正常工作,不久就废弃了。后经研究表明,出现的系统运行稳定性问题的主要原因是由水轮机调速器引起的,并非因为采用了气垫式调压室。日本和德国等国家也曾在 50 年代对气垫式调压室进行过研究,并提出了一些较为简化的调保解析计算方法,但至今没有在实际工程中应用。

20 世纪 70 年代以来,地质条件较好的挪威,于 1973 年成功建成了世界上第一座采用气垫式调压室的水电站——Driva 水电站^[2]。该电站总装机容量 140MW,设计水头 570.00m,至今已有 40 多年的运行经验。挪威最后一座采用气垫式调压室的水电站是 Torpa 水电站,于 1989 年投入正常发电运行,其总装机容量 150MW,设计水头 475.00m。目前,挪威已在 10 座水电站采用了气垫式调压室,且均运行正常,已积累了一些设计、施工和运行维护等方面的工程经验。另外,美国在 80 年代后期,在 Moose 河上建成了一座含气垫式调压室的小型水电站,其总装机容量 12.5MW,设计水头 37.50m。

挪威已建气垫式调压室的基本情况参见表 1.2-1^[2]。同时,图 1.2-1~图 1.2-4 分别给出了挪威已建 4 个典型气垫式调压室的布置情况。从这些水

电站气垫式调压室的布置图上，可以看出此类调压室的位置、性状都不拘一格，非常灵活，这也为寻找良好的地质体进行建设带来便利。

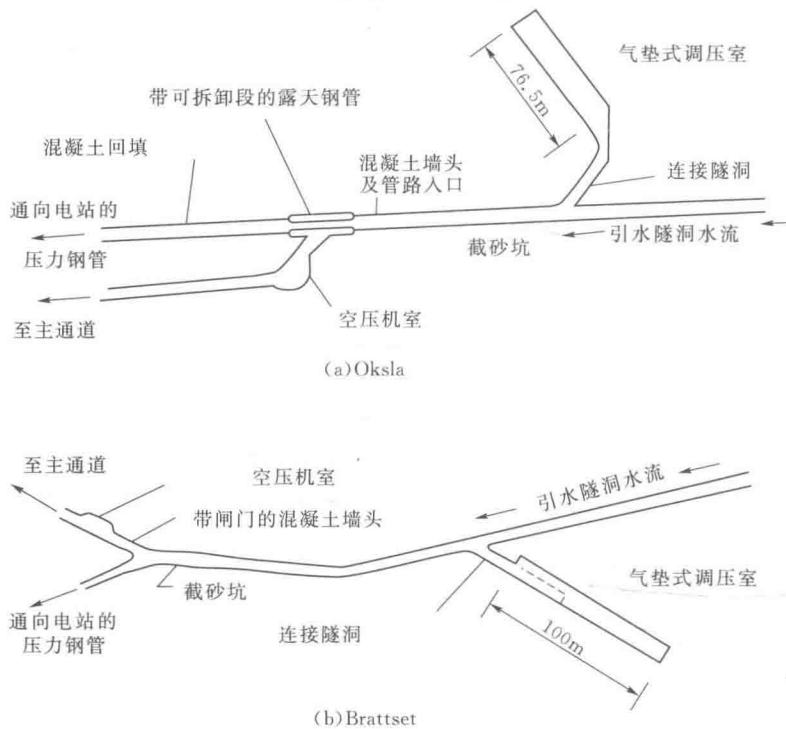


图 1.2-1 挪威 Oksla、Brattset 电站气垫式调压室布置图

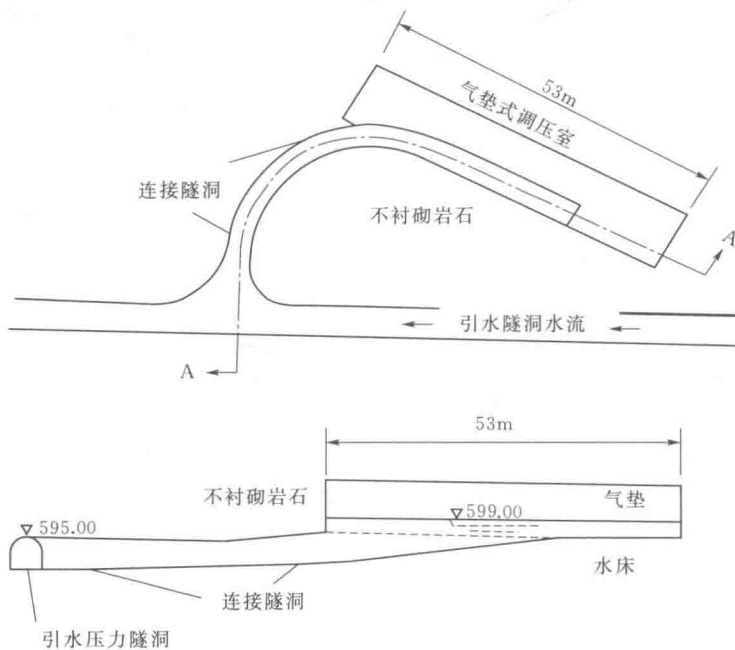


图 1.2-2 挪威 Ulseth 电站气垫式调压室平面和剖面图

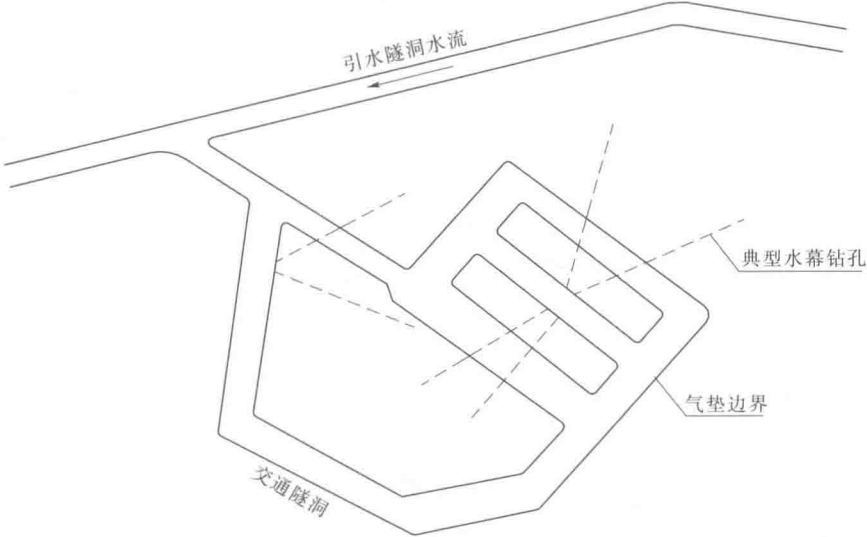


图 1.2-3 挪威 Kvilldal 电站气垫式调压室平面图

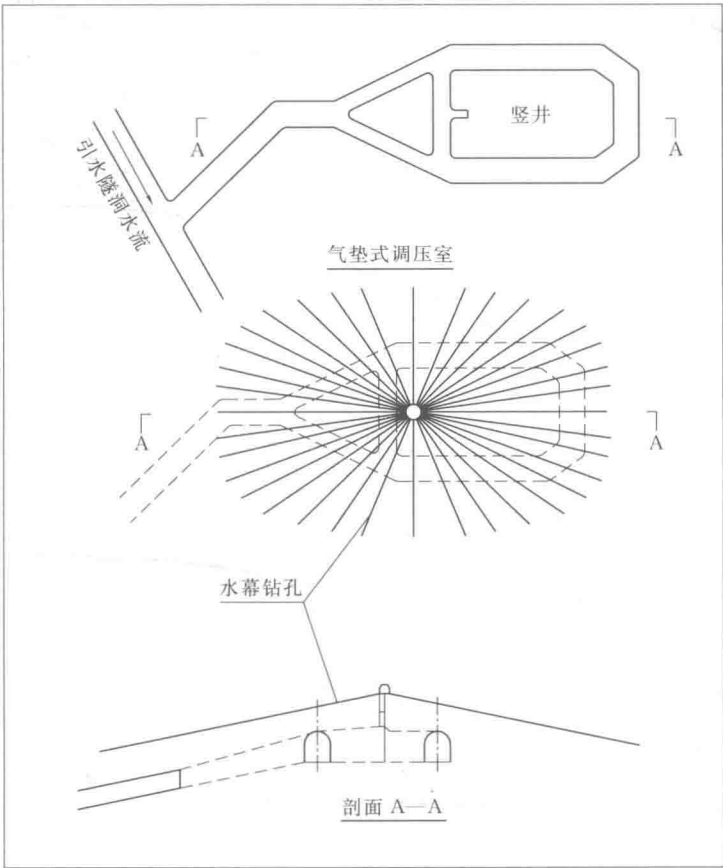


图 1.2-4 挪威 Torpa 电站气垫式调压室及水幕布置图

表 1.2-1 挪威气垫式调压室电站的一般参数和特性表

电站	建成年份	岩石类型	电站装机容量 /MW	额定水头 /m	洞室断面 /m ²	洞室体积 /m ³	至水轮机距离 /m	连接隧洞长度 /m	引水隧洞	
									断面/m ²	长度/m
Driva	1973	条带片麻岩	140	570	111	7350	1300	20	21	**
Jukla	1974	花岗岩片麻岩	35	180	129	6050	680	40	22	**
Oksla	1980	花岗岩片麻岩	206	465	235	18000	350	60	45	3580
Sima	1980	花岗岩片麻岩	500	1158	173	9500	1300	70	33	7390
Osa	1981	片麻状花岗岩	90	205	176	12500	1050	80	40	13000
Kvilldal	1981	混合片麻岩	1240	537	260~370	110000	600	70	135	2800
Tafjord	1982	条带片麻岩	82	897	130	1950	150	50	10	12000
Brattset	1982	千枚岩	80	274	89	8900	400	25	16	**
Ulset	1985	云母片麻岩	37	338	92	4900	360	40	17	**
Torpa	1989	变质粉砂岩	150	475	90	12000	350	70	36	9300
电站	空气体积 /m ³	绝对压力 /MPa	水床表面面积 /m ²	压气机总容量 /(Nm ² /h)	空气损失 /(Nm ² /h)	岩石渗透系数 /(m/s)	气垫压力和天然 地下水压力之比	最大气垫水头与 最小岩石盖层之比	漏气量 /(Nm ³ /h)	
Driva	2600~3600	4.0~4.2	820	450	1.3	无	0.6~0.7	0.5	0	0
Jukla	1500~5300	0.6~2.4	560	180	0.1~0.4	1×10^{-10}	0.2~0.7	0.7	0	0
Oksla	11700~12500	3.5~4.4	1340	290	4.7	3×10^{-11}	1.0~1.2	1.0	< 5	< 5
Sima	4700~6600	3.4~4.8	810	270	1.0~2.3	3×10^{-11}	0.8~1.2	1.1	< 2	< 2
Osa	10000	1.8~1.9	1000	2320	900/80 ⁺	5×10^{-8}	1.3	1.3	00/70 ^{**}	00/70 ^{**}
Kvilldal	70000~80000	3.7~4.1	5200	500	250/10 ⁺	2×10^{-9}	> 1.0	0.8	240/0 ^{***}	240/0 ^{***}
Tafjord	1200	6.5~7.7	210	260	200/200 ⁺	3×10^{-9}	1.8~2.1	1.8	150/0 ^{***}	150/0 ^{***}
Brattset	5000~7000	2.3~2.5	1000	700	13.4	2×10^{-10}	1.5~1.6	1.6	11	11
Ulset	3200~3700	2.3~2.8	530	360	1.2	无	1.0~1.2	1.1	0	0
Torpa	10000	3.8~4.4	1650	470	≈1	5×10^{-9}	1.7~2.0	2.0	400/0 ^{***}	400/0 ^{***}

注 + 修补前后;

*** 灌浆前或灌浆后;

*** 运行中有或无水幕。

挪威的引水式水电站不衬砌气垫式调压室的设计和运行情况代表了当今国外气垫式调压室的最新发展水平。挪威的工程经验认为：气垫式调压室是替代传统开敞式调压井的一个经济实用的方案，这种调压室与常规调压井一样能够满足水电站调压需求，在设计过程中的水力计算应遵照与常规调压井相同的设计原理，结构设计应按照与其他岩石洞室相同的基本准则进行；但因地质条件的差异，透过岩体的气体渗漏是设计和修建气垫式调压室时所遇到的主要问题，即防止漏气是气垫式调压室设计和施工过程中所要考虑的主要问题，但是这均可通过灌浆和设置水幕等方法予以解决。

1.2.2 国内研究和建设情况

我国对气垫式调压室的研究始于 20 世纪 70 年代后期，当时华东电管局委托河海大学对太湖抽水蓄能电站采用气垫式调压室方案进行过可行性研究，主要研究了气垫式调压室的稳定性和水力过渡过程计算方法，提出了水位波动过程计算的解析法、图解法和电算法。此后，我国有关科研院校及设计院结合部分工程进行过引水式水电站气垫式调压室的研究工作，并对挪威采用气垫式调压室的工程进行了实地考察，收集、整理和分析了工程的相关资料，在大波动过渡过程计算和小波动稳定性分析等方面继续进行了研究。先后结合响洪甸抽水蓄能电站、广州抽水蓄能电站（一期）、锦屏二级水电站、龙滩水电站等工程的可行性研究，对设置气垫式调压室方案进行过论证分析，但因尚未掌握该项技术，最终均未能付诸实施。

2000 年 8 月，青海省大干沟水电站采用了钢包式气垫式调压室并建成运行，河海大学受业主单位的委托对该电站地面钢包式气垫调压室进行了数值模拟分析、整体水工模型试验、结构有限元计算分析及工程原型观测资料分析等研究。该电站自正式建成投产以来，地面钢包式气垫式调压室运行稳定、性能良好、维护简便。但大干沟水电站的地面钢包式小型气垫式调压室与建于地下岩体内的大型气垫式调压室相比，除其运行中的水力学原理及设计中水力计算方法相似外，由于其结构型式为地面钢包式，所以不存在地下大型气垫式调压室必须解决的位置设置、体型结构、围岩稳定、水力劈裂、漏气、漏水以及施工和维护等一系列关键技术问题。大干沟水电站气室竖立于地面，为顶端封闭的圆筒式结构，内径 10m，净高 14m，底部设有直径 2.5m 的阻抗孔与高压钢管相连。大干沟水电站“钢包”气垫式调压室是钢筋混凝土衬砌承担所有的内压和外压，最大气室气压 0.7MPa；内衬钢板起到闭气的作用。大体积的“钢包”所能承担的内压和外压较小，“钢包”气垫式调压室设置高程与库水位间的高差不能过大，否则“钢包”无法承担水位差造成的内压。大干沟水电站最

高运行水位 3341.40m,“钢包”气垫式调压室顶高程 3316.00m,两者高程差为 25.40m。“钢包”气垫式调压室设置高程较高,相应节省的调压室、引水隧洞施工公路较短,经济和环保效益不突出。因此,“钢包”气垫式调压室推广的范围有限。大干沟水电站气垫式调压室剖面如图 1.2-5 所示。[3]

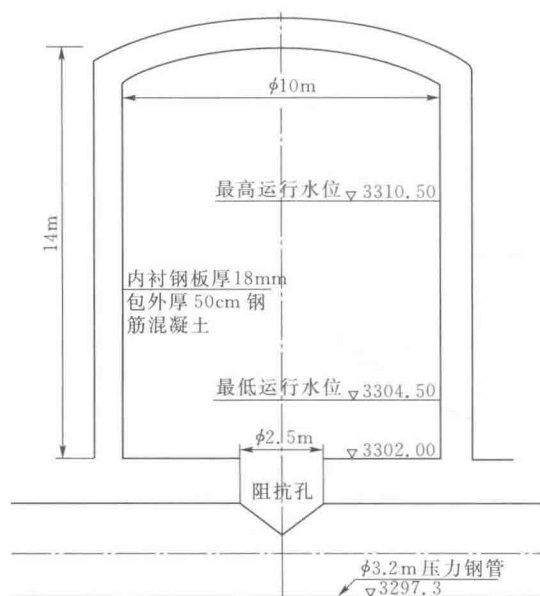


图 1.2-5 大干沟水电站气垫式调压室剖面图

2001 年,成都院在水电水利规划设计总院的支持下开始启动“水电站气垫式调压室关键技术及应用研究”项目,得到了原国家电力公司的立项支持。项目负责单位为成都院,参加单位有水电水利规划设计总院、河海大学和华能四川水电有限公司等。项目以自一里、小天都、金康水电站为依托工程,在学习借鉴挪威气垫式调压室工程设计、建设经验的基础上,在研究思路、技术路线、基础理论等方面做了大量的调研和探索工作,经地质、水

工、施工、机电等各专业工程技术人员和高校科研人员的协作攻关,在围岩工程地质勘察评价、水力计算及稳定性分析、调压室布置及结构设计、高压隧洞设计、自动监控系统及相关设备选择设计等方面取得了一系列重要研究成果。这些成果不但已应用于自一里、小天都、金康工程,还推广应用到了木座、阴坪、龙洞、二瓦槽、民治等工程中,并已成为协调高水头引水式水电站建设与周边生态环境保护问题的关键工程技术。目前,自一里、小天都、金康、木座、阴坪水电站作为本项目研究成果的应用工程,已正常运行多年,标志着我国已全面掌握了在相对复杂地质条件下建造气垫式调压室的勘测、设计、施工及运行监控的全套关键技术[3]。

2010 年 10 月,中国水电顾问集团公司发布由成都院主编的《水电站气垫式调压室设计规范》(Q/HYDROCHINA007—2010)。

2016 年,国家能源局发布了由成都院主编的《水电站气垫式调压室设计规范》(NB/T 35080—2016)。

目前,成都院设计的气垫式调压室建成的有自一里、小天都、金康、木座和阴坪 5 个水电站,在建的有民治和龙洞水电站,拟建的有二瓦槽等水电站。各气垫式调压室的一般参数和特性见表 1.2-2。

表 1.2-2 我国已建、在建和拟建气垫式调压室电站的一般参数和特性表

电站	建成年份	岩石类型	装机容量/MW	设计水头/m	引水隧洞		气室断面/m ²	气室长/m	至水轮机距离/m	连接隧洞长度/m	岩石渗透系数/(m/s)	气垫压力和天然地下水压力之比
					断面/m ²	长度/m						
自一里	2004	二云母花岗岩 (含捕虏体)	130	445.00	19	9500	139.00	112.0	450	14.40	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁵	0.81
小天都	2005	斜长花岗岩	240	358.00	33	5987	176.88	125.0	488	20.65	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁵	0.48
金康	2007	晋宁—澄江期 石英闪长岩	150	458.00	18	16302	155.82	80.0	655	20.45	10 ⁻³ ~10 ⁻⁴	0.54
木座	2007	浅变质岩	100	263.00	26	12000	178.08	69.6	330	15.00	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁵	0.6~0.6
阴坪	2009	二云母花岗岩	100	247.00	30	8950	172.78	98.6	282	28.92	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁷	0.6~0.8
民治	在建	片岩、花岗岩	105	246.00	25	7882	209.00	100.0	187	20.00		
龙洞	在建	斜长花岗岩	165	270.00	20	5375	155.82	140.0	236	19.20		
二瓦槽	拟建	厚层块状石英岩	90	309.00	20	11420	160.00	70.0	680	35.00		
电站	最大气垫水头 与最小岩石覆盖 厚度之比	临界稳定 体积/m ³	采用稳定 体积/m ³	稳定体积 安全系数	设计气压 /MPa	最大气压 /MPa	最小气压 /MPa	水幕压力 /MPa	首次充气空压机 总容量 /(Nm ² /min)	补气空压机 总容量 /(Nm ² /min)	漏气量 /(Nm ³ /h)	
自一里	1.49	2601	9998	3.84	3.23	3.80	2.92	3.80	15×2	3×3	400	
小天都	1.28	11163	18300	1.64	3.77	4.44	3.35	4.25	16×2+12	5×2	1000	
金康	1.51	5826	8506	1.46	4.65	5.56	3.97		16×2+12	4×2	90	
木座	1.08	6720	8872	1.32	2.90	3.62	2.45		15×2	3×2	12	
阴坪	1.34	9800	11662	1.19	2.47	3.04	2.07		15×2	5.16×2	24	
民治	1.20	8437	10747	1.27	2.38	2.96	2.00		10×2	3×3		
龙洞	1.32	8630	12234	1.42	2.69	3.36	2.32		18×2	3.5×2		
二瓦槽	1.13	4313	7332	1.70	3.075	3.71	2.62		10×2	3×3		

第2章 工程地质勘察

2.1 关键工程地质问题及勘察任务

2.1.1 关键工程地质问题

气垫式调压室是指利用气室（充满水和压缩空气的封闭式腔体）内的压缩空气（即“气垫”）抑制室内水位高度和水位波动幅值的一种新型调压室。与常规调压室相比，由于其高程降低至厂房高程附近，引水线路一坡到底，引水线路相对较短，减少了常规调压室和引水线路等部位上山的施工公路，具环保效益和经济效益。并且，从挪威和我国已建气垫式调压室布置情况来看，其位置、形状一般不拘一格，非常灵活，对调压室的位置选择比较有利。

气垫式调压室工作原理与常规调压室大致相同，但常规调压室上部与大气相通，室内水面压力始终与大气压相同；而气垫式调压室，上部呈封闭状态并充以压缩空气，工作气压一般都很高，如挪威几个气垫式调压室绝对压力一般为 $1.5\sim 7.5\text{MPa}$ ，我国自一里、小天都、金康等已建气垫式调压室设计压力一般为 $2.5\sim 4.5\text{MPa}$ 。这就对气室围岩质量、闭水、闭气能力有更高的要求。

为更好地适应我国地质条件较复杂，岩体天然渗透性一般较大的特点，我国已建的金康、木座、阴坪等气垫式调压室工程创造性地采用了罩式（钢罩）闭气的防渗型式。这种防渗型式主要是依靠夹在钢筋混凝土中的一层薄钢板达到闭水闭气的目的。相较于围岩闭气和水幕闭气，罩式闭气可适当降低工程对围岩质量和渗透性的要求。

如前所述，气垫式调压室围岩由于需承受高内水压力 and 内气压力，对岩体质量、闭水闭气能力要求较高，因此在勘察过程中，不仅需要对围岩塌方、岩爆、突水、地温地热异常、有害气体等地下洞室常规不良工程地质问题进行研究，还需要重点对岩体质量及成洞条件、山体抗抬稳定问题、围岩抗劈裂稳定问题和围岩抗渗稳定问题进行充分细致的研究和评价。

（1）岩体质量及成洞条件。气垫式调压室一般采用不衬砌或锚喷支护，这就要求围岩具较好的成洞条件和稳定条件，有足够强度以承受高内水压力 and 内气压力，不会因内水压力 and 内气压力过高而致使围岩变形及渗漏。采用围岩闭