

ICS 27. 140

P 55

SL

中华人民共和国水利行业标准

SL 655—2014

水利水电工程调压室设计规范

**Design specifications for surge chamber
of water resources and hydropower project**

2014-04-22 发布

2014-07-22 实施

中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部
关于批准发布水利行业标准的公告
(水利水电工程调压室设计规范)

2014 年第 26 号

中华人民共和国水利部批准《水利水电工程调压室设计规范》
(SL 655—2014) 为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水利水电工程调压室设计规范	SL 655—2014		2014. 4. 22	2014. 7. 22

水利部

2014 年 4 月 22 日

前 言

根据水利部水利行业标准制修订计划，按照《水利技术标准编写规定》(SL 1—2002)的要求，编制本标准。

本标准共 9 章和 3 个附录，主要技术内容有：

- 水电站调压室设置条件；
- 水电站调压室布置；
- 水电站常规调压室；
- 气垫式调压室；
- 引调水工程调压室设计；
- 结构设计和构造要求；
- 模型试验、安全监测及运行管理。

本标准中的强制性条文有：8.3.6 条。以黑体字标示，必须严格执行。

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部水利水电规划设计总院

本标准解释单位：水利部水利水电规划设计总院

本标准主编单位：中水东北勘测设计研究有限责任公司

本标准参编单位：中国水电顾问集团华东勘测设计研究院

中国水电顾问集团成都勘测设计研究院

辽宁省水利水电勘测设计研究院

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：金正浩 宋守平 范景春 顾一新

姜树立 张建辉 王超 齐立伟

黄东军 姜宏军 刘朝清 孟浩

本标准审查会议技术负责人：谢红兵

本标准体例格式审查人：王庆明

目 次

1	总则	1
2	术语与符号	3
2.1	术语	3
2.2	符号	5
3	水电站调压室设置条件	7
3.1	调压室设置原则	7
3.2	调压室初步判别条件	7
4	水电站调压室布置	10
4.1	调压室位置选择	10
4.2	调压室布置方式及原则	10
4.3	调压室基本类型及选择	10
5	水电站常规调压室	14
5.1	调压室稳定断面面积	14
5.2	调压室涌波计算	15
5.3	调压室基本尺寸确定	17
6	气垫式调压室	20
7	引调水工程调压室设计	24
7.1	一般规定	24
7.2	调压室设置原则	24
7.3	调压室基本类型及选择	25
7.4	调压室基本尺寸确定	26
8	结构设计和构造要求	29
8.1	一般规定	29
8.2	结构设计	32
8.3	构造要求	33
9	模型试验、安全监测及运行管理	35

9.1 模型试验	35
9.2 安全监测	36
9.3 运行管理	37
附录 A 压力水道水头损失计算	38
附录 B 水电站常规调压室涌波计算	48
附录 C 气垫式调压室涌波计算	64
标准用词说明	67
条文说明	69

1 总 则

1.0.1 为贯彻执行国家的技术经济政策，规范水利水电工程调压室设计，做到安全适用、经济合理、技术先进，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于水利水电工程中的1级、2级、3级调压室设计，不适用于抽水蓄能电站调压室设计。

1.0.3 水利水电工程调压室设计应根据水电站、引调水工程建筑物的布置和特点，收集压力水道特性、机电特性、运行调度、地形、地质、环境、气象和施工条件等资料，经综合论证确定。

1.0.4 水利水电工程调压室级别划分应依据《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL 252)的相关规定执行。

1.0.5 调压室的地质勘察工作，应按《水利水电工程地质勘察规范》(GB 50487)的相关规定执行。

对于气垫式调压室，应在现场选择有代表性的地段，进行有关试验。

1.0.6 调压室的结构设计应符合《水工混凝土结构设计规范》(SL 191)和其他相关设计规范的要求，抗震设计应符合《水工建筑物抗震设计规范》(SL 203)的相关要求。

1.0.7 水利水电工程调压室设计应满足工程总体规划和环境要求。

1.0.8 本标准的引用标准主要有以下标准：

《水利水电工程地质勘察规范》(GB 50487)

《水工建筑物抗冰冻设计规范》(GB/T 50662)

《水工混凝土结构设计规范》(SL 191)

《水工建筑物抗震设计规范》(SL 203)

《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL 252)

《水工隧洞设计规范》(SL 279)

《水利水电工程边坡设计规范》(SL 386)

《水工建筑物荷载设计规范》(DL/T 5077)

《混凝土坝安全监测技术规范》(DL/T 5178)

《混凝土坝安全监测资料整编规程》(DL/T 5209)

1.0.9 水利水电工程调压室设计除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 调压室 surge chamber

设置在压力水道上，具有下列功能的建筑物：①由建筑物内自由水面（或气垫层）反射水击波，限制水击波进入压力引（尾）水道，以满足机组调节保证的技术要求；②改善机组在负荷变化时的运行条件及供电质量；③改善引调水工程压力水道的压力状态。

2.1.2 上游调压室 headrace surge chamber

设置在水电站厂房上游压力水道上的调压室。

2.1.3 下游调压室 tailrace surge chamber

设置在水电站厂房下游压力水道上的调压室。

2.1.4 简单式调压室 simple surge chamber

调压室与压力水道间孔口的断面面积不小于调压室处压力水道断面面积的调压室。

2.1.5 阻抗式调压室 throttled surge chamber

调压室与压力水道间孔口的断面面积小于调压室处压力水道断面面积的调压室。

2.1.6 差动式调压室 differential surge chamber

由断面较小的升管和断面较大的大室组成，升管与大室间能够形成差动效应的调压室。

2.1.7 气垫式调压室 air cushion surge chamber

利用封闭气室中的气体压力制约水位高度及其涌波变幅的调压室。

2.1.8 水室式调压室 two-compartment surge chamber

由竖井和上室、下室共同或分别组成的调压室。

2.1.9 溢流式调压室 overflow surge chamber

顶部设有溢流堰泄水的调压室。

2.1.10 双向调压室 double - purpose surge chamber

设置在引调水工程压力水道上，具有补水与泄水功能的调压室。

2.1.11 单向调压室 single - purpose surge chamber

设置在引调水工程压力水道上，只具有补水功能的调压室。

2.1.12 半埋藏式调压室 partially underground surge chamber

底部在围岩中，上部出露于地面的调压室。

2.1.13 埋藏式调压室 underground surge chamber

埋藏于地下岩石中的调压室。

2.1.14 地面式调压室 surface surge chamber

调压室结构全部在地面以上的调压室。

2.1.15 压力水道 pressure conduit

内部充满水流，周边承受水压力作用的水道。

2.1.16 压力引水道 pressure headrace tunnel

自进（取）水口至上游调压室之间的压力水道。

2.1.17 压力管道 penstock

自上游调压室至水轮机蜗壳进口或者针阀喷嘴之间的压力水道；无上游调压室时，为水电站进水口至水轮机蜗壳进口或者针阀喷嘴之间的压力水道。

2.1.18 尾水延伸管道 draft tube extension

自尾水管出口至下游调压室之间的压力水道。

2.1.19 压力尾水道 pressure tailrace tunnel

自下游调压室至尾水洞出口之间的压力水道；无下游调压室时，为尾水管出口与尾水洞出口间的压力水道。

2.1.20 静水位 static water level

压力水道流量为零时的调压室水位。

2.1.21 最高涌波 maximum surge

压力水道流量变化时，调压室中水位相对于静水位的最高振幅。

2.1.22 最低涌波 minimum surge

压力水道流量变化时，调压室中水位相对于静水位的最低振幅。

2.1.23 第二振幅 secondary surge amplitude

在最高或最低涌波发生后，紧接产生的方向相反的最低或最高振幅。

2.1.24 设计水头 design head

保证水电站水轮发电机组发出额定出力时的最小水头。

2.1.25 毛水头 gross head

水电站进口断面与尾水出口断面的水位差。

2.1.26 吸出高度 suction height

水轮机规定的基准面至尾水位的高度。

2.2 符 号

F ——调压室断面面积

F_{Th} ——托马临界稳定断面面积

f ——压力水道断面面积

H_p ——设计水头

H_s ——吸出高度

H_0 ——发电最小毛水头

h_c ——阻抗孔水头损失

h_f ——沿程水头损失

h_m ——局部水头损失

h_{wm} ——压力管道和尾水延伸管道总水头损失

h_{w0} ——压力引（或尾）水道水头损失

L ——压力引水道长度

L_w ——压力尾水道长度

M ——溢流堰流量系数

m ——理想气体多变指数

Q ——流量

- S ——阻抗孔断面面积
- T_a ——机组加速时间常数
- T_s ——水轮机导叶有效关闭时间
- T_w ——压力水道水流惯性时间常数
- V ——容积或体积
- v ——流速
- Z ——以水库静水位为基准的调压室涌波振幅
- Z_{\max} ——调压室最高涌波
- Z_{\min} ——调压室最低涌波
- α ——水头损失系数
- φ ——孔口流量系数

3 水电站调压室设置条件

3.1 调压室设置原则

3.1.1 调压室的设置应在机组调节保证计算、机组运行稳定性及调节品质分析的基础上，结合地形、地质、压力水道布置等因素，进行技术经济比较后确定。

3.1.2 根据水电站压力水道布置和机组特性，可按 3.2 节中的相关规定对压力水道是否设置调压室进行初步判别。如判别结果处在设置调压室临界状态的水电站，宜采取数值模拟方法进行机组调节保证计算、运行稳定性和调节品质分析，进一步论证是否设置调压室。

3.2 调压室初步判别条件

3.2.1 基于水道特性的初步判别条件应满足下列要求：

1 设置上游调压室的条件按压力水道中水流惯性时间常数 T_w 作初步判别，水流惯性时间常数 T_w 应按式 (3.2.1-1) 和式 (3.2.1-2) 计算：

$$T_w > [T_w] \quad (3.2.1-1)$$

$$T_w = \frac{\sum L_i v_i}{g H_p} \quad (3.2.1-2)$$

式中 T_w ——上游压力水道水流惯性时间常数，s；

L_i ——上游压力水道及蜗壳各段的长度，m；

v_i ——各管段内相应的平均流速，m/s；

g ——重力加速度，m/s²；

H_p ——设计水头，m；

$[T_w]$ —— T_w 的允许值，宜取 2~4s。

$[T_w]$ 的取值随水电站在电力系统中的作用而异，当水电站作孤立运行，或机组容量在电力系统中所占的比重超过 50% 时，宜用小值；当比重小于 10%~20% 时，可取大值。

2 设置下游调压室的条件以尾水管内不产生液柱分离为前提,可按式(3.2.1-3)初步判别,资料齐全时可参考条文说明给出的判别式进行计算。

$$\sum L_{wi} > \frac{5T_s}{v_{w0}} \left(8 - \frac{\nabla}{900} - \frac{v_{wi}^2}{2g} - H_s \right) \quad (3.2.1-3)$$

式中 L_{wi} ——压力尾水道及尾水管各段的长度, m;

T_s ——水轮机导叶有效关闭时间, s;

v_{w0} ——稳定运行时压力尾水道中的平均流速, m/s;

v_{wi} ——水轮机转轮后尾水管入口处的平均流速, m/s;

H_s ——吸出高度, m;

∇ ——机组安装高程, m。

最终通过过渡过程计算验证,考虑涡流引起的压力下降与计算误差等不利影响后,尾水管进口处的最大真空度不应大于8m水柱,对于大容量机组,宜适当增加安全度。高海拔地区尾水管进口处最大真空度应满足式(3.2.1-4)的要求:

$$H_v \leq 8 - \frac{\nabla}{900} \quad (3.2.1-4)$$

式中 H_v ——尾水管进口处最大真空度(水柱), m。

3.2.2 基于机组特性的调压室初步判别条件应满足下列要求:

1 机组运行稳定性与水流惯性时间常数 T_w 、机组加速时间常数 T_a 等密切相关,不设置调压室可按式(3.2.2-1)和式(3.2.2-2)初步判别:

$$T_w \leq -\sqrt{\frac{9}{64}T_a^2 - \frac{7}{5}T_a + \frac{784}{25}} + \frac{3}{8}T_a + \frac{24}{5} \quad (3.2.2-1)$$

$$T_a = \frac{GD^2n^2}{365P} \quad (3.2.2-2)$$

式中 T_w ——上、下游自由水面间压力水道中水流惯性时间常数, s, 应按式(3.2.1-2)计算,其中 L_i 、 v_i 分别为上、下游自由水面间压力水道各段的长度及平均流速,即压力管道、蜗壳、尾水管及尾水延

伸管道（无下游调压室时为压力尾水道）各段的长度及平均流速；

T_a ——机组加速时间常数，s；

GD^2 ——机组的飞轮力矩， $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ；

n ——机组的额定转速，r/min；

P ——机组的额定出力，W。

2 当不满足式（3.2.2-1）时，可按图 3.2.2 进行初步判断是否需要设置调压室，当处在①区可不设调压室，处在③区应设置调压室，处在②区应研究设置调压室的必要性。

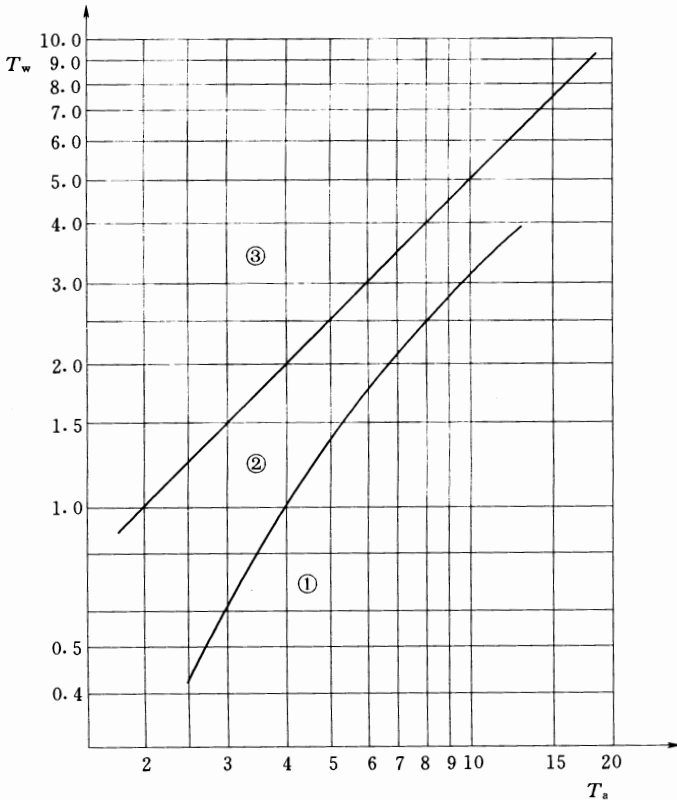


图 3.2.2 T_w 、 T_a 与调速性能关系图

4 水电站调压室布置

4.1 调压室位置选择

4.1.1 调压室的位置宜靠近厂房，并结合地形、地质、压力水道布置等因素进行技术经济分析比较后确定。

4.1.2 调压室宜布置在地下，并宜避开不利的地质条件，无法避开时，应采取围岩及边坡稳定防护措施，避免内水外渗造成不利影响。

4.1.3 需设置副调压室时，其位置宜靠近主调压室，主、副调压室间宜采用具有差动效应的布置型式。

4.2 调压室布置方式及原则

4.2.1 调压室布置可分为上游调压室、下游调压室、上下游双调压室和上游双调压室等，其基本布置方式见图 4.2.1。若有特殊需要亦可采用其他布置方式。

4.2.2 调压室的布置宜遵循下列原则：

1 结合厂房位置确定调压室布置方式，宜布置成上游或下游单个调压室。

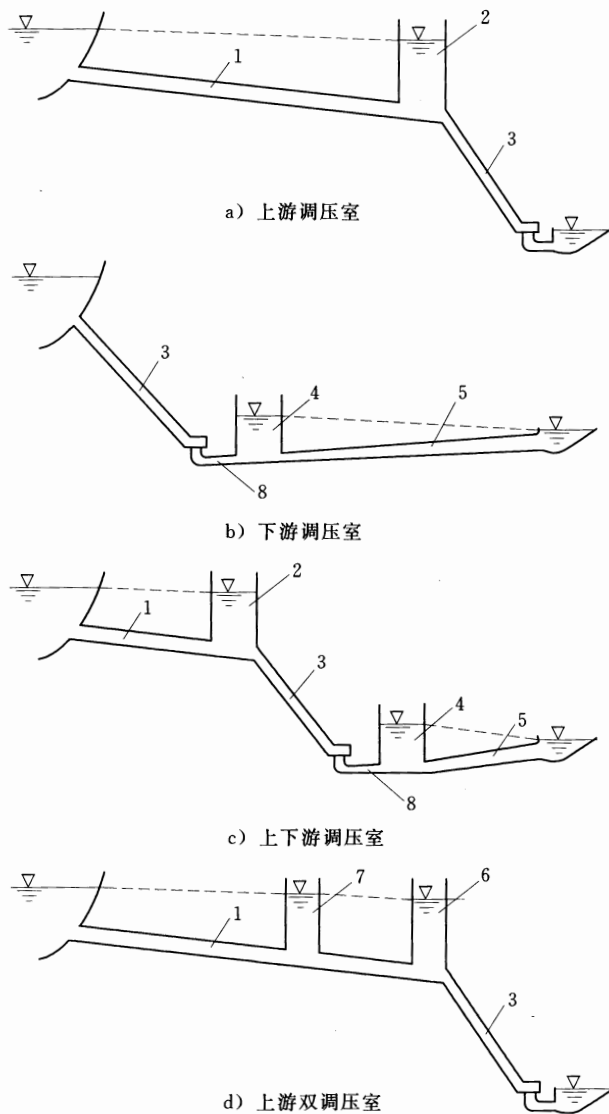
2 宜采用多机共用一室的布置方式。

4.3 调压室基本类型及选择

4.3.1 调压室基本类型可分为简单式、阻抗式、水室式、溢流式、差动式和气垫式等，其基本类型见图 4.3.1。

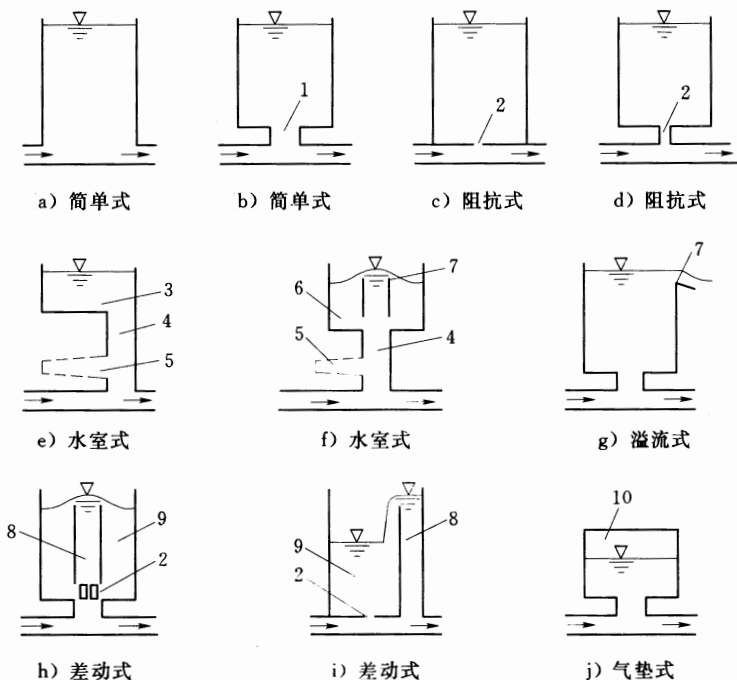
4.3.2 根据工程实际情况，亦可综合两种及以上基本类型调压室的特点，组合成混合型调压室。

4.3.3 调压室的选型应根据水电站的工作特点，结合地形、地质条件，分析各类调压室的优缺点及适用条件，进行技术经济比较后确定。调压室选型的基本原则应符合下列要求：



1—压力引水道；2—上游调压室；3—压力管道；4—下游调压室；
5—压力尾水道；6—主调压室；7—副调压室；8—尾水延伸管道

图 4.2.1 调压室的基本布置方式



1—连接管；2 阻抗孔；3—上室；4 竖井；5 下室；6—储水室；
7—溢流堰；8—升管；9—大室；10 压缩空气

图 4.3.1 水电站调压室的基本类型

- 1 能有效地反射压力水道的水击波。
- 2 在无限小负荷变化时，能保持稳定。
- 3 大负荷变化时，水面振幅小，波动衰减快。
- 4 在正常运行时，经过调压室与压力水道连接处的水头损失较小。

5 结构简单，经济合理，施工方便。

4.3.4 调压室断面形式应根据枢纽布置、地形、地质条件及水力条件等因素综合确定，宜采用圆形断面。调压室规模巨大或受枢纽布置、地质条件等因素限制时，也可布置成长廊形等。

4.3.5 压力管道或压力尾水道的首部需要设置闸门时，根据地质条件、水工建筑物布置及金属结构布置等因素，宜采用闸门井与调压室结合的布置形式。

5 水电站常规调压室

5.1 调压室稳定断面面积

5.1.1 上游调压室的稳定断面面积可按式 (5.1.1-1) ~ 式 (5.1.1-3) 计算:

$$F = KF_{Th} \quad (5.1.1-1)$$

$$F_{Th} = \frac{Lf}{2g\left(\alpha + \frac{1}{2g}\right)(H_0 - h_{w0} - 3h_{wm})} \quad (5.1.1-2)$$

$$\alpha = h_{w0}/v^2 \quad (5.1.1-3)$$

式中 F ——上游调压室的稳定断面面积, m^2 ;

F_{Th} ——托马临界稳定断面面积, m^2 ;

L ——压力引水道长度, m ;

f ——压力引水道断面面积, m^2 ;

H_0 ——发电最小毛水头, m ;

h_{w0} ——压力引水道水头损失, m ; 计算公式见附录 A;

h_{wm} ——压力管道和压力尾水道的总水头损失, m ; 计算公式见附录 A;

α ——压力引水道水头损失系数, s^2/m ; 在无连接管时用

α 代替 $\left(\alpha + \frac{1}{2g}\right)$;

v ——压力引水道平均流速, m/s ;

K ——系数, 可采用 1.0~1.1。

5.1.2 下游调压室的稳定断面面积可按式 (5.1.2-1) ~ 式 (5.1.2-3) 计算:

$$F = KF_{Th} \quad (5.1.2-1)$$

$$F_{Th} = \frac{L_w f}{2g\alpha(H_0 - h_{w0} - 3h_{wm})} \quad (5.1.2-2)$$

$$\alpha = h_{w0}/v^2 \quad (5.1.2-3)$$

式中 F ——下游调压室的稳定断面面积, m^2 ;

F_{Th} ——托马临界稳定断面面积, m^2 ;

L_w ——压力尾水道长度, m ;

f ——压力尾水道断面面积, m^2 ;

H_0 ——发电最小毛水头, m ;

h_{w0} ——压力尾水道水头损失, m ;

h_{wm} ——压力管道和尾水延伸管道的总水头损失, m ;

α ——压力尾水道水头损失系数;

v ——压力尾水道平均流速, m/s ;

K ——系数, 宜采用 1.0~1.1。

5.1.3 若突破托马临界稳定断面面积, 即 $K < 1.0$ 时, 应根据水轮机、发电机、调速器和电网等影响因素, 对机组运行稳定性和调节品质进行详细分析。

5.1.4 对于上下游双调压室、上游双调压室及其他特殊布置方式的调压室稳定断面面积计算, 应通过专门计算分析论证确定。

5.2 调压室涌波计算

5.2.1 根据不同设计阶段要求, 调压室的涌波水位计算可采用解析法 (见附录 B)、逐步积分法和数值法等方法, 但最终均应与压力管道水击联合数值分析加以验证。

5.2.2 上游调压室涌波应按下列工况分别计算:

1 最高涌波应按表 5.2.2-1 的规定计算, 取其最高涌波水位。

表 5.2.2-1 上游调压室最高涌波计算工况

工况	水库水位	运用条件	压力引水道糙率
1	正常蓄水位	共用同一调压室 (以下简称共调压室) 的全部机组满载运行, 同时丢弃全部负荷	最小值

表 5.2.2-1 (续)

工况	水库水位	运用条件	压力引水道糙率
2	最高发电水位	共调压室的全部机组满载运行, 同时丢弃全部负荷	最小值
3	正常蓄水位	以可能出现涌波叠加的不利组合确定 例如: 共调压室 $n-1$ 台机组满负荷运行, 最后 1 台机组从空载增至满负荷, 在流入调压室流量最大时, 全部机组丢弃负荷	最小值

2 最低涌波应按表 5.2.2-2 的规定计算, 取其最低涌波水位。

表 5.2.2-2 上游调压室最低涌波计算工况

工况	水库水位	运用条件	压力引水道糙率
1	最低发电水位	共调压室 n 台机组由 $n-1$ 台增至 n 台满负荷发电或全部机组由 $2/3$ 负荷增至满负荷 (或最大引用流量)	最大值
2	最低发电水位	共调压室的全部机组同时丢弃全负荷, 调压室涌波的第二振幅	最小值
3	最低发电水位	共调压室的全部机组瞬时丢弃全负荷, 在流出调压室流量最大时, 一台机组启动, 从空载增至满负荷	分析确定

注: 若水电站分期蓄水、分期发电, 需要对水位和运行工况进行专门分析。

5.2.3 下游调压室涌波应按下列工况分别计算:

1 最高涌波应按表 5.2.3-1 的规定计算, 取其最高涌波水位。

表 5.2.3-1 下游调压室最高涌波计算工况

工况	水库水位	运用条件	压力尾水道糙率
1	设计洪水位	共调压室 n 台机组由 $n-1$ 台增至 n 台满负荷发电或全部机组由 $2/3$ 负荷增至满负荷	最大值

表 5.2.3-1 (续)

工况	水库水位	运用条件	压力尾水道糙率
2	校核洪水位	共调压室 n 台机组由 $n-1$ 台增至 n 台满负荷发电或全部机组由 $2/3$ 负荷增至满负荷	最大值
3	设计洪水位	共调压室的全部机组同时丢弃全负荷, 调压室涌波的第二振幅	最大值
4	设计洪水位	共调压室全部机组同时丢弃全负荷, 在流进调压室流量最大时, 一台机组启动, 从空载增至满负荷	最小值

2 最低涌波应按表 5.2.3-2 的规定计算, 取其最低涌波水位。

表 5.2.3-2 下游调压室最低涌波计算工况

工况	下游水位	运用条件	压力尾水道糙率
1	满负荷发电相应水位	共调压室全部机组在满负荷发电及相应下游水位, 同时丢弃全部负荷	最小值
2	发电相应最低水位	共调压室部分机组满负荷发电, 同时丢弃全部负荷	最小值
3	发电相应最低水位	共调压室 n 台机组由 $n-1$ 台增至 n 台满负荷发电, 在流出调压室流量最大时, 丢弃全部负荷	最小值

5.2.4 经论证后, 如不存在同时丢弃全部负荷的运行工况, 可按丢弃部分负荷进行涌波计算。

5.2.5 对大型水电站的调压室或型式复杂的调压室, 必要时可通过水力模型试验明确其水力特性、水流流态, 确定调压室最高涌波、最低涌波等设计参数。

5.3 调压室基本尺寸确定

5.3.1 调压室基本尺寸应符合下列要求:

- 1 断面面积满足稳定要求，高度满足涌波要求。
- 2 基本尺寸应满足过渡过程分析结果要求。
- 3 通过技术经济比较，也可采用合理调整运行方式优化调压室基本尺寸。

5.3.2 阻抗式调压室阻抗孔尺寸的选择应符合下列要求：

- 1 增设阻抗后，压力管道末端的水击压力变化不大。
- 2 调压室处压力水道的水压力，不宜大于调压室出现最高涌波水位时的水压力，或不宜低于最低涌波水位的水压力，宜抑制调压室水位波动幅度、加速水位波动的衰减。
- 3 阻抗孔面积宜为压力引水道或压力尾水道断面的 25%~45%，阻抗板上下压差宜控制在结构允许的范围內。

5.3.3 差动式调压室尺寸的选择应符合下列要求：

- 1 大室与升管净面积之和应满足稳定断面面积要求。
- 2 升管水位在机组丢弃负荷后的较短时间内达到极值，宜使大室与升管具有相同的最高及最低涌波水位，大室水位略高于升管顶部高程。
- 3 升管面积宜与调压室处压力水道的面积接近；升管的高程应高于上游水库最高运行水位。

4 详细分析阻抗孔面积、回流孔面积、升管溢流前沿长度，并优化组合。

5.3.4 水室式调压室尺寸的选择应符合下列要求：

- 1 竖井断面面积应满足稳定断面面积要求。
- 2 上室容积按丢弃负荷时的涌水量确定。对于较长洞室的上室，应计及水面坡降及明渠非恒定流的影响。上室底板宜设置在最高静水位以上。
- 3 设溢流堰的上室，应在其底部适当布置回流孔。上室应设置倾向竖井不小于 1% 的底坡。

4 下室顶部宜设在最低运行水位以下，并设置倾向竖井不小于 1.5% 的反坡；下室底部宜比最低涌波水位稍低，并设置倾向竖井不小于 1% 的底坡。

5 下室方向与压力引水道方向宜垂直或呈较大角度，下室不宜过长，宜与施工支洞结合。

6 在多泥沙的河流上，应考虑下室底部淤积的影响。

5.3.5 溢流式调压室，应按最大溢流量设计泄水建筑物。

5.3.6 调压室安全超高应符合下列要求：

1 最高涌波水位以上的安全超高不小于 1.0m。

2 上游调压室最低涌波水位与调压室处压力水道顶部之间的安全高度不小于 2.0m。下游调压室最低涌波水位与尾水管出口顶部及调压室处压力水道顶部之间的安全高度不小于 2.0m。

3 调压室底板应留有不小于 1.0m 的安全水深。

5.3.7 调压室与闸门井结合布置时，应符合下列要求：

1 闸门启闭机设备平台高程应根据闸门检修平台高程确定，且应高于调压室最高涌波水位，并不小于 1.0m 的安全超高。

2 闸门检修平台高程应结合库水位、机组运行台数、涌波水位振幅，以及闸门启吊空间等因素综合确定。

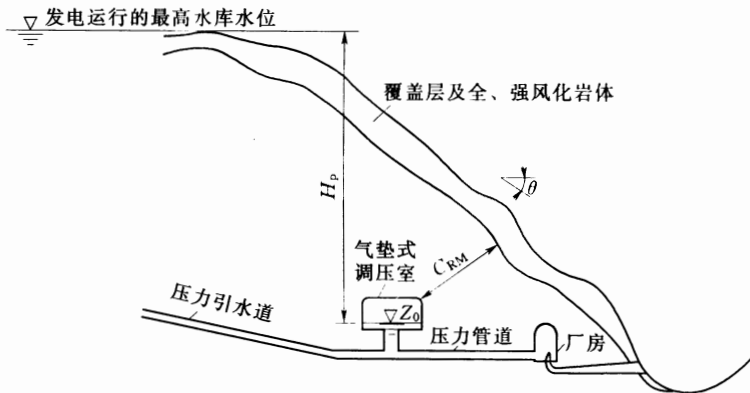
6 气垫式调压室

6.0.1 气垫式调压室方案的选择，应结合地形、地质、工程布置、施工、环境影响、工程投资及运行等因素进行技术经济综合比较后确定。

6.0.2 气垫式调压室设置应满足下列条件：

1 应利用围岩承担内水或气体压力，围岩宜以不低于Ⅲ类较完整的中硬岩或坚硬岩为主。

2 上覆岩体厚度如图 6.0.2 所示，最小埋深应按式 (6.0.2-1) 确定：



Z_0 为气室设计静态工况的室内水位，m；气室设计静态工况即发电运行的最高水库水位、电站共用一气垫式调压室的机组全部停机时，气室内允许最大充气量的工况。

图 6.0.2 气垫式调压室上覆岩体厚度示意图

$$C_{RM} \geq K \frac{H_P \gamma_w}{\gamma_R \cos \theta} \quad (6.0.2-1)$$

式中 C_{RM} ——除去覆盖层及全、强风化岩体后的最小埋深厚度，m；

H_p ——气垫式调压室设计压力水头，m；

γ_w ——水的容重，N/m³；

γ_R ——岩体容重，N/m³；

θ ——地形边坡平均倾角，(°)，当 $\theta > 60^\circ$ 时，取 $\theta = 60^\circ$ ；

K ——经验系数，宜取1.3~1.5。

3 按式(6.0.2-1)计算最小埋深厚度后，应复核在最大气体压力条件下的埋深，此时 K 宜大于1.1。

3 岩体最小主应力 σ_3 应按经验公式(6.0.2-2)计算：

$$\sigma_3 \geq (1.2 \sim 1.5)\gamma_w P_{\max} \quad (6.0.2-2)$$

式中 σ_3 ——岩体最小主应力，N/m³；

γ_w ——水的容重，N/m³；

P_{\max} ——气室内最大气体压力水头，m。

4 调压室区域宜有较高的天然地下水位，或能形成稳定渗流场。高压压水岩体透水率宜小于5Lu。

6.0.3 气垫式调压室的小波动稳定性应采用临界稳定气体体积进行判断，稳定气体体积可按式(6.0.3-1)~式(6.0.3-4)确定：

$$V_0 = K_v V_{Th} \quad (6.0.3-1)$$

$$V_{Th} = \frac{mP_0 \sum L_i f_i}{2g\alpha_{\min}(Z_{\max} - Z_d)} \quad (6.0.3-2)$$

$$P_0 = Z_{\max} - Z_0 + h_a \quad (6.0.3-3)$$

$$\alpha_{\min} = h_{w0}/v^2 \quad (6.0.3-4)$$

式中 V_0 ——稳定气体体积，m³；

V_{Th} ——临界稳定气体体积，m³；

P_0 ——气室设计静态工况的室内气体绝对压力水头，m；

h_a ——当地大气压，m；

Z_0 ——气室设计静态工况的室内水位，m；

Z_{\max} ——正常发电运行的最高水库水位，m；

Z_d ——与 Z_{\max} 相对应的正常发电运行的最高尾水位，m；

- m ——理想气体多变指数，宜取 $m=1.4$ ；
 h_{w0} ——压力引水道最小水头损失，m；
 α_{\min} ——压力引水道最小水头损失系数， s^2/m ；
 v ——压力引水道流速，m/s；
 L_i ——压力引水道各段长度，m；
 f_i ——压力引水道各段断面面积， m^2 ；
 g ——重力加速度， m/s^2 ；
 K_v ——稳定气体体积安全系数，宜采用 1.2~1.5；并应针对允许的气体最大漏损量情况进行校核计算，此时 K_v 应大于 1.1。

6.0.4 在拟定气垫式调压室布置及尺寸时，涌波和气体压力极值可采用解析公式计算，见附录 C。布置及尺寸基本选定后，涌波和气体压力极值应进一步通过水力过渡过程计算确定。

6.0.5 气垫式调压室可采用围岩闭气、水幕闭气、罩式闭气等闭气型式，见图 6.0.5，并符合下列规定：

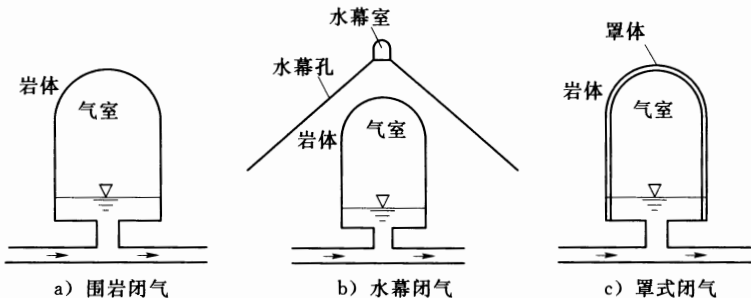


图 6.0.5 气垫式调压室闭气型式示意图

1 围岩闭气：当围岩渗透率很低，且岩体中的孔隙水压力大于气室气体压力时，可采用围岩闭气。

2 水幕闭气：在气室周围和上部围岩布置一系列钻孔和廊道，并充以高压水，在气室外围形成连续的水幕。

3 罩式闭气：在气室的边顶拱周围形成连续、封闭的罩体，

将气体与围岩隔离。

6.0.6 采用水幕闭气应符合下列规定：

1 水幕的压力应高于气室内的气体压力，并小于岩体内的最小主应力。

2 形成水幕的钻孔、廊道与气室间的最小距离应满足在水幕超压条件下的围岩稳定要求。

3 布置在气室周围的水幕应连续、封闭，水幕钻孔间距宜采用 2~4m。

4 可在水幕孔上方布置帷幕灌浆。

5 水幕室可布置于气室两侧或上方，水幕室的断面尺寸应便于水幕孔施工。

6.0.7 采用罩式闭气应符合下列规定：

1 罩体结构中至少设有一层气体密封层，可选用钢板或其他密封材料。密封层应伸入气室最低涌波水位 0.5m 以下。

2 钢罩式结构宜设置平压系统平衡罩体外侧水压力和气室气体压力。平压系统可由平压孔和平压管网或平压空腔组成，平压孔系统布置在岩体内，平压管网布置在罩体与岩体之间。

3 采用钢罩式结构时，当钢板直接与水气接触应进行防腐处理。

4 气室形状宜简单。

6.0.8 围岩闭气和水幕闭气的气室不宜在气室洞壁布置对外施工交通洞。

6.0.9 气垫式调压室底板应留有一定的安全水深，不宜小于 2.0m，特殊情况下不应小于 1.5m。

6.0.10 气垫式调压室可采用锚喷支护，其支护设计宜按 SL 279 的规定执行。

6.0.11 气室围岩宜进行灌浆，灌浆压力应大于气室最大气体压力，小于岩体最小主应力 σ_3 。

7 引调水工程调压室设计

7.1 一般规定

7.1.1 当引调水工程压力水道因流量变化而产生过高的压力升高或降低时，应设置调压室。

7.1.2 引调水工程调压室设计应根据地形、地质条件、压力水道布置及工作压力、机电特性和运行条件等资料，经综合论证，做到因地制宜、安全可靠、经济合理。

7.2 调压室设置原则

7.2.1 引调水工程调压室的设置，应在水力过渡过程分析的基础上，结合工程安全运行、地形、地质、压力水道布置等因素，进行技术经济比较后确定。

7.2.2 调压室的设置应符合下列原则：

1 双向调压室应保证压力水道的最大、最小内水压力不超过其工作压力。

2 单向调压室应保证压力水道的最小内水压力不低于允许最小工作压力。

3 多级调压室应根据压力水道和调压室的布置、结构及投资，进行技术经济比较后确定。

4 压力水道最大、最小内水压力超标时，可就近设置双向调压室。

5 压力水道仅最小内水压力超限时，在超标区可设置单向调压室。

7.2.3 当系统停水造成压力水道的压力过高或压力水道有局部放空要求时，宜设置溢流式双向调压室。

7.3 调压室基本类型及选择

7.3.1 引调水工程调压室的基本类型可分为双向调压室和单向调压室，其基本类型见图 7.3.1。

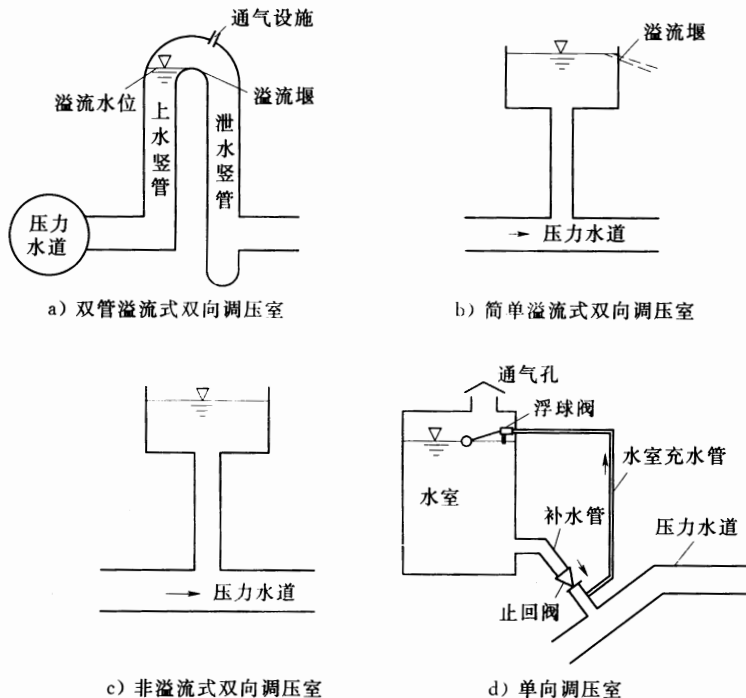


图 7.3.1 引调水工程调压室的基本类型

7.3.2 引调水工程调压室类型选择宜符合下列原则：

1 宜采用双管溢流式双向调压室；地形条件允许时，可采用简单溢流式双向调压室；不宜弃水时，可采用非溢流式双向调压室。

2 重力流有压引调水工程不宜采用非溢流式双向调压室。

3 泵站下游宜采用单向调压室。

7.4 调压室基本尺寸确定

7.4.1 双向调压室尺寸应满足压力水道所需的补水容积及允许工作压力要求。

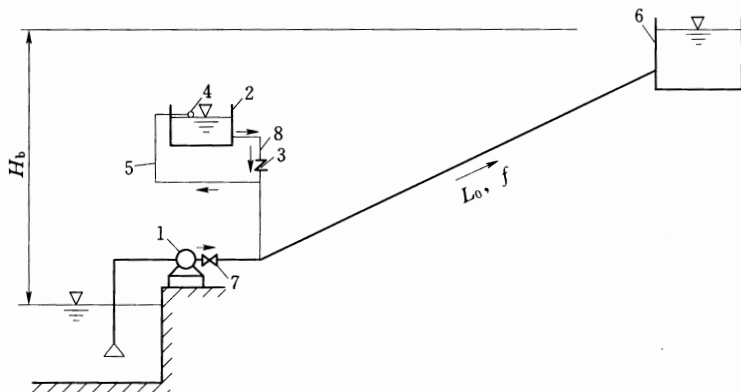
7.4.2 双管溢流式双向调压室的上水竖管容积应大于补水容积，其容积可按单向调压室计算；泄水竖管内应设置减压孔板，上端180°弯管上应设置通气设施。

7.4.3 简单溢流式双向调压室溢流堰顶高程应高于调压室处的静水位及正常运行水位，堰顶超高不宜小于0.5m。

7.4.4 调压室结构安全超高不宜小于1.0m。

7.4.5 单向调压室容积应按最不利工况的水力过渡过程计算结果确定。初步估算时，管径一致、流量无变化条件下，可按下列要求确定：

1 单向调压室设置在水泵出口处，如图7.4.5-1所示，水室最小容积 V_{\min} 可按式(7.4.5-1)计算：



1—水泵；2—单向调压室；3—止回阀；4—浮球阀；5—水室充水管；
6—高位水池；7—出口阀；8—补水管

图 7.4.5-1 水泵出口处单向调压室及其组成

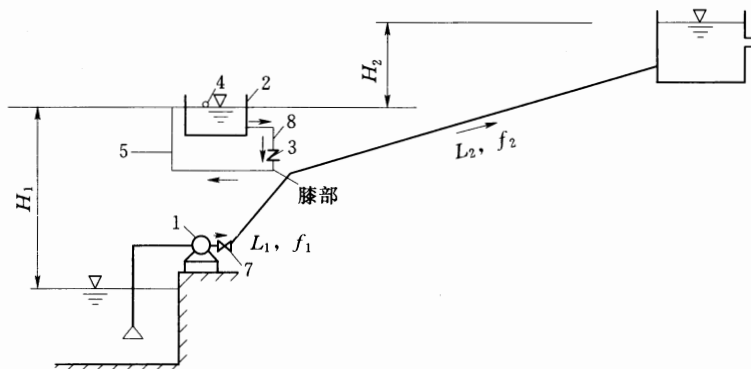
$$V_{\min} = K \frac{L_0 Q^2}{2gfH_b} \quad (7.4.5-1)$$

- 式中 Q ——正常运行流量， m^3/s ；
 f ——压力水道断面面积， m^2 ；
 H_b ——水泵静扬程， m ；
 L_0 ——水泵出口与高位水池之间管道长度， m ；
 K ——安全系数，可取 1.5~2.0；
 g ——重力加速度， m/s^2 。

2 单向调压室设置在压力水道“膝部”处，如图 7.4.5-2 所示，水室最小容积 V_{\min} 可按式 (7.4.5-2) 计算：

$$V_{\min} = K \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{L_2}{f_2 H_2} - \frac{L_1}{f_1 H_1} \right) \quad (7.4.5-2)$$

- 式中 L_1 、 L_2 ——调压室至低位水池与高位水池之间的长度， m ；
 H_1 ——低位水池水面与调压室水面的高差， m ；
 H_2 ——高位水池水面与调压室水面的高差， m ；
 f_1 、 f_2 ——调压室至低位水池与高位水池之间压力水道断面面积， m^2 。



1—水泵；2—单向调压室；3—止回阀；4—浮球阀；5—水室充水管；
 6—高位水池；7—出口阀；8—补水管

图 7.4.5-2 压力水道“膝部”处单向调压室及其组成

7.4.6 单向调压室应满足下列要求：

1 注水管的止回阀应选用开启压力小、水头损失小的阀门，保证注水及时。

2 调压室应有足够容量，补水过程中调压室注水管（管径 D_z ）管顶以上最小水深应满足 $(2.5\sim 3.0) D_z$ 的要求。

3 调压室的补水管不宜少于 2 根。

4 调压室宜设有防止水质恶化的措施。

8 结构设计和构造要求

8.1 一般规定

8.1.1 调压室结构设计应采用极限状态设计法，在规定的材料强度和荷载取值条件下，在多系数分析基础上以安全系数表达的方式进行设计。

8.1.2 半埋藏式调压室、地面式调压室及差动式调压室大室内独立升管等应进行整体稳定分析，并按 SL 203 的相关规定进行抗震验算。

8.1.3 调压室结构应分别按下列要求进行承载能力极限状态、正常使用极限状态计算和验算：

1 承载能力极限状态：井壁强度及其他结构构件计算。

2 正常使用极限状态：调压室井壁裂缝宽度、结构件局部应力验算、地面式调压室变形计算。

8.1.4 按承载能力极限状态设计时，应按基本组合、偶然组合两种荷载效应组合，并符合下列规定：

1 基本组合：运行、施工、检修期等状况下，永久荷载与可变荷载的效应组合。

2 偶然组合：地震及校核洪水位等偶然状况下，永久荷载、可变荷载与一种偶然荷载的效应组合。

3 承载能力极限状态荷载效应组合可按表 8.1.4 选取。

8.1.5 结构按承载能力极限状态设计时，应采用式 (8.1.5) 表达：

$$KS \leq R \quad (8.1.5)$$

式中 K ——承载力安全系数，按 SL 191 选用；

S ——荷载效应组合设计值，按 SL 191 选用；

R ——结构构件的承载力设计值。

表 8.1.4 承载能力极限状态荷载效应组合表

调压室 类型	荷载效 应组合	荷 载 效 应									备 注			
		内水压力	结构自重	围岩压力	外水压力	灌浆压力	冰压力	风荷载	雪荷载	温度荷载		最大绝对气压	地震作用	
埋藏式	基本组合 I	√	√	√	√	×	×	×	×	×	×	×	×	正常运行 (最高涌波水位)
	基本组合 II	×	√	√	√	√	×	×	×	×	×	×	×	施工期
	基本组合 III	×	√	√	√	×	×	×	×	×	×	×	×	检修放空
地面式	基本组合 I	√	√	×	×	×	×	√	√	×	×	×	×	正常运行 (最高涌波水位)
	基本组合 II	×	√	×	×	×	×	√	√	×	×	×	×	施工期或检修放空
	基本组合 III	√	√	×	×	×	×	√	√	×	×	×	×	正常蓄水位时, 调压室静水位
	偶然组合	√	√	×	×	×	×	×	×	×	×	√	×	正常蓄水位时, 调压室静水位
	基本组合 I	√	√	√	√	×	×	×	×	×	√	×	×	室内最高水位
气垫式	基本组合 II	×	√	√	√	√	×	×	×	×	×	×	×	施工期
	基本组合 III	×	√	√	√	×	×	×	×	×	×	×	×	检修放空

注 1: 半埋藏式调压室地面以上部分按地面式调压室考虑, 地面以下部分按埋藏式调压室考虑。

注 2: 未列入表中的其他荷载应根据实际情况在相应荷载组合中分析确定。

注 3: 结构计算中应根据实际作用的荷载情况, 确定其不利的荷载组合。

注 4: “√”表示参与荷载效应组合, “×”表示不参与荷载效应组合。

8.1.6 结构按正常使用极限状态设计时，应按表 8.1.6 的规定，考虑荷载效应的标准组合，并采用式 (8.1.6) 表达：

$$S_k(G_K, Q_K, f_K, a_K) \leq C \quad (8.1.6)$$

式中 $S_k(\cdot)$ ——正常使用极限状态的荷载效应标准组合值函数；

C ——调压室混凝土结构裂缝宽度、变形等功能限值；地面以下混凝土结构迎水面最大裂缝宽度允许值为 0.25mm；

G_K 、 Q_K ——永久荷载、可变荷载标准值，按 DL/T 5077 的规定选用；

f_K ——材料强度标准值；

a_K ——结构构件几何参数的标准值。

表 8.1.6 正常使用极限状态荷载效应组合表

调压室类型	荷载效应组合	荷载效应									备注
		内水压力	结构自重	围岩压力	外水压力	冰压力	风荷载	雪荷载	温度荷载	最大绝对气压	
埋藏式	标准组合	√	√	√	√	×	×	×	×	×	正常运行 (最高涌波水位)
地面式	标准组合	√	√	×	×	√	√	√	√	×	正常运行 (最高涌波水位)
气垫式	标准组合	√	√	√	√	×	×	×	×	√	最大气体压力
注 1：半埋藏式调压室地面以上部分按地面式调压室考虑，地面以下部分按埋藏式调压室考虑。 注 2：未列入表中的其他荷载应根据实际情况在相应荷载组合中分析确定。 注 3：结构计算中应根据实际作用的荷载情况，确定其不利的荷载组合。 注 4：“√”表示参与荷载效应组合；“×”表示不参与荷载效应组合。											

8.1.7 调压室结构的混凝土强度、抗渗等级、抗冻等级及抗冲要求，应符合下列规定：

1 结合环境条件、使用条件、结构部位和结构型式及施工条件要求，符合 SL 191 的相关规定。

2 寒冷地区混凝土的抗冻等级应符合 GB/T 50662 的相关规定。

8.2 结构设计

8.2.1 调压室的结构设计应充分利用围岩的自稳能力、承载能力和抗渗能力。

8.2.2 调压室的支护设计应根据围岩的地质条件、洞室规模和施工程序及方法，通过工程类比、结合整体稳定和结构分析成果，选择合适的支护形式和支护参数。对调压室围岩局部不稳定块体可采用刚体极限平衡法进行计算分析，确定加固参数。

8.2.3 调压室宜采用钢筋混凝土衬砌作为永久支护，当水电站下游调压室的围岩完整、坚硬、渗透性小时，也可采用锚喷支护。

8.2.4 调压室布置为长廊式时，围岩稳定和结构分析可采用有限元法进行计算，根据围岩地质条件和工程规模，可采用线弹性、非线性模型计算。

8.2.5 调压室钢筋混凝土结构可按结构力学、弹性力学方法计算，也可采用线弹性有限元计算主要结构应力，或通过非线性有限元法验算钢筋应力和混凝土裂缝宽度。

8.2.6 差动式调压室升管、大室底板的水压力应按运行中可能出现的最不利工况下大室与升管水位差、大室底板上下水压差计算。差动式调压室升管结合调压室大室布置时，升管宜贴井壁布置，或结合闸门井布置，必要时，也可在岩体内单独布置升管竖井。

8.2.7 作用在调压室衬砌上的外水压力，在原始地下水位线的基础上，结合水电站运行后的地下水位变化，可按 SL 279 规定的混凝土衬砌有压隧洞的外水压力折减系数折减，亦可由渗流场分析确定。

8.2.8 规模较大的地面式圆形调压室，井壁可采用预应力钢筋混凝土结构或钢衬结构。

8.2.9 调压室的升管、闸门槽、通气孔等结构，应合理布置。在结构计算中，应考虑其不利影响，防止应力集中，并采取必要的结构措施。

8.2.10 调压室内设置快降事故闸门时，应考虑涌波与闸门的相互不利影响，并采取适当措施。

8.2.11 采用钢筋混凝土衬砌的地下调压室，宜对其围岩进行固结灌浆。当调压室围岩雄厚且地质条件较好时，经论证，也可不进行固结灌浆。

8.2.12 调压室边坡设计，应按 SL 386 的规定执行；调压室洞室围岩稳定分析，应按 SL 279 的规定执行。

8.3 构造要求

8.3.1 常规调压室应设置通气设施，通气设施面积不应小于压力水道面积的 10%，出口应避免对附近建筑物等产生不利影响。

8.3.2 地下长廊形调压室围岩较差时，可沿上、下游方向（短边方向）布置钢筋混凝土横向支撑梁（墙），或同时布置钢筋混凝土纵向支撑梁（墙）。布置支撑墙时，应在墙体上预留连通孔洞。

8.3.3 采用混凝土衬砌的调压室，为增加防渗效果，必要时可在围岩和衬砌混凝土之间喷涂柔性聚合物砂浆防渗层或其他柔性防渗层；地面式调压室可在井壁内侧布置薄钢板、防渗涂料或防水卷材等。

8.3.4 采用钢筋混凝土衬砌的调压室，用于洞壁支护的锚杆兼有抵抗外水压力的功能时，锚杆应与衬砌结构中的受力钢筋焊接。

8.3.5 考虑地震设防时，调压室结构及其附属设备应采取加强其整体性和刚度等抗震措施。

8.3.6 调压室安全防护应符合下列规定：

- 1 埋藏式调压室的井口周边，应设置安全防护设施。
 - 2 半埋藏式调压室和地面式调压室应设置井口安全防护设施。
 - 3 调压室内的钢爬梯，应设置护笼。
- 8.3.7 寒冷地区半埋藏式调压室和地面式调压室应采取防冰冻措施。

9 模型试验、安全监测及运行管理

9.1 模型试验

9.1.1 大型水电站调压室或结构复杂的调压室，宜进行局部模型试验或整体模型试验。

9.1.2 根据调压室的结构特点，局部模型试验宜包括水流流经调压室底部水力损失试验、水流进出调压室底部孔口阻力系数试验、调压室溢流堰流量系数试验、长条形上室或下室的水流流态试验、多台机组共用矩形调压室的体形流态试验等内容中的一项或多项。

9.1.3 调压室局部模型试验应满足下列要求：

1 应采用正态模型，试验水流要求达到阻力平方区，试验范围包括需要进行局部试验的部位，以及上下游一定范围内的压力水道长度。

2 试验测量断面应布置在流速分布比较均匀的断面，需要观测流态和测量压力时，测点宜直接布置在测量部位。

9.1.4 调压室整体模型试验宜包括调压室涌波试验、高压管道水击试验、事故闸门动水降门试验、调压室稳定运行试验等内容中的一项或多项。

9.1.5 调压室整体模型试验应满足下列要求：

1 根据压力水道布置确定采用正态模型或变态模型，模型设计应采用相应的模型律和模型比尺。

2 对于调压室涌波试验模型，模型律应按照压力水道水流运动方程和调压室连续方程分析确定。

3 对于水击试验模型，模型律应按照水击基本方程分析确定。

4 恒定流工况的流态应满足紊流阻力平方区流速要求。

5 调压室模型宜采用透明有机玻璃材料，压力水道模型材料根据试验要求和糙率要求选用。

9.1.6 调压室模型试验可与分岔管道模型试验、事故闸门定开度模型试验等水道系统其他模型试验结合进行。

9.2 安全监测

9.2.1 安全监测项目及相应的设施，应根据调压室结构形式及地形、地质等条件确定，并及时整理分析监测资料。

9.2.2 监测项目设置，应根据调压室类型、结构特性和调压室的级别确定，并应符合表 9.2.2 的规定。

表 9.2.2 调压室监测项目分类表

监测类别	监测项目	半埋藏式、埋藏式		地面式		气垫式	
		1级	2级、3级	1级	2级、3级	1级	2级、3级
运行状态	涌波水位	●	●	●	●	●	●
	室内气体压力	×	×	×	×	●	●
	水幕室水压	×	×	×	×	●	●
	室内温度	×	×	×	×	●	●
围岩稳定	锚杆、锚索应力	○	○	×	×	○	○
	围岩变形	○	○	×	×	○	○
	围岩渗透压力	○	○	×	×	●	●
结构受力	外水压力	●	○	×	×	●	○
	应力应变	○	×	○	○	●	○
	衬砌与围岩接缝开度	○	×	×	×	●	○
	衬砌与围岩接触压力	○	×	×	×	○	×
水力学	脉动压力	○	×	○	×	○	×
	流速	○	×	○	×	○	×
地震反应	地震加速度	×	×	○	×	×	×
注 1：寒冷地区引调水工程调压室内一般设远传温度计，以便监测调压室内温度，防止冻害发生。 注 2：“●”为必设项目；“○”为可选项目；“×”为不设项目。							

9.2.3 调压室涌波水位应进行动态监测。

9.2.4 监测仪器设备的选择、检验率定、安装埋设、观测及监测资料整理分析应符合 DL/T 5178 和 DL/T 5209 的相关规定。

9.3 运行管理

9.3.1 调压室应结合压力水道定期放空、检查。

9.3.2 引调水工程调压室的设备应严格执行维修保养制度，确保正常运行。

9.3.3 应根据上游和下游水位、工程运行特性、压力水道和调压室设计状况等因素，提出调压室的运行要求和限制条件。

附录 A 压力水道水头损失计算

A.1 沿程水头损失

A.1.1 沿程水头损失应按式 (A.1.1-1) 和式 (A.1.1-2) 计算:

$$h_f = \frac{Lv^2}{C^2R} \quad (\text{A.1.1-1})$$

$$C = \frac{1}{n}R^{\frac{1}{6}} \quad (\text{A.1.1-2})$$

式中 R ——水力半径, m;
 n ——糙率, 参见表 A.1.1。

表 A.1.1 压力水道糙率 n 值表

序号	水道表面情况	糙率 n		
		平均	最大	最小
1	岩面无衬砌	—	—	—
	(1) 采用光面爆破	0.030	0.033	0.025
	(2) 采用普通钻爆法	0.038	0.045	0.030
	(3) 全断面掘进机开挖	0.017	—	—
2	钢模现浇混凝土衬砌	—	—	—
	(1) 技术一般	0.014	0.016	0.012
	(2) 技术良好	0.013	0.014	0.012
3	岩面喷混凝土	—	—	—
	(1) 采用光面爆破	0.022	0.025	0.020
	(2) 采用普通钻爆法	0.028	0.030	0.025
	(3) 全断面掘进机开挖	0.019	—	—
4	钢管	0.012	0.013	0.011

A. 1. 2 在不衬砌或喷混凝土支护的隧洞中, 当仅在底板采用混凝土衬砌或其他局部衬砌时, 其糙率系数为综合糙率系数 n_0 , 可按式 (A. 1. 2) 计算:

$$n_0 = n_1 \left[\frac{S_1 + S_2 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^{\frac{3}{2}}}{S_1 + S_2} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (\text{A. 1. 2})$$

式中 n_0 ——综合糙率系数;
 n_1 ——不衬砌糙率系数;
 n_2 ——混凝土衬砌糙率系数;
 S_1 ——不衬砌周边长;
 S_2 ——混凝土衬砌周边长。

A. 2 局部水头损失

A. 2. 1 局部水头损失应按式 (A. 2. 1) 计算:

$$h_m = \xi \frac{v^2}{2g} \quad (\text{A. 2. 1})$$

式中 ξ ——局部水头损失系数, 参见表 A. 2. 1-1~表 A. 2. 1-3 和图 A. 2. 1-1、图 A. 2. 1-2。

A. 2. 2 T (卜) 形岔管分流与合流局部水头损失计算形状见图 A. 2. 2, 局部水头损失初估时可按下列要求计算, 必要时应采取模型试验或数值分析确定。

1 分流时 ($Q_1 = Q_2 + Q_3$), 可按式 (A. 2. 2-1) ~ 式 (A. 2. 2-4) 计算:

$$\left. \begin{aligned} H_2 - H_1 &= \xi_2 \frac{v_1^2}{2g} \\ H_3 - H_1 &= \xi_3 \frac{v_1^2}{2g} \\ H_3 - H_2 &= \xi_{32} \frac{v_1^2}{2g} \end{aligned} \right\} \quad (\text{A. 2. 2-1})$$

表 A.2.1-1 局部水头损失系数 ξ 表

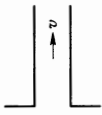
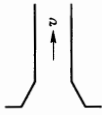
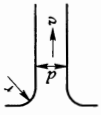
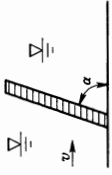
序号	部位	形状	局部水头损失系数 ξ	备注
1	进水口		0.5	v —管道均匀段流速
			0.25	
			$0.2 \ (r/d < 0.15)$ $0.1 \ (r/d \geq 0.15)$	
2	拦污栅		$\beta \left(\frac{s}{b} \right)^{\frac{1}{3}} \sin \alpha$	β —栅条形状系数, 见表 A.2.1-2; s —栅条宽度; b —栅条间距; α —栅条倾角; v —栅前平均流速

表 A. 2.1-1 (续)

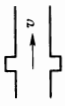
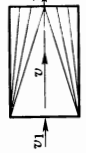
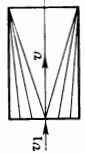
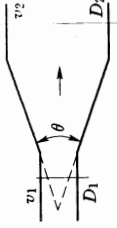
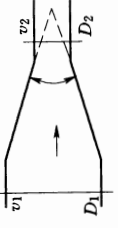
序号	部位	形状	局部水头损失系数 ξ	备注
3	门槽		0.05~0.20 (可用 0.10)	v 取槽前后平均流速
4	矩形变圆 (渐缩)		0.05	v 取渐变段平均流速 $v = \frac{v_1 + v_2}{2}$
5	圆变矩形 (渐缩)		0.10	v 取渐变段平均流速 $v = \frac{v_1 + v_2}{2}$
6	圆断面渐 扩大		ξ 查图 A. 2.1-1	流速取 v_1
7	圆断面 渐缩小		ξ_d 查图 A. 2.1-2	流速取 v_1

表 A. 2. 1 - 1 (续)

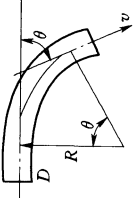
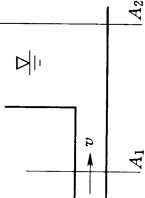
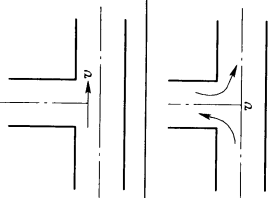
序号	部位	形状	局部水头损失系数 ξ	备注
8	圆弧弯道		$\left[0.131 + 0.1632 \times \left(\frac{D}{R} \right)^{\frac{7}{2}} \right] \times \left(\frac{\theta}{90^\circ} \right)^{\frac{1}{2}}$	<p>D—洞径; R—弯道半径; θ—弯道转角</p>
9	出水口		$\left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2$ <p>(下游渠道较深时取 1)</p>	<p>A_1、A_2—出口前后断面面积; v—取出口前流速</p>
10	直角分岔		0.1	
			1.5	

表 A. 2.1-1 (续)

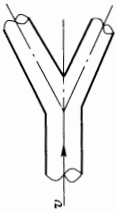
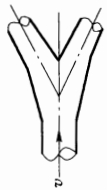
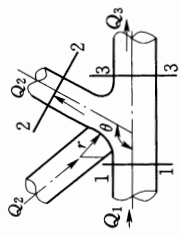

序号	部位	形状	局部水头损失系数 ξ	备注
11	对称 Y 形分岔		0.75	无圆锥管段
			0.5	有圆锥管段
12	T (卜) 形分岔		分流见式 (A. 2.2-1) ~ 式 (A. 2.2-4) 合流见式 (A. 2.2-5) ~ 式 (A. 2.2-8)	
13	蝶阀		见表 A. 2.1-3	D—直径

表 A. 2. 1 - 2 栅条形状系数 β 数值表








栅条形状							
β	2.42	1.83	1.67	1.035	0.92	0.76	1.79

表 A. 2. 1 - 3 蝶阀完全开启时, ξ 与 t/D 的关系表

t/D	0.1	0.15	0.2	0.25
ξ	0.05~0.10	0.10~0.16	0.17~0.24	0.25~0.35

注: 在蝶阀完全开启时, 若缺乏有关资料, 可取 $\xi=0.2$ 。

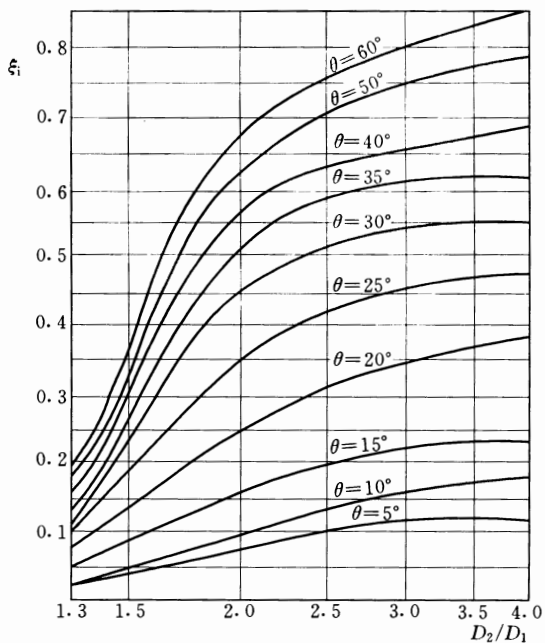


图 A. 2. 1 - 1 逐渐扩大的损失系数 ξ , ($\theta < 60^\circ$)

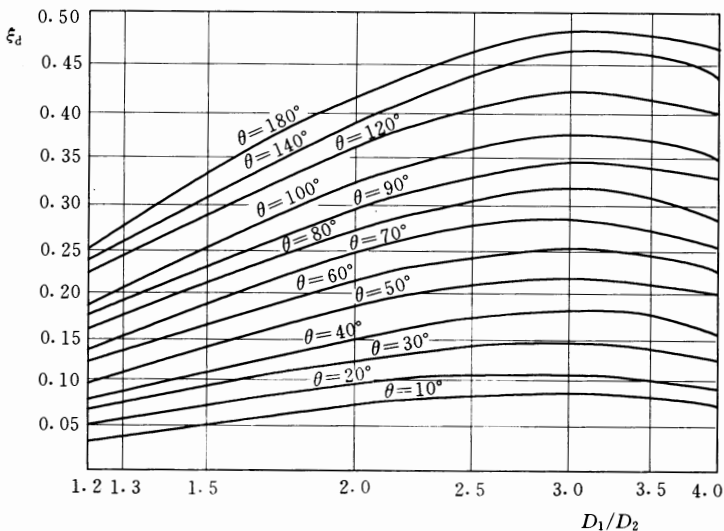


图 A. 2. 1 - 2 逐渐缩小的损失系数 ξ_d

$$\begin{aligned} \xi_2 = & -0.95(1 - q_2)^2 - q_2^2 \left(1.3 \cot \frac{\theta}{2} - 0.3 + \frac{0.4 - 0.1\psi}{\psi^2} \right) \\ & \times \left(1 - 0.9 \sqrt{\frac{\rho}{\psi}} \right) - 0.4 \left(1 + \frac{1}{\psi} \right) \cot \frac{\theta}{2} (1 - q_2) q_2 \end{aligned} \quad (\text{A. 2. 2 - 2})$$

$$\xi_3 = -0.58q_2^2 + 0.26q_2 - 0.03 \quad (\text{A. 2. 2 - 3})$$

$$\begin{aligned} \xi_{32} = & (1 - q_2) \left\{ 0.92 + q_2 \left[0.4 \left(1 + \frac{1}{\psi} \right) \cot \frac{\theta}{2} - 0.72 \right] \right\} \\ & + q_2^2 \left[\left(1.3 \cot \frac{\theta}{2} - 0.3 + \frac{0.4 - 0.1\psi}{\psi^2} \right) \right. \\ & \left. \times \left(1 - 0.9 \sqrt{\frac{\rho}{\psi}} \right) - 0.35 \right] \end{aligned} \quad (\text{A. 2. 2 - 4})$$

其中

$$\rho = r/D$$

$$q_2 = Q_2/Q_1$$

式中 H_1 、 H_2 、 H_3 ——断面 1—1、断面 2—2、断面 3—3 处的

总水头；

v_1 ——断面 1—1 的平均流速；

θ ——主管与支管的交角；

ψ ——支管与主管的断面面积比；

D ——主管直径；

r ——支管与主管连接处的修圆半径；

q_2 ——在分流时规定 q_2 为正值；

Q_2 ——支管流量；

Q_1 ——分流前的主管流量。

2 合流时 ($Q_1 + Q_2 = Q_3$)，可按式 (A. 2.2 - 5) ~ 式 (A. 2.2 - 8) 计算：

$$\left. \begin{aligned} H_2 - H_1 &= \xi'_2 \frac{v_3^2}{2g} \\ H_3 - H_1 &= \xi'_3 \frac{v_3^2}{2g} \\ H_3 - H_2 &= \xi'_{32} \frac{v_3^2}{2g} \end{aligned} \right\} \quad (\text{A. 2.2 - 5})$$

$$\begin{aligned} \xi'_2 &= -0.95(1 + q_2)^2 \\ &+ q_2^2 \left[1 + 0.42 \left(\frac{\cos\theta}{\psi} - 1 \right) - 0.8 \left(1 - \frac{1}{\psi^2} \right) \right. \\ &\left. + (1 - \psi) \left(\frac{\cos\theta}{\psi} - 0.38 \right) \right] \end{aligned} \quad (\text{A. 2.2 - 6})$$

$$\begin{aligned} \xi'_3 &= q_2^2 \left[2.59 + (1.62 - \sqrt{\rho}) \left(\frac{\cos\theta}{\psi} - 1 \right) - 0.62\psi \right] \\ &+ q_2(1.94 - \psi) - 0.03 \end{aligned} \quad (\text{A. 2.2 - 7})$$

$$\begin{aligned} \xi'_{32} &= (1 + q_2) [0.92 + q_2(2.92 - \psi)] + q_2^2 [(1.2 - \sqrt{\rho}) \\ &\times \left(\frac{\cos\theta}{\psi} - 1 \right) + 0.8 \left(1 - \frac{1}{\psi^2} \right) - (1 - \psi) \frac{\cos\theta}{\psi}] \end{aligned} \quad (\text{A. 2.2 - 8})$$

其中

$$\rho = \gamma/D$$

$$q_2 = Q_2/Q_3$$

式中 q_2 ——在合流时规定 q_2 为负值；
 Q_2 ——支管流量；
 Q_3 ——合流后的主管流量。

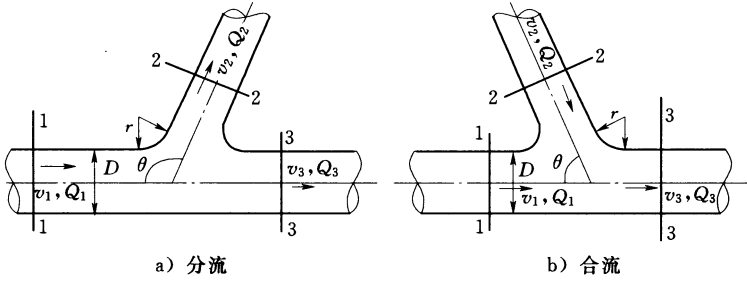


图 A.2.2 T (卜) 形岔管分流与合流局部水头损失计算形状示意图

附录 B 水电站常规调压室涌波计算

B.1 一般规定

B.1.1 调压室涌波计算公式中，应以停机时调压室中的静水位为基准。

B.1.2 对于上游调压室涌波水位变化应以向下为正，对于下游调压室涌波水位变化应以向上为正。

B.2 简单式调压室

B.2.1 丢弃全负荷时的最高涌波 Z_{\max} 应按式 (B.2.1-1) 和式 (B.2.1-2) 计算：

$$X_0 = -\ln(1 + X_{\max}) + X_{\max} \quad (\text{B.2.1-1})$$

$$X_0 = \frac{h_{w0}}{\lambda}, \quad X_{\max} = \frac{Z_{\max}}{\lambda}, \quad \lambda = \frac{Lfv_0^2}{2gFh_{w0}} \quad (\text{B.2.1-2})$$

式中 L ——压力引水道长度，m；

h_{w0} ——流量为 Q_0 时（在丢弃负荷前），库水位与调压室水位之差，m；

v_0 ——对应于 Q_0 时压力引水道的流速，m/s。

Z_{\max} 值亦可从图 B.2.1 中曲线 A 求得，即根据 X_0 查出 X_{\max} ，算出 Z_{\max} 。

B.2.2 丢弃全负荷时第二振幅 Z_2 应按式 (B.2.2-1) 和式 (B.2.2-2) 计算：

$$X_{\max} + \ln(1 - X_{\max}) = \ln(1 - X_2) + X_2 \quad (\text{B.2.2-1})$$

$$Z_2 = X_2 \lambda \quad (\text{B.2.2-2})$$

X_2 与 X_{\max} 反号。 X_2 值也可从图 B.2.1 中曲线 A、B 求得。根据已知 X_{\max} 或 X_0 求 Z_2 值，可沿横坐标轴线找出相应的 X_{\max} 值，并引垂线与曲线 B 相交，再由该交点引水平线与曲线 A 相交，其交点的横坐标即是 X_2 的数值，由 $X_2 \lambda$ 求得 Z_2 值。

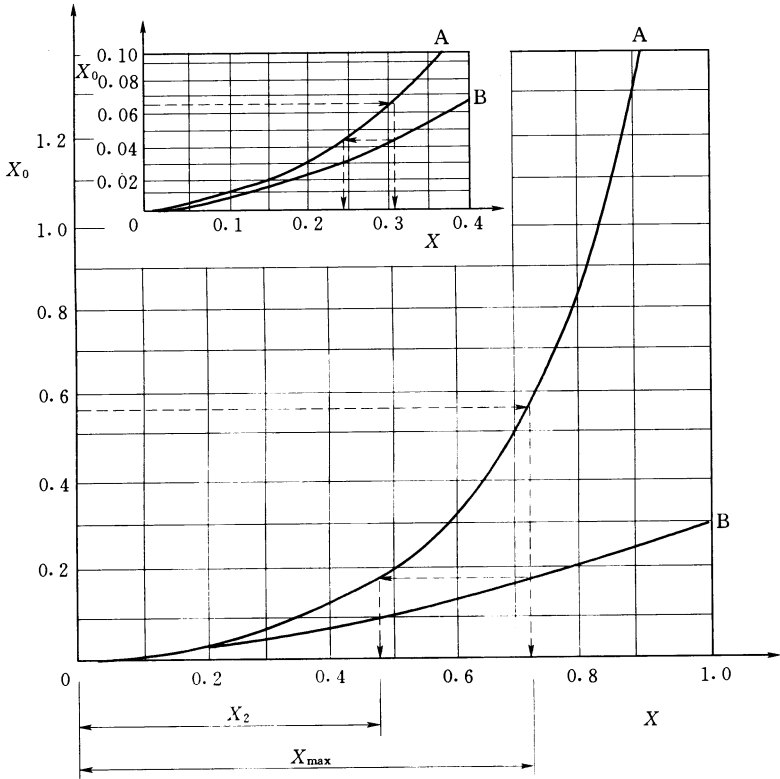


图 B. 2. 1 简单式调压室丢弃负荷时最高涌波计算图

B. 2. 3 增加负荷时最低涌波 Z_{\min} 应按式 (B. 2. 3 - 1) ~ 式 (B. 2. 3 - 3) 计算 (见图 B. 2. 3):

$$X_{\min} = \frac{Z_{\min}}{h_{w0}} = 1 + \left(\sqrt{\epsilon - 0.275\sqrt{m'}} + \frac{0.05}{\epsilon} - 0.9 \right) \times (1 - m') \times \left(1 - \frac{m'}{\epsilon^{0.62}} \right) \quad (\text{B. 2. 3 - 1})$$

$$\epsilon = \frac{Lfv_0^2}{gFh_{w0}^2} \quad (\text{B. 2. 3 - 2})$$

$$m' = \frac{Q}{Q_0} \quad (\text{B. 2. 3 - 3})$$

式中 ϵ ——无因次系数，表示压力水道—调压室系统的特性；
 Q ——增加负荷前的流量， m^3/s ；
 Q_0 ——增加负荷后的流量， m^3/s 。

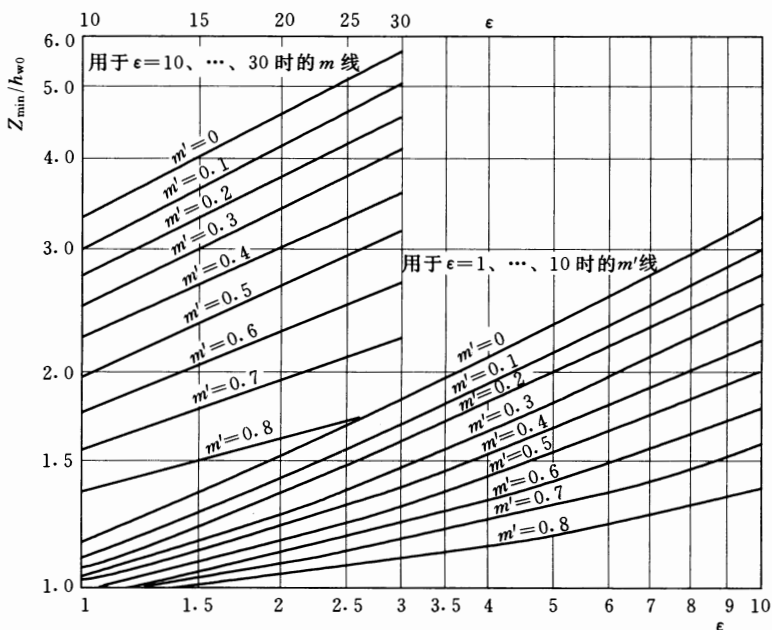


图 B. 2. 3 简单式调压室增加负荷时最低涌波计算图

B. 2. 4 当调压室的涌波水位受到限制时，可按允许的 Z_{\max} 来决定调压室的面积 F (包含在 ϵ 值内)，也可按福格特近似公式 (B. 2. 4) 计算 X_{\max} 值：

$$X_{\max} = \frac{Z_{\max}}{h_{w0}} = \frac{1 + 2\epsilon}{2 + 3\epsilon} \sqrt{\epsilon + \left(\frac{1 + \epsilon}{2 + 3\epsilon}\right)^2} \quad (\text{B. 2. 4})$$

B. 3 阻抗式调压室

B. 3. 1 阻抗孔水头损失可按式 (B. 3. 1) 近似计算：

$$h_c = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{\varphi S}\right)^2 \quad (\text{B. 3. 1})$$

式中 φ ——阻抗孔流量系数，可由试验得出，初步计算时可在 0.60~0.80 之间选用；

S——阻抗孔断面面积， m^2 ，应结合工程布置与调保计算结果综合选取。

B. 3. 2 丢弃全负荷时的最高涌波计算应符合下列规定：

1 丢弃全负荷时的最高涌波，当 $\lambda'h_{c0} < 1$ 时，应按式 (B. 3. 2 - 1) 计算；当 $\lambda'h_{c0} > 1$ 时，应按式 (B. 3. 2 - 2) 计算；当 $\lambda'h_{c0} = 1$ 时，应按式 (B. 3. 2 - 3) 计算。

$$(1 + \lambda'Z_{\max}) - \ln(1 + \lambda'Z_{\max}) = (1 + \lambda'h_{w0}) - \ln(1 - \lambda'h_{c0}) \quad (\text{B. 3. 2 - 1})$$

$$(\lambda'|Z_{\max}| - 1) + \ln(\lambda'|Z_{\max}| - 1) = \ln(\lambda'h_{c0} - 1) - (\lambda'h_{w0} + 1) \quad (\text{B. 3. 2 - 2})$$

$$|Z_{\max}| = 1/\lambda' \quad (\text{B. 3. 2 - 3})$$

其中 λ' 应按式 (B. 3. 2 - 4) 计算：

$$\lambda' = \frac{2gF(h_{w0} + h_{c0})}{Lfv_0^2} \quad (\text{B. 3. 2 - 4})$$

式中 h_{c0} ——全部流量通过阻抗孔时的水头损失，m；

Z_{\max} ——丢弃全负荷时的最高涌波，m。

2 图 B. 3. 2 为 Calame - Gaden 计算阻抗式调压室瞬时丢弃全负荷时最高涌波计算图。图中 R 区为阻抗孔下部的瞬时上升压力超过最高涌波水位压力的区域，表示阻抗孔尺寸过小；M 区为阻抗孔下部瞬时上升压力低于最高涌波水位压力的区域，表示阻抗孔尺寸偏大；SS' 线为两者的分界线，阻抗孔尺寸最合适。用此图亦可估算阻抗孔尺寸。图中计算用值分别为： Y_m 为阻抗孔下部的瞬时压力上升值 (m)； Z_0 为压力水道的摩阻为零时，丢弃全负荷的自由振幅 (m)，按式 (B. 3. 2 - 5) 计算：

$$Z_0 = \frac{Q_0}{f} \sqrt{\frac{Lf}{gF}} \quad (\text{B. 3. 2 - 5})$$

B. 3. 3 丢弃全负荷时第二振幅 Z_2 可按式 (B. 3. 3 - 1) ~ 式 (B. 3. 3 - 5) 计算：

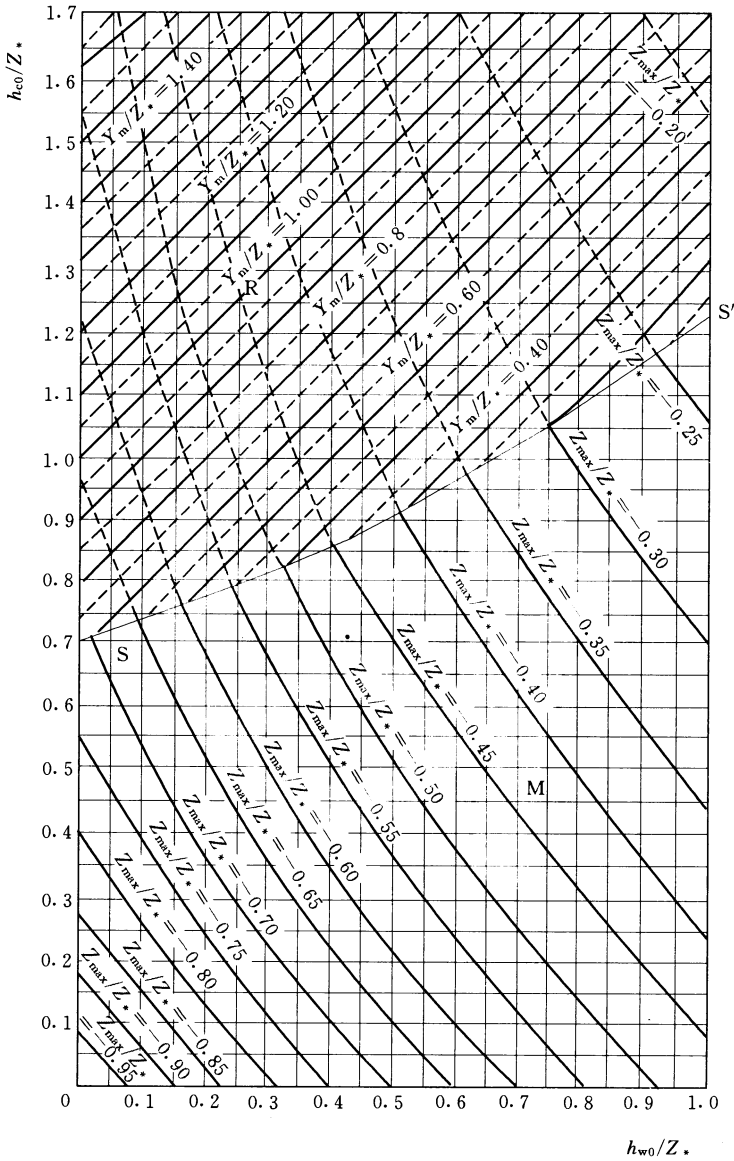


图 B.3.2 阻抗式调压室丢弃负荷时最高涌波计算图

$$Z_2 = X_2 \lambda \quad (\text{B. 3. 3 - 1})$$

$$(1 + \eta) X_{\max} + \ln(1 - (1 + \eta) X_{\max}) \\ = \ln(1 - (1 + \eta) X_2) + (1 + \eta) X_2 \quad (\text{B. 3. 3 - 2})$$

$$X_{\max} = \frac{Z_{\max}}{\lambda} \quad (\text{B. 3. 3 - 3})$$

$$\lambda = \frac{L f v_0^2}{2 g F h_{w0}} \quad (\text{B. 3. 3 - 4})$$

$$\eta = \frac{h_{c0}}{h_{w0}} \quad (\text{B. 3. 3 - 5})$$

X_2 与 X_{\max} 反号。

B. 3. 4 增加负荷时的最低涌波可按下列方法计算：

1 当阻抗孔尺寸满足公式 $\frac{h_{c0}}{h_{w0}} = \frac{X_{\min} - m'^2}{(1 - m')^2}$ (即最合适的尺寸) 时, 可按式 (B. 3. 4 - 1) 近似计算最低涌波值:

$$\frac{Z_{\min}}{h_{w0}} = 1 + \left(\sqrt{0.5\epsilon - 0.275\sqrt{m'}} + \frac{0.1}{\epsilon} - 0.9 \right) \\ \times (1 - m') \left(1 - \frac{m'}{0.65\epsilon^{0.62}} \right) \quad (\text{B. 3. 4 - 1})$$

2 当阻抗孔尺寸不是最合适的尺寸时, 可按式 (B. 3. 4 - 2) ~ 式 (B. 3. 4 - 10) 近似计算最低涌波值:

$$z_{\min a} = a + \frac{2}{3} \frac{g F h_{w0}}{L f v_0^2} a^2 + h_{w0} \quad (\text{B. 3. 4 - 2})$$

$$a = \frac{a_1}{1 - \mu_2 a_1} \quad (\text{B. 3. 4 - 3})$$

$$a_1 = \frac{a_0}{1 + \mu_2 a_0} e^{\mu_1 (\pi - \theta_0)} \quad (\text{B. 3. 4 - 4})$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L F}{g f}} \quad (\text{B. 3. 4 - 5})$$

$$\omega = 2\pi / T \quad (\text{B. 3. 4 - 6})$$

$$\mu_1 = \frac{-g h_{w0}}{\omega L v_0} \quad (\text{B. 3. 4 - 7})$$

$$\mu_2 = \frac{4}{3\pi} \eta \frac{F}{Q_0} \omega \quad (\text{B. 3. 4 - 8})$$

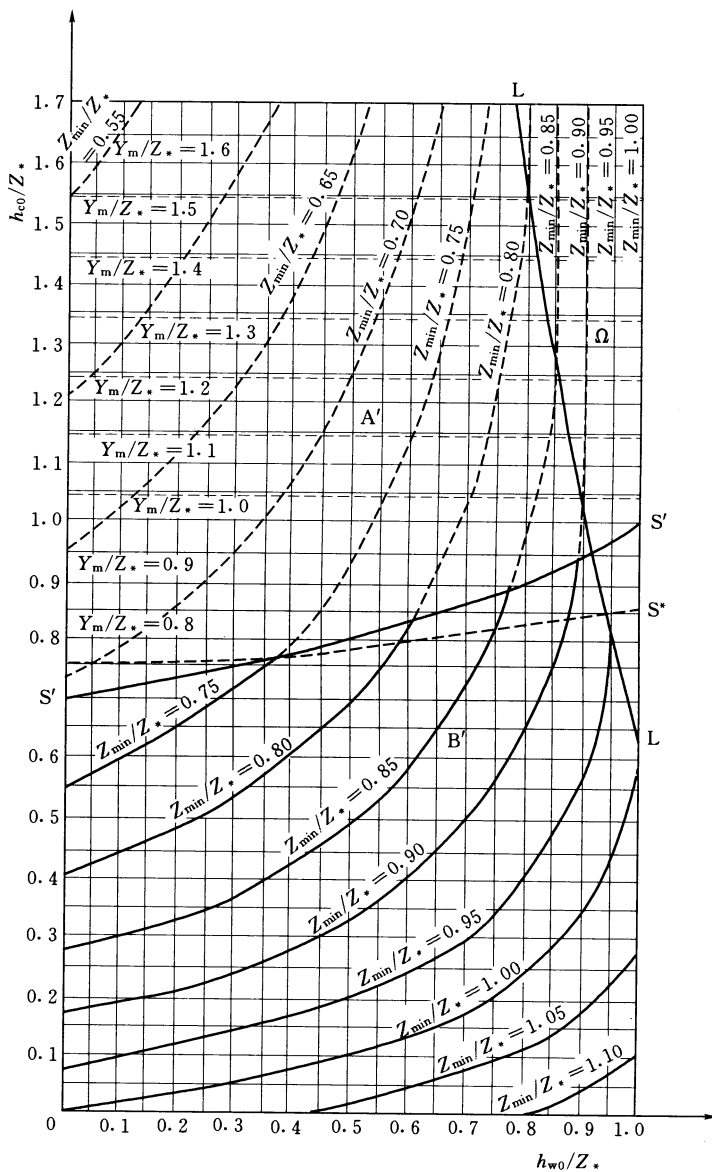


图 B.3.4 阻抗式调压室最低涌波计算图

$$a_0 = \sqrt{(1 - m'^2)^2 h_{w0}^2 + (1 - m')^2 \left(\frac{Q_0}{F_w}\right)^2} \quad (\text{B. 3. 4 - 9})$$

$$\theta_0 = \arccos\left(\frac{(1 - m'^2) h_{w0}}{a_0}\right) \quad (\text{B. 3. 4 - 10})$$

式中 θ_0 ——增负荷前的调压室涌波相位角, rad;

T ——调压室水位波动周期, s;

ω ——调压室水位波动频率, Hz。

3 图 B. 3. 4 为阻抗式调压室突然增加负荷时 (负荷由零突增至 100%) 的最低涌波计算图。当负荷由 50% 增至 100% 时的最低涌波亦可采用差动式调压室增荷计算图 (见图 B. 5. 1)。

B. 4 水室式和溢流式调压室

B. 4. 1 丢弃负荷时上室容积与涌波的初步计算应符合下列规定:

1 无溢流堰时, 应符合下列规定:

1) 上室容积及最高涌波应按式 (B. 4. 1 - 1) ~ 式 (B. 4. 1 - 4) 计算:

$$e_{\epsilon_c}^{2(X_{\max} - X_c)} = \left(1 + \frac{2}{\epsilon_c} X_{\max}\right) / \left[1 - \frac{\epsilon_s}{\epsilon_c} (1 - e_{\epsilon_s}^{2(X_c - 1)})\right] \quad (\text{B. 4. 1 - 1})$$

$$X_c = \frac{Z_c}{h_{w0}} \quad (\text{B. 4. 1 - 2})$$

$$\epsilon_s = \frac{L f v_0^2}{g F_s h_{w0}^2} \quad (\text{B. 4. 1 - 3})$$

$$\epsilon_c = \epsilon_s \frac{F_s}{F_c} \quad (\text{B. 4. 1 - 4})$$

式中 Z_c ——自静水位至上室底面距离, m;

F_s ——竖井的断面面积, m^2 ;

F_c ——上室的断面面积, m^2 。

2) 图 B. 4. 1 - 1 为式 (B. 4. 1 - 1) 的计算图, 根据已知上室断面面积 F_c 求出最高涌波 Z_{\max} , 或者定出 Z_{\max} 值反求出上室的断面面积 F_c 。

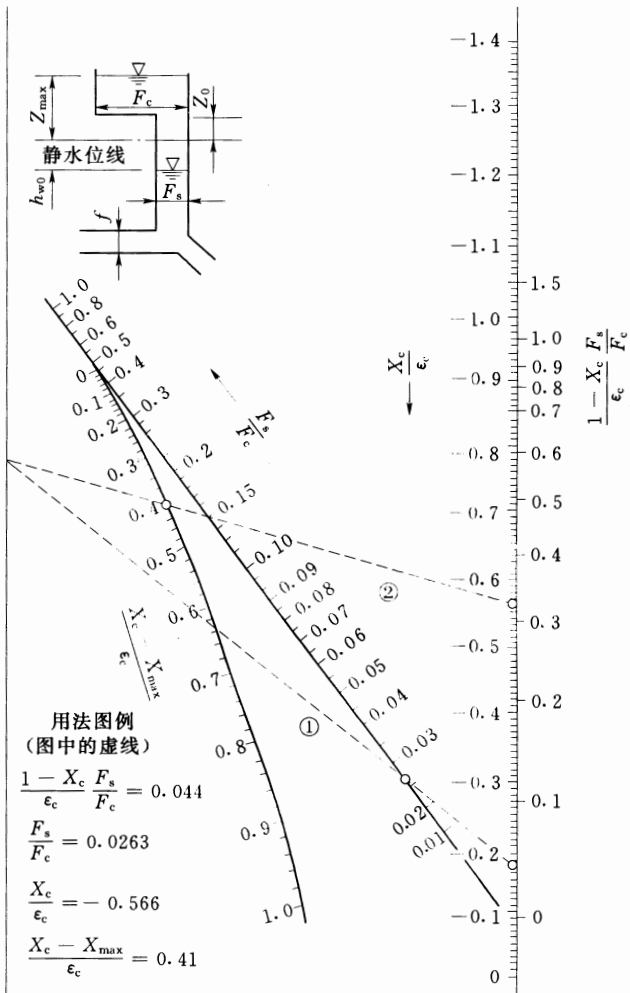


图 B.4.1-1 无溢流堰的上室最高涌波计算图

- 3) 如果上室底部与上游计算静水位在同一高程 (或不计 Z_c 段竖井高度时), 上室的容积 V_B 可按式 (B.4.1-5) 近似计算:

$$V_B = \frac{Lfv_0^2}{2gh_{w0}} \ln\left(1 - \frac{h_{w0}}{Z_{\max}}\right) \quad (\text{B. 4. 1 - 5})$$

2 有溢流堰时, 应符合下列规定:

- 1) 设溢流堰顶在上游静水位以上的距离为 Z_s , 溢流堰顶通过最大流量 Q_y 时的水层厚度为 Δh , 如图 B. 4. 1 - 2 所示, 则丢弃负荷时的最高涌波应按式 (B. 4. 1 - 6) ~ 式 (B. 4. 1 - 9) 计算:

$$Z_{\max} = - |Z_s| - \Delta h \quad (\text{B. 4. 1 - 6})$$

$$\Delta h = \left(\frac{Q_y}{MB}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (\text{B. 4. 1 - 7})$$

$$Q_y = yQ_0 = yv_0 f \quad (\text{B. 4. 1 - 8})$$

$$y = \sqrt{X_s + \frac{\epsilon_s}{2} [1 - e^{\frac{2}{3}(X_s - 1)}]} \quad (\text{B. 4. 1 - 9})$$

式中 M ——溢流堰的流量系数, 与堰顶的形式有关;

B ——堰顶长度, m;

y ——竖井水位升到溢流堰顶时压力水道内的流速减小率。

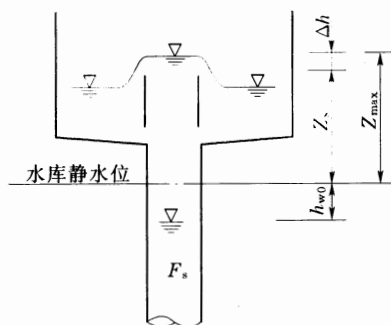


图 B. 4. 1 - 2 有溢流堰时上室示意图

- 2) 丢弃全负荷时, 在 Z_{\max} 已知的情况下, 假定竖井与上室之间的连接孔为单向排水孔, 在水位升高时不起作用, 经堰顶流至上室的水量必须的容积应按式

(B. 4. 1 - 10) 和式 (B. 4. 1 - 11) 计算:

$$V_B = \frac{Lfu_0^2}{gh_{w0}} \left[\frac{1}{2} \ln \left(1 + \frac{y^2}{|X_{\max}| - 0.15|X_{\max} - X_s|} \right) - \frac{|X_{\max} - X_s|}{\epsilon_s} \right] \quad (\text{B. 4. 1 - 10})$$

$$X_s = \frac{Z_s}{h_{w0}} \quad (\text{B. 4. 1 - 11})$$

- 3) 如果所采用的上室容积比所计算的 V_B 值小, 则上室应设外部泄水道, 开始泄流流量按逐步积分法求得。如果不设上部储水室, 令溢出堰顶的水量全部泄走, 则泄水道的断面过水流量应按 Q_y 值进行设计, $Q_y = yQ_0$ 。

B. 4. 2 增加负荷时地下室容积的初步计算应符合下列规定:

- 1 计算地下室容积时, 可先定出最低涌波 Z_{\min} 值, 则在增荷

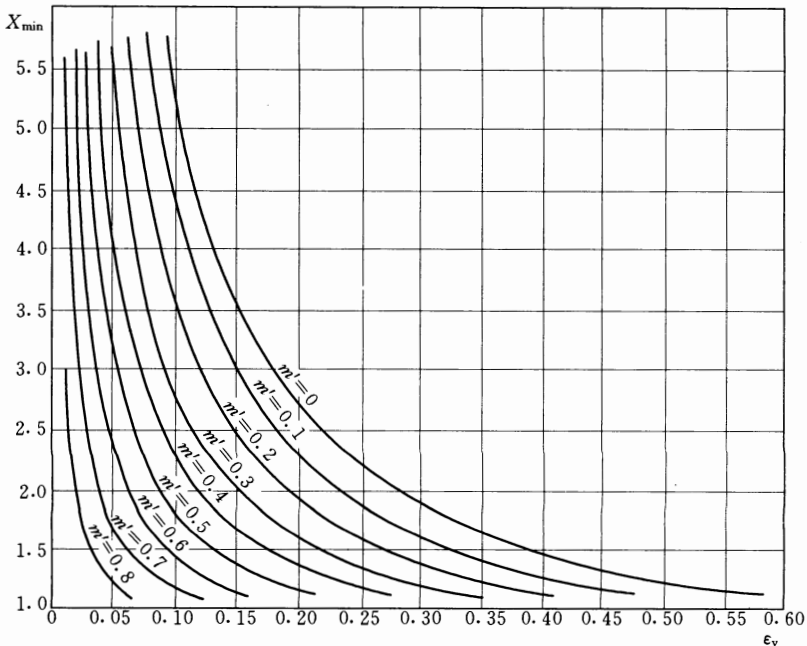


图 B. 4. 2 - 1 确定调压室地下室容积计算曲线

前运行水位至最低涌波水位之间的容积可按式 (B. 4. 2 - 1) 和式 (B. 4. 2 - 2) 计算:

$$V_v = \frac{Lfv_0^2}{gh_{w0}} \epsilon_v \quad (\text{B. 4. 2 - 1})$$

$$\epsilon_v = \frac{1}{2} \ln \left[\frac{X_{\min} - 1}{X_{\min} - m'^2} \left(\frac{\sqrt{X_{\min}} + 1}{\sqrt{X_{\min}} - 1} \times \frac{\sqrt{X_{\min}} - m'}{\sqrt{X_{\min}} + m'} \right)^{\frac{1}{\sqrt{X_{\min}}}} \right] \quad (\text{B. 4. 2 - 2})$$

图 B. 4. 2 - 1 为 ϵ_v 计算曲线。

2 为保证增荷时压力管道内不进入空气, 下室容积应大于计算值, 即下室底部应在最低涌波水位之下, 留有余地, 如图 B. 4. 2 - 2 所示。

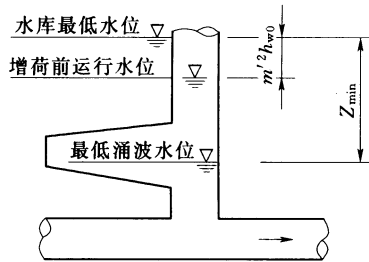


图 B. 4. 2 - 2 下室位置示意图

B. 5 差动式调压室

B. 5. 1 阻抗孔面积与增加负荷时的最低涌波计算应符合下列规定:

1 阻抗孔的面积可按增加负荷的要求决定, 即假定升管水位下降到最低水位 Z_{\min} 时, 大室水位和压力水道的流量均未发生变化, 大室流入升管的流量为 $Q_0 - m'Q_0$, 阻抗孔面积 S 应按式 (B. 5. 1 - 1) 和式 (B. 5. 1 - 2) 计算:

$$S = \sqrt{\frac{Q_0^2}{2gh_{w0} \varphi_H^2 \eta_H}} \quad (\text{B. 5. 1 - 1})$$

$$\eta_H = \frac{X_{\min} - m'^2}{(1 - m')^2} \quad (\text{B. 5. 1 - 2})$$

式中 φ_H ——水自大室流入升管（或压力水道）时的孔口流量系数，初步计算可取 $\varphi_H = 0.8$ ；

η_H ——水自大室流入升管（或压力水道）时的孔口阻抗损失相对值。

2 在阻抗孔尺寸满足上述条件时，最低涌波应按式（B. 5. 1 - 3）和式（B. 5. 1 - 4）计算：

$$X_{\min} = \frac{Z_{\min}}{H_{w0}} = 1 + \left(\sqrt{0.5\epsilon_1 - 0.275\sqrt{m'}} + \frac{0.1}{\epsilon_1} - 0.9 \right) (1 - m') \left(1 - \frac{m'}{0.65\epsilon_1^{0.62}} \right) \quad (\text{B. 5. 1 - 3})$$

$$\epsilon_1 = \left[\frac{Lfv_0^2}{g(F_r + F_p)h_{w0}^2} \right] \left\{ 1 - \frac{F_r/(F_r + F_p)}{2 \left[1 - \frac{2}{3}(1 - m') \right]} \right\} \quad (\text{B. 5. 1 - 4})$$

式中 F_r ——升管断面面积， m^2 ；

F_p ——差动式大室断面面积， m^2 。

3 图 B. 5. 1 为负荷自 50% 急增至 100% 时的最低涌波计算图，R 区为负荷增加后升管最低下降水位低于大室最终水位，表示阻抗孔面积过小；M 区表示阻抗孔面积过大，升管最初下降水位高于大室最低水位。SS' 线为两者分界线，阻抗孔面积最合适，图中 $Z_* = \frac{Q_0}{f} \sqrt{\frac{Lf}{gF}}$ ； h_{c0} 为对应于 Q_0 时的阻抗损失值。

B. 5. 2 丢弃负荷时的最高涌波计算应符合下列规定：

1 突然丢弃全负荷后，升管水位迅速上升，假定在升管到达最高水位开始溢流时，大室水位和压力水道流量尚未改变，则压力引水道流量 Q_0 的一部分 Q'_y 经过升管顶部溢入大室；另一部分 Q_c 在水头 $(h_{w0} + |Z_{\max}|)$ 的作用下经阻抗孔流入大室， Q_c 、 Q'_y 应分别按式（B. 5. 2 - 1）～式（B. 5. 2 - 3）计算：

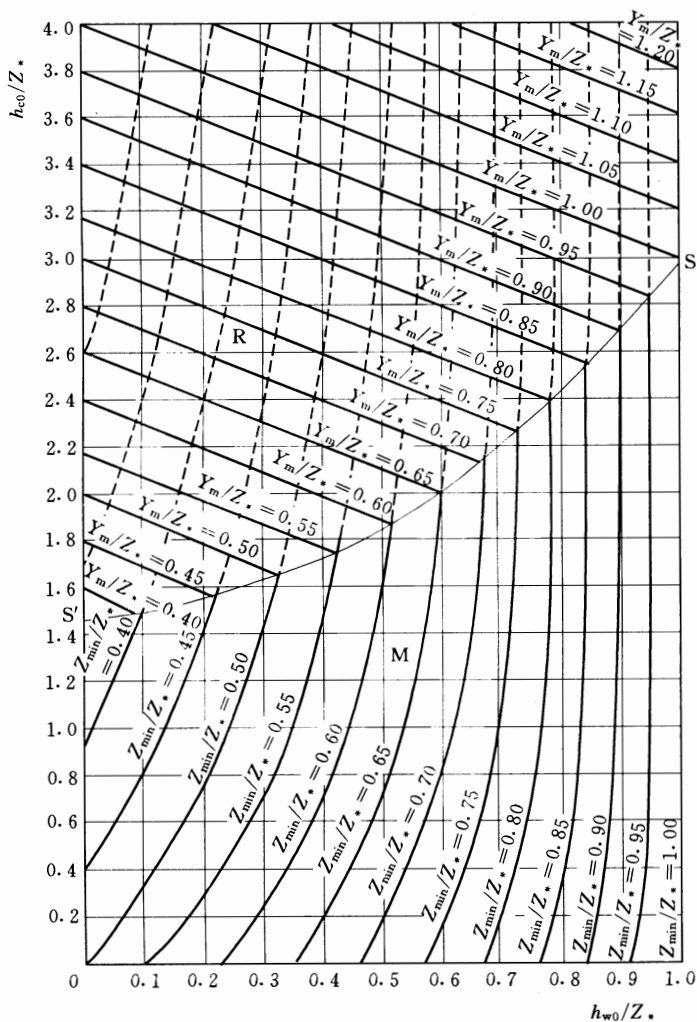


图 B.5.1 差动式调压室最低涌波计算图

(负荷自 50% 增至 100% 时)

$$Q_c = \varphi_c S \sqrt{2g(h_{w0} + |Z_{\max}|)} = Q_0 \sqrt{\frac{h_{w0} + |Z_{\max}|}{\eta_c h_{w0}}} \quad (\text{B. 5. 2-1})$$

$$Q'_y = Q_0 - Q_c = Q_0 \left[1 - \sqrt{\frac{h_{w0} + |Z_{\max}|}{\eta_c h_{w0}}} \right] \quad (\text{B. 5. 2-2})$$

$$\eta_c = \frac{\varphi_H^2}{\varphi_c^2} \eta_H \quad (\text{B. 5. 2-3})$$

2 升管顶部溢流层的厚度应按式 (B. 5. 2-4) 计算:

$$\Delta h = \left(\frac{Q'_y}{MB} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (\text{B. 5. 2-4})$$

3 升管顶部在静水位以上的高度应按式 (B. 5. 2-5) 计算:

$$Z_B = -|Z_{\max}| + \Delta h \quad (\text{B. 5. 2-5})$$

式中 φ_c ——水自升管 (或压力水道) 流入大室时的孔口流量系数, 初步计算可取 $\varphi_c = 0.6$;

η_c ——水自升管 (或压力水道) 流入大室时的孔口阻抗损失相对值。

4 按大室水位升到 Z_{\max} 时, 压力水道流速为零决定大室从 h_{w0} 至 Z_{\max} 之间的容积应按式 (B. 5. 2-6) ~ 式 (B. 5. 2-8) 计算:

$$V = \frac{Lfv_0^2}{2gh_{w0}} \ln \left[1 + \frac{1}{-X_{\max} - 0.15(X_B - X_{\max})} \right] \quad (\text{B. 5. 2-6})$$

$$1 - \frac{0.3 - X_{\max}}{0.3 - 2X_{\max}} \times \frac{F_r / (F_r + F_p)}{1 - \frac{2}{3} \sqrt{\frac{1 - X_{\max}}{\eta_c}}}$$

$$X_B = \frac{Z_B}{h_{w0}} \quad (\text{B. 5. 2-7})$$

$$X_{\max} = \frac{Z_{\max}}{h_{w0}} \quad (\text{B. 5. 2-8})$$

当 Z_{\max} 、 Z_B 是在静水位以上, 应以负值代入。

5 图 B. 5. 2 为瞬时丢弃全负荷时最高涌波计算图。S 区表示在大室水位上升时间内, 升管大部分时间溢流的范围, 阻抗孔

口尺寸较合适；T区表示只在弃荷初期升管溢流的区域，阻抗孔尺寸略偏大；N区表示在大室水位上升时间内，升管完全不溢流，阻抗孔尺寸过大。

6 差动式调压室的 Z ，应按式 (B. 5. 2-9) 和式 (B. 5. 2-10) 计算：

$$Z_* = \frac{Q_0}{f} \sqrt{\frac{Lf}{gF}} \quad (\text{B. 5. 2-9})$$

$$F = F_r + F_p \quad (\text{B. 5. 2-10})$$

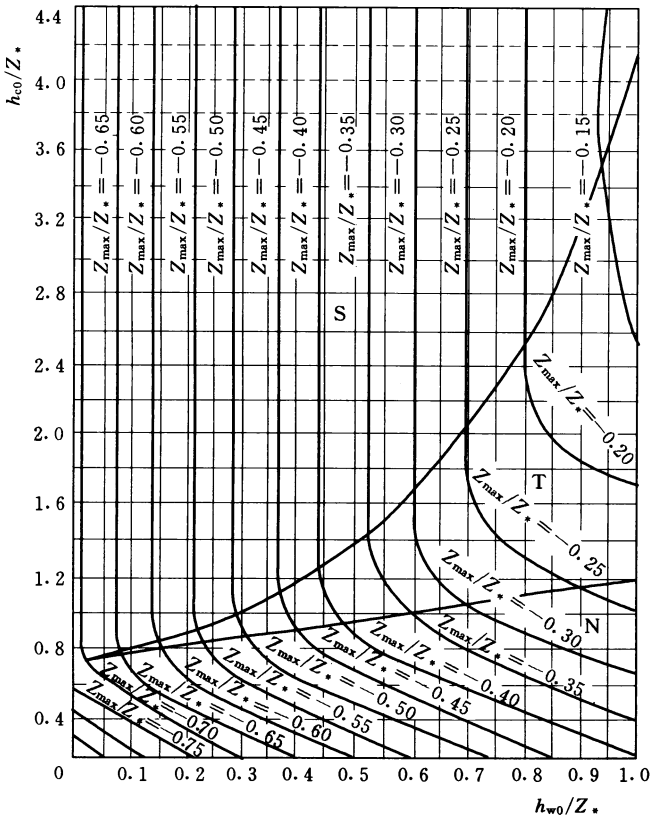


图 B. 5. 2 差动式调压室最高涌波计算图

附录 C 气垫式调压室涌波计算

C.0.1 丢弃全负荷时的气垫调压室第一、第二涌波幅值可按式 (C.0.1-1) ~ 式 (C.0.1-13) 计算:

$$Z_i = (-1)^i a_i + \frac{1}{6} \frac{m(m+1)p_s}{\gamma l_s^2 \sigma_s} a_i^2 \quad (i=1, 2) \quad (\text{C.0.1-1})$$

$$a_i = \frac{a_0}{1 + \frac{2a_0(\eta+1)}{3\pi\epsilon} (i\pi - \theta_0)} \quad (\text{C.0.1-2})$$

$$a_0 = \sqrt{\left(\frac{h_{w0}}{\sigma_0}\right)^2 + \left(\frac{Q_0}{F\omega_s}\right)^2} \quad (\text{C.0.1-3})$$

$$\theta_0 = \arccos\left(\frac{h_{w0}}{\sigma_0 a_0}\right) \quad (\text{C.0.1-4})$$

$$\epsilon = \frac{Lfv_0^2}{2gFh_{w0}} \quad (\text{C.0.1-5})$$

$$\eta = \frac{Q_0^2}{2g\varphi^2 S^2 h_{w0}} \quad (\text{C.0.1-6})$$

$$\gamma = \rho g \quad (\text{C.0.1-7})$$

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{LF}{gf}} / \sqrt{\sigma_s} \quad (\text{C.0.1-8})$$

$$\omega_s = \frac{2\pi}{T_s} \quad (\text{C.0.1-9})$$

$$\sigma_s = 1 + \frac{mp_s}{\gamma l_s} \quad (\text{C.0.1-10})$$

$$\sigma_0 = 1 + \frac{mp_0}{\gamma l_0} \quad (\text{C.0.1-11})$$

$$l_s = l_0 - h_{w0}/\sigma_0 \quad (\text{C.0.1-12})$$

$$p_s = \frac{p_0 l_0^m}{(l_0 - h_{w0}/\sigma_0)^m} \quad (\text{C.0.1-13})$$

式中 γ ——水体容重, N/m^3 ;

m ——理想气体多变指数, 当室内气体为等温变化时取 1.0, 绝热变化时取 1.4;

φ ——为阻抗孔流量系数, 可由试验得出, 初步计算可取 0.60~0.80;

p_0 、 l_0 ——水电站满负荷稳定运行时的气室绝对压力与气室折算高度 (气垫调压室室内气体体积与其调压室实际断面面积之比), m ;

p_s 、 l_s ——停机后的气垫调压室内绝对压力及气室高度, m 。

p_0 、 l_0 、 p_s 、 l_s 可根据水电站不同运行条件, 应按式 (C.0.1-12) 与式 (C.0.1-13) 进行转换。

公式基准水位应为甩负荷后的停机水位。

C.0.2 当引用流量由 $m'Q_0$ 增加负荷后为 Q_0 时的气垫调压室最低涌波 $Z_{\min a}$ 可按式 (C.0.2-1) ~ 式 (C.0.2-9) 计算:

$$Z_{\min a} = a + \left[\frac{2}{3} \frac{gFh_{w0}}{Lv_0^2} + \frac{1}{6} \frac{m(m+1)p_0}{\gamma l_0^2 \sigma_0} \right] a^2 + \frac{h_{w0}}{\sigma_0} \quad (\text{C.0.2-1})$$

$$a = \frac{a_1}{1 - \mu_2 a_1} \quad (\text{C.0.2-2})$$

$$a_1 = \frac{a_0}{1 + \mu_2 a_0} e^{\mu_1 (\pi - \theta_0)} \quad (\text{C.0.2-3})$$

$$a_0 = \sqrt{\left[\frac{(1 - m'^2) h_{w0}}{\sigma_0} \right]^2 + \left[\frac{(1 - m') Q_0}{F \omega_0} \right]^2} \quad (\text{C.0.2-4})$$

$$\theta_0 = \arccos \left[\frac{(1 - m'^2) h_{w0}}{\sigma_0 a_0} \right] \quad (\text{C.0.2-5})$$

$$\mu_1 = \frac{-gh_{w0}}{\omega_0 Lv_0} \quad (\text{C.0.2-6})$$

$$\mu_2 = \frac{4}{3\pi} \eta \frac{F}{Q_0} \omega_0 \quad (\text{C.0.2-7})$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} \quad (\text{C.0.2-8})$$

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{LF}{gf}} / \sqrt{\sigma_0} \quad (\text{C. 0. 2 - 9})$$

公式的基准水位应为停机水位，若已知气垫调压室内正常运行水位 H_{T0} ，则相应的停机水位为 $H_{T0} + \frac{h_{w0}}{\sigma_0}$ 。

标准用词说明

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有……才允许	要 求
不应	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推 荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允 许
不必	不需要、不要求	

中华人民共和国水利行业标准

水利水电工程调压室设计规范

SL 655—2014

条 文 说 明

目 次

1	总则	71
3	水电站调压室设置条件	72
4	水电站调压室布置	79
5	水电站常规调压室	85
6	气垫式调压室	93
7	引调水工程调压室设计	96
8	结构设计和构造要求	100
9	模型试验、安全监测及运行管理	105

1 总 则

1.0.5 根据不同的设计阶段，逐步地掌握调压室区域的地质情况。在施工阶段根据实际地质条件，复核设计，必要时修改设计。

1.0.6 本标准对调压室结构设计的基本规定，是根据《水工混凝土结构设计规范》（SL 191）规定的极限状态设计原则及其方法制定的。调压室结构和支护设计的极限状态分为承载能力极限状态和正常使用极限状态两类，采用安全系数形式表达。

本标准强调了调压室的抗震设计要求，特别是地面式调压室，抗震设计应做到安全可靠。

3 水电站调压室设置条件

3.1 调压室设置原则

3.1.1 设置调压室的目的在于：①限制水击波进入压力引水（或尾水）道减小压力管道（或尾水管）及水轮机的水击压力；②改善机组的运行条件及调节品质。因此，水电站是否需要设置调压室，最终要根据压力水道布置及压力水道沿线的地形、地质条件，机组运行条件，机组调保参数的限制值，及机组运行稳定性和调节品质等，由水电站水力—机械过渡过程分析计算，并通过技术、经济综合比较最后确定。

3.1.2 为保证工程安全，大、中型水电站施工图设计阶段，应根据机组厂家提供的机组参数，采取数值模拟的方法进行机组调节保证计算、运行稳定性和调节品质分析，复核是否设置调压室。

压力尾水道较短且仍需设置下游调压室时，应通过采取增加压力尾水道面积或降低机组安装高程等措施研究取消下游调压室的可能性。

压力尾水道较长时，可对无压尾水道方案、变洞顶高压力尾水道方案和下游调压室方案进行技术经济分析比较后确定。

变洞顶高压力尾水道的工作原理是根据下游水位的变化，即水轮机的淹没水深来确定尾水洞有压满流段的极限长度，使尾水管进口断面始终满足过渡过程中对最小绝对压力的要求，从而达到取代下游调压室的作用。

3.2 调压室初步判别条件

3.2.1 本条提出了设置调压室初步判别条件。

1 上游调压室。公式（3.2.1-2）是基于末相水击理论推导得出的。根据我国已建水电站的设计、运行经验及国外有关规

范与资料的分析论证,表明以压力引水道的水流惯性时间常数作为设置上游调压室的初步判别条件是可行的。

$[T_w]$ 值也与调节保证参数限制值、机组加速时间常数等有关,在机组参数具备时, $[T_w]$ 的取值可按式(1)计算,式(1)的详细推导、证明可参见《水力发电学报》(2008年第5期)上发表的论文。其中蜗壳最大压力升高率和机组最大转速升高率可根据《水利水电工程机电设计规范》(SL 511)取值。

$$\left. \begin{aligned} [T_w] &= \frac{t_r \xi_{\max} [T_a \beta_{\max} (\beta_{\max} + 2) - 2T_c]}{t_r \epsilon_0 f_0 (\xi_{\max} + 2) - T_a \xi_{\max} \beta_{\max} (\beta_{\max} + 2) + 2\xi_{\max} T_c} \\ &\quad (\text{一相水击}) \\ [T_w] &= \frac{2\xi_{\max} [T_a \beta_{\max} (\beta_{\max} + 2) - 2T_c]}{\epsilon_0 f_0 (\xi_{\max} + 2)} \quad (\text{末相水击}) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

其中 $\epsilon_0 = 0.9 - 0.00063n_s$

式中 t_r ——水击波相长, s;

ξ_{\max} ——蜗壳最大压力升高率;

β_{\max} ——机组最大转速升高率;

T_a ——机组加速时间常数, s;

T_c ——继电器动作迟滞时间, s;

ϵ_0 ——与水轮机比转速相关;

n_s ——水轮机比转速;

f_0 ——水击压力修正系数。

对于一相水击:

$$\begin{aligned} f_0 &= \frac{\sigma m_0^2}{m_0 + \sigma \tau_0 - m_0 \sigma} \left[\frac{2}{\epsilon_0} - \frac{4m_0}{3\epsilon_0} - \frac{4m_0^n}{(n+2)\epsilon_0^{n+1}} + \frac{4m_0^{n+1}}{(n+3)\epsilon_0^{n+1}} \right] \\ &\quad - \left[\frac{m_0}{\epsilon_0} - \frac{m_0^2}{2\epsilon_0} - \frac{m_0^{n+1}}{(n+1)\epsilon_0^{n+1}} + \frac{m_0^{n+2}}{(n+2)\epsilon_0^{n+1}} \right] \\ &\quad \times \frac{4\sigma}{2-\sigma} + \frac{2+\sigma}{2-\sigma} \left(\frac{2n}{n+1} - \frac{n\epsilon_0}{n+2} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

$$m_0 = \frac{t_r}{T_s}, \quad \epsilon_0 = \frac{T_n}{T_s}$$

对于末相水击：

$$f_0 = \frac{2}{\epsilon_0} \times \frac{2\sigma^2}{4 - \sigma^2} [(1 - \epsilon_0) \left(\frac{2}{\sigma}\right)^{n+1} - 1] + \frac{2 + \sigma}{2 - \sigma} \left(\frac{2n}{n+1} - \frac{n\epsilon_0}{n+2} \right) \quad (3)$$

- 式中 T_n ——升速时间，即机组转速最大值所对应时间，s；
 T_s ——导叶有效关闭时间，s； T_s 为直线关闭时间（见图 1），一般为 5~10s，对于大容量机组可至 15s，有特殊要求还可延长；
 τ_0 ——导叶初始相对开度；
 n ——与机组效率相关的指数，在一相水击时， n 推荐取值 2.2；在末相水击时， n 推荐取值 ∞ ，具体推导过程详见《机组转速升高率的若干因素探讨》（杨建东等，水力发电学报，2007 年第 2 期）；

σ ——管道特征系数， $\sigma = \frac{Lv_{\max}}{gH_0 T_s}$ 。

浙江大学吕晋润提出见表 1 的建议判别值：

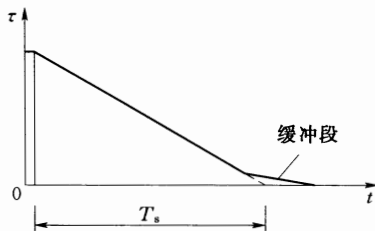


图 1 导叶有效关闭时间示意图

表 1 设计水头与水流惯性时间常数关系

H_p (m)	<40	40~100	100~200	>200
T_w	5.0	4.7	3.0	2.5

另外，相关文献介绍的其他判别方法如下：

(1) 苏联 1970 年制定的水电站设计规范中规定：必须设置调压室的近似标准，应满足 $\sum Lv/H_0 > K$ 。凡独立工作或装机

容量大于系统总容量大于 50% 的水电站, 建议 $K=16\sim 20$; 装机容量只占系统 10%~20% 的水电站, 建议 $K\geq 50$ 。

(2) 法国和日本设置调压室的条件为:

$$\sum Lv/H_0 > 45$$

(3) 1980 年版古宾《水力发电站》设置调压室的条件为:

$$T_w = \frac{\sum Lv}{gH_0} > 3 \sim 6s$$

(4) 加拿大乔德里在其文章中提到的条件为:

$$T_w = \frac{\sum Lv}{gH_0} > 3 \sim 5s$$

2 下游调压室。根据 SL 511 的规定, 压力尾水道上设置下游调压室的条件, 可按机组丢弃全部负荷时, 尾水管内的最大真空度不大于 8m 水头的要求确定。按混流式机组极限 (末相) 水击计算公式反推, 可得:

$$L_w = (2 - \sigma)K \frac{gT_s}{2v_{w0}} \left(8 - \frac{v_{wj}^2}{2g} - H_s \right)$$

因高水头水电站 σ 值一般较小, 即使按低水头极限水击的上限考虑, σ 约为 0.5, 为安全计取 $\sigma=0.5$, 并取水流压力脉动和流速不均匀分布修正系数 $K=0.7$, 可得压力尾水道及尾水管各段的临界极限长度公式:

$$L_w = \frac{5T_s}{v_{w0}} \left(8 - \frac{\nabla}{900} - \frac{v_{wj}^2}{2g} - H_s \right) \quad (4)$$

公式 (4) 是用极限水击公式, 并且按动力真空和水击真空极值叠加的假定得到的, 偏于保守。资料齐全时可考虑动力真空和水击真空极值的时序叠加和水击的类型进行修正, 按下列公式计算 (该系列公式的详细推导、证明可参见 Research on the condition to set a tailrace surge tank [J]. *Journal of Hydrodynamics*, 2004 (16): 486 - 491。计算中需要迭代, 方可得到正确的压力尾水道极限长度。

对于一相水击, 压力尾水道极限长度的计算公式:

$$L_{w1} = K \frac{gT_s}{2v_{w0}} (1 + \rho - \sigma) \left[8 - \frac{\nabla}{900} - H_s - \frac{v_{wj}^2}{2gT_s^2} (T_s - t_r)^2 \right] \quad (5)$$

对于末相水击，压力尾水道极限长度的计算公式：

当 $\frac{\sigma}{2-3\sigma} < 0$ 时

$$L_{wm} = K \frac{gT_s}{2v_{w0}} (2 - \sigma) \left(8 - \frac{\nabla}{900} - H_s \right) \quad (6)$$

当 $\frac{\sigma}{2-3\sigma} > 0$ 时

$$L_{wm} = K \frac{gT_s}{2v_{w0}} (2 - \sigma) \frac{8 - \frac{\nabla}{900} - H_s - \frac{v_{wj}^2}{2g} \left(\frac{v_{wj}^2}{2gH_0} \right)^{\frac{2\sigma}{2-3\sigma}}}{1 - \left(\frac{v_{wj}^2}{2gH_0} \right)^{\frac{2-3\sigma}{2-3\sigma}}} \quad (7)$$

其中

$$\sigma = \frac{Lv_{w0}}{gH_0 T_s}, \quad \rho = \frac{cv_{w0}}{2gH_0}$$

式中 L_{w1} ——发生一相水击时压力尾水道极限长度，m；

L_{wm} ——发生末相水击时压力尾水道极限长度，m；

K ——水流脉动压力和流速不均匀分布的修正系数；

ρ 、 σ ——压力尾水道的特征系数；

c ——波速；

t_r ——水击波相长，s；

H_0 ——水轮机工作水头，m。

相关文献介绍的其他判别方法如下：

(1) 苏联古宾公式：

$$L_w = \frac{3T_s}{v_{w0}} \left(8 - \frac{v_{wj}^2}{2g} - H_s \right)$$

(2) 《水电站机电设计手册》（水利电力出版社，1982年，第一版）中推荐公式（克里夫琴科公式）：

$$L_w = K \frac{gT_s}{2v_{w0}} \left(8 - \frac{v_{wj}^2}{2g} - H_s \right)$$

(3) 中南勘测设计研究院李佛炎推荐公式：

$$L_w = (0.9 \sim 0.78) \frac{gT_s}{k'v_{w0}} \left(H_v - \varphi^2 \frac{v_{wj}^2}{2g} - H_s \right)$$

式中 H_v ——尾水管进口处允许的最大真空度。

(4) 美国设置下游调压室的条件：

$$\sum Lv > 1800 \text{m}^2/\text{s}$$

尾水管内的真空度 H_v 可按 $H_v = \Delta H - H_s$ 计算，式中尾水管进口处的水击值 ΔH 已经包括了流速水头的影响。

3.2.2 图 3.2.2 是美国垦务局和田纳西流域管理局使用的 T_w 、 T_a 与调速性能关系图，由该图可知，机组的调速性能，即机组运行稳定性和调节品质与 T_w 和 T_a 直接相关。

根据水轮机调节理论，可得出机组运行稳定性的判别条件：

$$\left\{ \begin{array}{l} T_w < b_t T_a / (1 - 0.5b_t) \quad (8) \\ T_w < T_d (1 + b_t) \quad (9) \\ T_w < \frac{1}{2(1 - 0.5b_t)} (1.5b_t T_a + A \\ \quad - \sqrt{(1.5b_t T_a + A)^2 - 4b_t T_a A}) \quad (10) \end{array} \right.$$

其中

$$A = T_d (1 - 0.5b_t) (1 + b_t)$$

当 $b_t = 0.4$ 时，由式 (8) 可得出 $T_w = b_t T_a / (1 - 0.5b_t) = 0.5T_a$ ，其所示的直线与图 3.2.2 左上侧的线完全吻合。图 3.2.2 中右下侧曲线是式 (10) 在 $b_t = 0.4$ 、 $T_d = 8.0\text{s}$ 条件下且向下平移 0.8s 得出的，可按式 (11) 来描述：

$$T_w = -\sqrt{\frac{9}{64} T_a^2 - \frac{7}{5} T_a + \frac{784}{25}} + \frac{3}{8} T_a + \frac{24}{5} \quad (11)$$

因此，对水电站运行稳定性初步判断时可按式 (3.2.2-1)，在资料具备时，也可按式 (12) 进行初步判断。事实上，式 (10) 得到满足，式 (8) 和式 (9) 也能得到满足，所以基于运行稳定性的调压室初步判别条件是：

$$\left\{ \begin{array}{l} T_w < \frac{1}{2(1 - 0.5b_t)} (1.5b_t T_a + A \\ \quad - \sqrt{(1.5b_t T_a + A)^2 - 4b_t T_a A}) \quad (b_t \neq 2) \\ T_w < 0.667 T_d (1 + b_t) \quad (b_t = 2) \end{array} \right. \quad (12)$$

其中 $A = T_d(1 - 0.5b_t)(1 + b_t)$

式中 T_w ——上、下游自由水面间管道中水流惯性时间常数, s;

T_d ——调速器缓冲时间常数, s;

b_t ——调速器暂态转差系数;

T_a ——机组加速时间常数, s。

相关文献(水电站调压井稳定断面问题的研究 [J], 水利学报, 1980, 4: 37-48)也介绍相同的判别方法, 即 $T_w < b_t T_a / (1 - 0.5b_t)$, $T_w < 0.667 T_d (1 + b_t)$ 。相比之下, 式 (3.2.2-1) 更为严谨。

也可根据《水轮机电液调节系统及装置技术规程》(DL/T 563) 的相关规定进行初步判断是否需要设置调压室: “无调压设施的水轮机过水系统的水流惯性时间常数 T_w 不大于 4s, 机组惯性时间常数 T_a : 反击式机组不小于 4s, 冲击式机组不小于 2s。同时 T_w/T_a 不大于 0.4。”

4 水电站调压室布置

4.1 调压室位置选择

4.1.1 从调节保证计算角度考虑，调压室位置越靠近厂房，越有利于机组稳定运行，上游调压室越能减少压力管道及机组所承受的水击压力，下游调压室越能防止丢弃负荷时尾水管进口产生过大的真空度。但实际常受地形、地质及枢纽布置等因素的限制，与厂房之间仍需保持一定的距离。因此应根据实际条件进行综合技术经济比较后确定。

4.1.2 地下调压室可充分利用围岩承担内水压力，工程量相对较少，抗震、防冰冻性能较好；地面调压室应重视地震和温度的影响。

调压室位置宜避开不利的地质条件，以减轻水电站运行后内水外渗对围岩及边坡稳定的不利影响。若压力水道上方地形地质条件不适合布置调压室，也可设在邻近较合适地区，通过连接管与压力水道相连通。如嵩滩埔水电站的上游半埋藏式阻抗调压室由于受地形、地面公路、开关站及高压出线塔等原有建筑物影响，最终布置在引水隧洞左侧 88m 处的山坡上，通过连接管与引水隧洞相连通。福堂水电站地面半埋藏差动式调压室开挖直径 31m，井筒高度 116.2m，上部 66m 为Ⅳ类、Ⅴ类围岩，开挖前采取对井壁外岩体进行超前灌浆、锚筋束加固，开挖时对井壁进行挂网锚喷支护和钢筋混凝土衬砌支护，确保了破碎地层中大型竖井的围岩稳定。小山水电站采用在调压室与厂房后山坡间布置排水廊道的方法来降低内水外渗的不利影响。

4.1.3 由于枢纽布置或地质原因无法布置一个大型调压室，或由于水电站扩建、运行条件改变等原因，必须设置或增设副调压室时，为了水力联系密切，副调压室宜靠近主调压室。长隧洞调压室内的涌波波动周期长、振幅衰减慢，在主、副调压室间增加

联通洞等措施，形成差动效应，能减小涌波振幅、加速涌波衰减及减少机组的调节时间。

4.2 调压室布置方式及原则

4.2.1 本条为调压室布置方式：

(1) 上游调压室，在长压力引水道中多采用这种方式。

(2) 下游调压室，当压力尾水道较长时，需设置下游调压室。

(3) 上下游双调压室，在厂房上下游都有较长的压力水道，在厂房的上下游均设置调压室，形成上下游双调压室系统。

(4) 上游双调压室，一般用于电厂扩建，原有调压室容积不够而需增设副调压室时；也有由于枢纽布置或地质原因无法布置一个大型调压室而需布置二个或多个规模较小的调压室时。

除此以外，如有必要可采用两条引水道合用一个调压室，或两座竖井共用一个上室等形式。

4.2.2 上下游双调压室易造成波动振幅的不利叠加及共振等问题，不利于机组的稳定运行，因此，一般布置成上游或下游单个调压室。

4.3 调压室基本类型及选择

4.3.1 本条为调压室的基本类型：

(1) 简单式与阻抗式的区别：以阻抗孔的尺寸大小区分，当阻抗孔或连接管的断面面积小于调压室处压力水道断面面积时称阻抗式，不小于压力水道断面面积时称简单式。

(2) 水室式：上、下室可与竖井分别组合，实际工程中采用竖井与上室组合的较多，而完全采用双室的实例较少。上室分为有溢流堰或无溢流堰两种型式。

(3) 溢流式：专指调压室顶部设有溢流堰泄水的型式，不包括有溢流堰的水室式和有溢流堰升管的差动式。

(4) 差动式：一般由带溢流堰的升管、大室和阻抗孔组成。升管可设在大室内，亦可与大室相邻分开设置，阻抗孔可设在大室与升管之间，亦可设在大室底部与压力水道直接相连。

(5) 气垫式：一种将自由水面与大气隔开的调压室，室内水面气压高于大气压力，水面波动时，气体体积与压力亦随之变化。

4.3.2 我国采用混合型调压室的有：锦屏二级水电站、洛古水电站的阻抗加上室式，古田二级水电站、龙亭水电站的差动溢流式，鲁布革水电站的差动上室式等。

4.3.3 本条为选择调压室型式时，应遵守的基本原则。各种型式的调压室都有其特定的适用条件及优缺点，需结合工程规模、运行要求及地形、地质条件等，进行技术经济比较，合理选择。

在选型时要注意各种调压室的基本特点：

(1) 简单式调压室结构最简单，反射水击波效果最好，但波动衰减慢，常需较大的容积，没有连接管时过调压室水头损失较大。

(2) 阻抗式调压室具有容积小、反射水击波效果较好、波动衰减较快、结构简单等优点。当孔口尺寸选择恰当时，可做到不恶化压力水道受力条件的效果。适用范围较广。

(3) 水室式调压室的上室供丢弃负荷时储水用，下室供增加负荷时补给水量用，这种调压室所需的容积最小。适用于高水头，水位变幅较大的水电站。

(4) 溢流式调压室当丢弃负荷时，调压室内的水位迅速上升，到达溢流堰顶后就开始溢流，具有水位波幅小及衰减快的优点，但须设置排泄水道以溢弃水量。适用于在调压室附近可经济安全地布置泄水道的水电站。

(5) 差动式调压室具有溢流和阻抗调压室的优点，这种调压室所需要的容积小，反射水击条件好，水位波动衰减快，但结构较复杂。适用于水位波动周期较长，而水电站运行又要求加快衰减速度的水电站。

表 2 国内部分工程调压室参数

序号	工程名称	水力单元	调压室参数							围岩
			位置	形状	型式	大室	阻抗孔 (升管)	引水(尾水) 隧洞直径 (m)	高度 (m)	
1	锦屏二级水电站	一洞一室二机	上游	圆形	差动式+上室	D21m	34.6m ² ×2	—	136.00	盐塘组大理岩,Ⅲ类围岩
2	福堂水电站	一洞一室二机	上游	圆形	阻抗式	D27m	—	—	108.00	黑云母花岗岩,中上部为Ⅳ类、Ⅴ类围岩,下部为Ⅲ类围岩
3	姜射坝水电站	一洞一室一管四机	上游	长廊形	阻抗式	120m×6.9m	—	—	56.51	斑岩夹片岩,以Ⅴ类为主
4	古田二级水电站	一洞一室二机	上游	圆形	差动式+溢流	D20m/14.2m	d5.6m	—	54.00	流纹斑岩与花岗岩
5	太平驿水电站	一洞一室二管四机	上游	圆形	差动式	D25.6m	26.24m ² ×2	—	68.00	花岗闪长岩
6	莲花水电站	一洞一室二机	上游	圆形	阻抗式	D18m	60m ²	13.7	80.00	混合花岗岩山体中,底部岩石新鲜,上为弱风化岩石
7	满拉水电站	一洞一室四机	上游	圆形	阻抗式	D10m	d3m	—	89.65	辉绿岩,Ⅲ类围岩
8	藤子沟水电站	一洞一室二机	上游	圆形	阻抗式	D15m	d3.4m	—	154.20	泥质粉砂岩,粉砂质泥岩为Ⅲ _B 类围岩
9	双沟水电站	一洞一室二机	上游	圆形	阻抗式	D21m	3.9m×5.0m	9.9	51.80	安山岩、夹杂花岗岩斑岩脉Ⅲ类围岩

表 2 (续)

序号	工程名称	水力单元	调压室参数						围岩	
			位置	形状	型式	大室	阻抗孔 (升管)	引水(尾水) 隧洞直径 (m)		高度 (m)
10	溪洛渡水电站	三机一室一洞	下游	长廊形	阻抗式	90m×24.5m	—	—	75.50	峨眉山玄武岩, 以Ⅱ类、Ⅲ类围岩为主
11	二滩水电站	三机一室一洞	下游	长廊形	简单式	90.9m×19.8m	—	—	68.80	正长岩、辉长岩, 围岩总体以Ⅰ类、Ⅱ类围岩为主, 地应力为 20~30MPa
12	龙潭水电站	三机一室一洞	下游	长廊形	阻抗式	96m×22m	—	—	64.70	砂岩、泥板岩
13	大朝山水电站	三机一室一洞	下游	长廊形	阻抗式	104.5m×21m	—	—	55.00	玄武岩夹凝灰岩, Ⅱ类、Ⅲ类围岩
14	小湾水电站	三机一室一洞	下游	圆形	阻抗式	D32m	—	—	87.00	微风化的黑云花岗岩片麻岩和角闪斜长片麻岩
15	糯扎渡水电站	三机一室一洞	下游	圆形	阻抗式	D33m	—	—	73.00	花岗岩、砂泥岩
16	锦屏一级水电站	三机一室一洞	下游	圆形	阻抗式	D36m	—	—	62.50	大理岩及大理岩绿片岩互层, 围岩类别以Ⅲ ₁ 类为主, 最大地应力为 20~35.7MPa
17	蒲石河蓄能电站	四机一室一洞	下游	圆形	阻抗式	D20m	d7.5m	11.5	120.90	混合花岗岩, Ⅰ类围岩

(6) 气垫式调压室利用气室内气体抑制室内水位高度和水位波动幅度，适用于水头高、地质条件好，但地形或施工条件不利于布置有自由水面调压室的水电站。这种调压室的布置比较灵活，可以靠近厂房，有利于反射水击波。但其缺点是对地质条件要求较高，还需配备补气设施。

国内部分工程调压室参数见表 2。

4.3.4 圆形调压室有利于围岩稳定、结构安全和减少工程量。

若圆形调压室断面巨大，顶拱围岩稳定问题突出，或者地质条件较差，存在高边墙和顶拱的围岩稳定问题时，可布置长廊形。另外，改、扩建调压室或多机共用一个调压室，受枢纽布置限制等原因，也可布置长廊形。

长廊形调压室顶拱宽度可根据具体围岩稳定情况灵活确定，高边墙的围岩稳定可采用加强锚喷支护参数、或增加横撑梁（墙）等方式处理。

4.3.5 当压力管道或压力尾水道首部需要布置闸门时，尽量考虑闸门井与调压室相结合。如莲花水电站、小山水电站、牛栏口水电站等工程闸门布置在上游调压室内。

5 水电站常规调压室

5.1 调压室稳定断面面积

5.1.1 调压室水位发生波动时,所需要的稳定断面面积,用托马公式进行计算,几十年来为国内外许多调压室设计者所遵循。托马公式是以孤立水电站小波动的稳定性确定其断面面积。因为小波动稳定性若得不到保证,则大波动必然不能衰减、收敛。近年来,随着电力系统容量的增大和电气装置的完善,国内外均有一些水电站,尤其是容量较小或不承担调峰、调频的水电站在设计中考虑系统或调速器的作用等而采用了小于托马公式的调压室断面面积。因此在本标准中规定了稳定断面面积按托马公式计算,在有足够论证时,可以采用小于托马公式计算断面面积。但对于承担调峰、调频容量较大的水电站,调压室实际断面面积不宜小于托马稳定断面面积。

托马公式的形式常见的有以下几种:

$$F_{Th} = \frac{Lf}{2g\alpha(H_0 - h_{w0} - 3h_{wm})}$$
$$F_{Th} = \frac{Lf}{2g\left(\alpha + \frac{1}{2g}\right)(H_0 - h_{w0} - 3h_{wm})}$$
$$F_{Th} = \frac{Lf}{2g\left(\alpha + \frac{1}{2g}\right)\left(H_0 - h_{w0} + \frac{v_0^2}{2g} - 3h_{wm}\right)}$$
$$F_{Th} = \frac{Lf}{2g\alpha\left(H_0 - h_{w0} - 3h_{wm} + \frac{2v_0^2}{2g}\right)}$$

式中 v_0 ——调压室底部压力水道的流速, m/s。

托马公式中的各参数值的选取应该注意以下问题:

(1) f 为压力引水道断面面积,若是变断面面积的压力引水道,其值应按等管径水体动能不变的原则计算,即

$$f = \frac{\sum L_i}{\sum \frac{L_i}{f_i}}$$

式中 L_i 、 f_i ——各段长度和断面面积。

(2) H_0 为发电最小毛水头，若采用水轮机工作最小水头，即发电最小净水头，则有

$$H_1 = H_0 - h_{w0} - h_{wm}$$

于是托马公式应改写为：

$$F = KF_{Th} = K \frac{Lf}{2g \left(\alpha + \frac{1}{2g} \right) (H_1 - 2h_{wm})}$$

(3) h_{wm} 为压力管道和尾水延伸管道的总水头损失，对于没有设置下游调压室的水电站，尾水延伸管道的水头损失按压力尾水道计算； h_{w0} 为压力引水道水头损失。

按最不利计算的原则，计算 h_{w0} 时可采用最小糙率，计算 h_{wm} 时可采用最大糙率，以策安全。计算水头损失时，取用的计算流量应与 H_0 值相对应。

(4) 自水库至调压室的水头损失系数 α 中，包括无连接管简单式调压室的水体流进调压室的水头损失，阻抗式调压室、有连接管简单式调压室及差动式调压室等的水体流至阻抗孔、连接管或升管中心线处的水头损失。

托马公式在推导的过程中作了以下假定：①调速器的灵敏度极高，达到理想的程度，使水轮机的出力保持固定不变；②水电站单独运行；③忽略水轮机效率变化的影响；④波动的幅度极微小，在公式推导时对所有高于二阶的微分量均略去不计。华东勘测设计研究院（ECIDI）与挪威 Norconsult 公司通过合作研究，在推导调压室稳定断面面积时建立了一个四阶动态解析模型，在这个模型的基础上研究了水轮机效率特性、调速器参数、发电机自调节特性、调压室底部流速水头、调压室底部流道过流面积与压力引水道过流面积的差异等因素对调压室稳定断面影响的分析，提出了调压室临界稳定断面面积 ECIDI/Norconsult 修正公

式，简称 E/N 修正公式。

E/N 修正公式：

$$F_{Th} = \frac{Lf}{2g\left(\alpha + \frac{1}{2g\omega}\right) \left[\frac{H_0}{\delta} - \frac{h_{w0}}{\delta} - \left(2 + \frac{1}{\delta}\right)h_{wm} + 2h_v \right]} \quad (13)$$

其中

$$\omega = \frac{f_c^2}{f^2}$$

$$h_v = \frac{v_c^2}{2g}$$

$$\delta = \frac{1 + e_h}{1 + e_q}$$

$$e_h = \frac{\partial \eta}{\partial H} \frac{H_r}{\eta_0}$$

$$e_q = \frac{\partial \eta}{\partial Q} \frac{Q_r}{\eta_0}$$

式中 ω ——调压室底部流道过流面积与压力引水道过流面积之比的平方；

f_c ——调压室底部流道过流面积，对于无连接管的简单式调压室，可以近似认为 $\omega \approx \infty$ ；

h_v ——调压室底部流道水流的流速头；

v_c ——调压室底部流道水流流速，对于无连接管的简单式调压室，可以近似认为 $h_v \approx 0$ ；

δ ——水轮机效率相关项，在设计前期无法得到水轮机效率特性的情况下，可采用经验公式 $\delta = 0.0009n_s + 1.044$ 或者 $\delta = 0.0029n_q + 1.044$ 计算，其中， n_s 、 n_q 均为比转速；

e_h ——水轮机相对效率对相对水头的变化率；

H_r ——水轮发电机组额定水头；

e_q ——水轮机相对效率对相对流量的变化率；

Q_r ——水轮发电机组额定流量。

E/N 修正公式从理论推导方面考虑了水轮机效率特性等影

响因素，使其计算结果较本标准正文推荐的托马临界稳定断面面积计算公式的结果增加 10%~30%。事实证明，按托马公式设计的众多调压室在实际运行过程中均是安全、稳定的，主要是因为各水电站均是在大容量电网中运行，基本不存在调压室小波动稳定问题。

尽管 E/N 修正公式是对托马公式的进一步补充和完善，但考虑托马公式已被广大工程设计人员所熟悉，也经众多工程在实际运行过程中的验证，并且国内的水电站基本都在电网中运行，因此本标准采用托马公式。将 E/N 修正公式在条文说明中提出有其特殊的意义：①E/N 修正公式是对托马公式的发展和进步；②E/N 修正公式更进一步、更全面地明确了调压室稳定断面面积的影响因素及其影响程度；③对于存在孤网运行可能性的水电站，根据 E/N 修正公式确定的调压室稳定断面面积更能增加工程的安全性。

5.1.2 本条说明下游调压室的稳定断面面积计算公式，简单式和阻抗式调压室的稳定断面计算公式是相同的，原因是：阻抗式调压室的稳定断面计算公式，详细推导参见：连接管速度头和动量项对调压室稳定面积的影响 [J]。水利学报，1995，(7)。

$$F_{Th} = \frac{Lf}{g \left[2 \left(\alpha - \frac{1}{2g} \right) + \frac{\bar{\sigma}}{2g} \right] (H_0 - h_{w0} - 3h_{wm})} \quad (14)$$

其中 $\bar{\sigma} = 0.5 \left[0.4 \left(1 + \frac{1}{\varphi} \right) \cot \frac{\theta}{2} + 0.36 + 3.84 - \varphi \right]$

式中 $\frac{1}{2g}$ ——下游调压室底部的速度水头，该速度水头对稳定断面不利；

$\bar{\sigma}$ ——与分流比一次方有关的动量分配项，对下游调压室稳定断面有利。该项的大小取决于连接管与压力尾水道的断面面积之比 φ ，以及连接管与压力尾水道的轴线的交角 θ 。在 $\varphi=1$ ， $\theta=90^\circ$ 的特定条件下， $\bar{\sigma}=2.0$ 。

过去的设计中，下游调压室很少采用阻抗式，尤其是中、低水头的电站，其原因是缺乏对动量分配项的正确认识，导致阻抗式下游调压室所需稳定断面面积过大，难以被实际工程所采用。近 10 年来随着下游调压室设计理论的进步，国内大型地下式水电站的下游调压室均设计为阻抗式，如大朝山、龙滩、小湾、溪洛渡、蒲石河等，其稳定断面面积应按式 (5.1.2-1) 计算。

5.1.4 上下游均设有调压室，在负荷变化时，上下游调压室波动方向相反，可能产生波动振幅的不利叠加。因此，各自所需的稳定断面面积较单独设置调压室时大，且彼此影响。设计时尚需复核共振问题，当上下游调压室的计算参数及稳定断面面积相近时尤应注意。

上游压力水道上设有双调压室的稳定断面面积之和，较单设一个调压室所需的稳定断面面积为大，副调压室越靠近主调压室，主、副调压室面积之和越接近单独设置的调压室，反之则相差越多。

气垫式调压室的水面波幅会显著影响压力波动，是一个较复杂的计算问题。因此，需要较大的气体体积，应根据具体情况结合水力—机械过渡过程进行分析计算。

其他特殊型式的布置应根据具体布置和运行情况进行论证分析。

5.2 调压室涌波计算

5.2.1 调压室涌波水位计算可采用解析法、逐步积分法和数值法；前期可选择解析法或逐步积分法，初步设计阶段应采用数值法计算，施工图设计阶段的引水发电系统参数调整较大时，还应进行复核计算。

水击主要对压力管道影响较大，对调压室的涌波影响较小，阻抗式和差动式调压室在阻抗孔尺寸选择恰当时，水击对涌波影响也不大。故在调压室的涌波初步计算时，可不计水击的影响。但是调压室涌波对压力管道的动水压力有影响，因此，最终均应

与压力管道水击联合计算加以验证。

5.2.2 本条规定了上游调压室涌波水位的计算工况。

调压室的结构布置，必须满足最高、最低涌波水位要求。在结构布置方便、工程投资增加不多的情况下，也应满足最不利组合工况的涌波水位要求；但在结构布置困难，或工程投资增加较多时，应研究拟定多台机连续开机的时间间隔、分级增荷幅度、全部机组丢弃负荷后重新启动的时间限制等合理的运行要求，以避免最不利组合工况的发生；对无法控制的工况（如增荷后甩负荷），则应根据实际需要确定调压室尺寸。

以比较常见的两台机组共用一个上游调压室的布置方式为例，最高、最低涌波组合工况如下：

(1) 最高涌波的组合工况：水库正常蓄水位，一台机组满负荷运行，另一台机组从空载增至满负荷，在流进调压室流量最大时，两台机同时丢弃全部负荷。

(2) 最低涌波的组合工况：水库最低发电水位，两台机组满负荷运行、同时丢弃全部负荷至空载，在流出调压室流量最大时，鉴于增负荷情况可以由运行控制，仅考虑一台机组从空载增至满负荷。

5.2.3 本条规定了下游调压室涌波水位的计算工况。

(1) 关于丢弃负荷调压室涌波水位的计算情况，鉴于输电线路存在全部中断的可能性，将全部机组同时丢弃全部负荷作为一种涌波计算工况。

(2) 关于增负荷调压室涌波水位的计算情况，鉴于增负荷情况可以由运行控制，将共调压室 n 台机组由 $n-1$ 台增至 n 台满负荷发电作为一种涌波计算工况。

(3) 在调压室涌波水位计算中特别是波动周期较长的调压室，在上一工况未稳定时另一工况投入有可能对涌波产生不利组合（如增负荷后甩负荷，甩负荷后增加负荷），其涌波水位波动幅度可能更大，因此，需计算涌波叠加情况。

(4) 因压力水道糙率值难以准确预计，因此本条规定计算调压室涌波水位时糙率按不利情况取值，以策安全。

(5) 发电相应最低水位指计算工况下，按相应发电流量确定的最低下游水位。

5.2.4 经主接线、电气设备可靠性、系统接线和建筑物布置等分析论证后认为不存在同时丢弃全部负荷时，亦可按丢弃部分负荷考虑。

5.3 调压室基本尺寸确定

5.3.2 阻抗式调压室阻抗孔尺寸选择的基本要求是增加阻抗以后不恶化压力水道的受力状态，能有效地抑制调压室的波动幅度及加速波动的衰减。根据现有设计经验和大量的分析与计算，以及模型试验结果，均说明当阻抗孔面积小于压力引水道面积的15%时，压力管道末端及调压室底部的水击压力才会急剧恶化，而孔口面积大于压力引水道面积的50%时，对抑制波动幅度与加速波动衰减的效果则不显著，在长引水电站中，阻抗孔尺寸宜取小值。附录B中，阻抗式调压室涌波计算图（图B.3.2、图B.3.4）可供选择阻抗孔尺寸参考。国内外部分阻抗式调压室阻抗孔的参数见表3。

表3 部分阻抗式调压室阻抗孔的参数

水电站名称	隧洞直径 (m)	阻抗孔直径 (m)	阻抗孔面积/隧洞面积
意大利埃多洛	5.4	2.9	0.288
意大利塔洛罗	5.5	3.5	0.405
中国台湾明湖	7.0	3.2	0.209
日本新高濑川	8.0	4.0	0.250
中国广州抽水蓄能电站 上/下游调压室	9.0/8.0	6.3/4.0	0.490/0.250
日本本川	6.0	3.2	0.280
中国莲花水电站	13.7	8.7	0.407
中国蒲石河抽水蓄能电站	11.5	7.5	0.425

另外，根据大量的工程经验，本条规定了对阻抗底板压差最大值予以限制。

5.3.3 差动式调压室设计按理想差动状态设计，即在设计库水位丢弃负荷时，大室最高涌波水位等于升管开始溢流的水位；水库最低发电水位增负荷时，大室最低涌波水位等于升管最初时段的下降水位，以使调压室容积得到最合理的利用。

5.3.4 水室式调压室上室容积按上游最高库水位丢弃负荷时的涌水量确定，上室底板一般设置在最高静水位以上。设有溢流堰的上室底板可以低于最高静水位，但不宜低于调压室的运行水位。

水室式调压室在涌波过程中，下室会出现明满流交替的工作状态，必须妥善解决水位升高时的排气及保证水位降低过程中出流通畅。因此要求下室的顶部做成倾向竖井不小于 1.5% 的反坡，下室底板做成倾向竖井不小于 1% 的底坡。

下室结构形状不宜过长。如下室较长时，应验算竖井水位降低时的下室供水能力，防止因下室供水不畅造成竖井水位下降过快、空气进入压力水道。在多泥沙的河流上，应考虑下室底部淤积的可能性及预留占据的容积。

附录 B.4 仅供水室式调压室涌波及容积作初步计算，精确计算需采用数值法或逐步积分法等方法求解。有长上室的调压室，还要按非恒定流计算，考虑水面坡降的影响。

5.3.5 溢流式调压室因丢弃负荷时要排泄溢水量，按最大溢流量设计泄水建筑物，必要时还要考虑消能措施。

5.3.6 考虑人身安全及工程安全，本标准对安全超高做了明确规定。

5.3.7 调压室与闸门井结合布置时，闸门启闭机设备平台高程结合闸门检修平台高程确定，且高于调压室最高涌波水位，并留有安全超高。闸门检修平台高程结合库水位、机组运行台数、涌波水位振幅，以及闸门启吊空间等因素综合确定，并确保检修人员安全。

6 气垫式调压室

6.0.1 气垫式调压室运用技术成熟,对有较高环保要求的高水头中小型引水式电站,在常规调压室布置困难时,且地质条件许可的情况下,宜优先考虑气垫式调压室。下游调压室的设置位置一般与尾水的高差较小,托马临界稳定体积较大,不宜采用气垫式调压室。

6.0.2 气垫式调压室的工作气压一般都很高,其洞室多采用不衬砌或锚喷支护,故气垫式调压室所处围岩自身应有足够的强度以承受高内水压力及气体压力。挪威 10 个气垫式调压室大多建于片麻岩、花岗岩等硬页岩中,个别建于千枚岩或变质粉砂岩中。为了满足洞室的稳定性和阻水阻气性要求,必须考虑与位置相关的地形和地质条件。地形条件要求地形完整、山体雄厚;地质条件要求围岩完整、坚硬、致密,从而不会因气垫式调压室的水压力和气体压力而致使围岩变形及渗漏。

为防止调压室区域围岩渗漏,要求高压压水试验条件下该区域岩体透水率不宜小于 5Lu。根据 DL/T 5331—2005 规定,高压压水试验的最高压力不宜小于建筑物工作水头的 1.2 倍。

6.0.3 气垫式调压室小波动稳定性判断的传统依据是基于“托马假定”的临界稳定断面面积,即指:在“托马假定”条件下,能够满足水电站在各种设计允许工况下正常稳定发电运行的气垫式调压室的最小断面面积。目前国内外大多采用挪威 R. Svee 教授导出的公式(5)计算气垫式调压室的临界稳定断面面积:

$$\begin{aligned} A_{SV} &= A_{Th} \left(1 + \frac{mP_0}{l_0} \right) \\ &= \frac{\sum Lf}{(2g\alpha_{\min} + 1)(H_0 - h_{w0} - 3h_{wm0})} \left(1 + \frac{mP_0}{l_0} \right) \quad (15) \end{aligned}$$

式中 A_{SV} ——气垫式调压室的临界稳定断面面积, m^2 ;

A_{Th} ——常规调压室的临界稳定断面面积, m^2 ;

l_0 ——气室内气体体积折算为 A_{SV} 时的高度, m。

但经研究发现, 对于气垫式调压室, 采用临界稳定断面面积的概念判断其小波动稳定性是不准确的, 因为: ①从严格意义上讲, 气垫式调压室水位波动稳定条件取决于该运行工况调压室内的水面面积、气体压力和气体体积, 而不是由其中某一个因素单独决定的; ②在调压室体型参数未定的情况下, 仅增加调压室断面面积并不能保证上式的成立, 而且当气体体积、压力变化时, 式 (15) 所得到的 A_{SV} 计算结果的变化很敏感; ③考虑到在实际工程中, 一般有 $l_0 \ll mP_0$, 则由式 (15) 可知: 其 A_{SV} 计算结果主要由室内气体压力决定。可见, 气垫式调压室的断面面积对其稳定性的影响一般很小, 而能够描述其小波动稳定性的主要特征参数是气室内的气体体积和气体绝对压力。对于按等“气室控制常数 C_{T0} ”模式控制的气垫式调压室, 当气体体积确定时, 气体绝对压力也是唯一确定的。因此, 与气垫式调压室稳定性密切相关的设计参数为气体体积。同时, 该参数也是决定气垫式调压室体型结构的一个主要设计控制参数。

对于气垫式调压室的断面面积, 从理论上讲, 其允许的极限最小稳定断面面积即为开敞式调压室的托马稳定断面面积, 但从实际工程意义上讲, 气垫式调压室的断面面积一般都会比对应的常规开敞式调压室的托马断面面积大很多。

现定义“气垫式调压室临界稳定气体体积”为: 在“托马假定”条件下, 能够满足水电站在各种设计允许工况下正常稳定发电运行的室内最小气体体积, 以 V_{Th} 表示, 简称临界稳定气体体积。

气垫式调压室的稳定气体体积 V_0 按临界稳定气体体积 V_{Th} 乘以稳定气体体积安全系数 K_V 决定, 即式 (6.0.3-1)。

基于“托马假定”导出的气垫式调压室的临界稳定气体体积计算公式为:

$$V_{Th} = \frac{[l_0 + m(Z_{umax} - Z_0 + h_a - h_{w0})] \sum L_i f_i}{(2g\alpha_{min} + 1)(Z_{umax} - Z_d - h_{w0} - 3h_{wm0})} \quad (16)$$

为方便实际应用，忽略式（16）中的部分次要影响参数，而将其他各参数按不利情况取值，可得到式（6.0.3-2）。

6.0.5 各种防渗型式的特点：

1 围岩闭气对围岩天然透水率要求高，适应性较窄，一般要求围岩的透水率在 $0.1\sim 0.001\text{Lu}$ 范围，围岩闭气调压室布置更灵活，断面形状多样。

2 水幕闭气对围岩天然透水率要求较高，水幕闭气调压室布置灵活，断面形状多样。

3 罩式闭气对围岩天然渗透性要求较低，一般要求围岩的透水率小于 5Lu ，适应性较广。罩体和平压系统设计相对较复杂。

气垫式调压室平面布置较灵活，形状可以是环形、条形、“日”字形、“L”形、“T”形等。我国的自一里、小天都、金康、木座和阴坪水电站均采用了条形，挪威的 Torpa 水电站采用了环形，Kvildal 水电站采用了“日”字形。

6.0.6 水幕的压力应高于气室内气体压力 $0.2\sim 0.5\text{MPa}$ ，水幕压力应小于岩体内的最小主应力，以防产生水力劈裂。

6.0.9 气室底板高程可按室内最小水深不小于安全水深确定。气垫式调压室的水力特性与常规调压室存在较大差别，气垫式调压室安全水深不应完全采用常规调压室的安全水深标准。为防止高压气体进入压力水道，气垫式调压室安全水深的设计取值建议为不小于 2.0m ，对于发生概率很小的特殊工况，可取为不小于 1.5m ，当水深小于 1.5m 时，则视为事故情况。

6.0.10 围岩闭气和水幕闭气的气室一般采用不衬砌或锚喷支护，钢罩式闭气的气室当采用混凝土衬砌时，平面布置宜采用条形，如我国的金康、木座和阴坪水电站。

6.0.11 气室一般布置于Ⅱ类、Ⅲ类围岩，围岩整体防渗性能较好，其间的岩脉、节理及裂隙均有可能是渗透通道，需对其进行灌浆处理。灌浆压力一般为气室设计压力的 $1.1\sim 1.5$ 倍，且不小于气室的最大压力。

7 引调水工程调压室设计

7.1 一般规定

7.1.1 引调水工程调压室适用于输送原水、清水的压力输水系统。引调水工程调压室是防止压力输水系统中由于流量变化而产生的正压及负压超过允许值，以保证输水系统的运行安全。

对于长距离引调水系统，由于季节性用水量的变化、正常检修及事故等原因，会造成引调水系统流量发生变化，从而产生流速的变化，致使压力水道产生压力的波动，可能对系统造成破坏，为了避免该种情况发生，工程上可采取气压罐、阀门开关时间控制、液控缓闭蝶阀、泄压阀、调压室等多种避免水击破坏的措施，调压室尤其适合大流量、长距离的引调水系统。

7.1.2 调压室设计应根据压力水道的布置及工作压力、系统的运行工况及地形地质等条件，通过水力过渡过程分析，满足各种运行工况要求。由于调压室的设置会直接影响工程投资，可通过提高压力水道承载能力减少调压室的数量或就近利用地形条件降低调压室的高度等措施，确定安全可靠、经济合理的调压室设计方案。

7.2 调压室设置原则

7.2.2 在长距离引调水工程中为了节省工程投资，常常通过设置多级双向溢流调压室将压力水道分成若干段，以保证各段压力水道的最大、最小内水压力不超过工作压力。调压室级数的减少会造成压力水道的压力升高，使得压力水道投资增大，相反，调压室级数的增多会造成调压室投资的增加，故此本条规定要综合考虑压力水道和调压室的投资来确定调压室的级数。

压力水道正压升高值超过允许工作压力时，需要泄压，泄压设施有安全泄压阀、爆破阀、预防泄压阀、双向调压室等；负压

超标时，需要补水、补气，补水设施有水击消除气压罐、单向调压室、双向调压室等，补气设施有空气阀等。

压力水道最大、最小内水压力超标时，可就近设置双向调压室。双向调压室具有泄压、补水的功能，从系统的安全性上来看，双向调压室解决压力水道最大、最小内水压力超标的问题是可靠的，但常常因为其造价高而无法普及，实际设计中应综合考虑多方案比较后确定。

压力水道产生负压或产生水柱分离时，可设置单向调压室。单向调压室补水后不会产生不利作用，若采用其他设施，应研究对压力水道系统可能产生的不利影响，如通过空气阀补气减少负压危害，应分析补气后对系统会不会产生二次水击的问题。

7.2.3 长距离引调水系统由于检修和局部事故等原因，需要系统停水，实际操作中尽量不将系统中水放空，可通过设置溢流式双向调压室，保证压力水道的压力不超过允许工作压力。

7.3 调压室基本类型及选择

7.3.2 非溢流式调压室可节省水资源，但会造成调压室体积庞大和压力水道投资增加，因此应结合水力过渡分析，综合分析溢流式与非溢流式调压室的投资及水资源条件，确定双向调压室的溢流型式。

长距离引调水工程压力水道，由于水体惯性的原因，会造成非溢流调压室高度增加，致使压力水道压力增大，进而增加工程投资，所以长距离引调水工程不宜采用非溢流式双向调压室。

7.4 调压室基本尺寸确定

7.4.2 本条是通过物理模型试验及采用三维 CFD (Computational Fluid Dynamics) 技术对弯管式溢流塔流态和流场参数特性研究总结出的规律，并在大伙房水库输水（二期）工程中得到验证。

双管溢流式双向调压室，考虑泄水竖管消能及流态的稳定，泄水竖管内应设置相应的减压孔板。减压孔板的内径可为 $d_0 =$

$(0.75 \sim 0.9)d$ ，其中 d 为泄水竖管的内径。最上端第一个减压孔板距溢流堰坎的距离及减压孔板之间的距离均为 $(2 \sim 4)d$ ，泄水竖管直径大，取小值，反之取大值。

双管溢流式双向调压室的上端 180° 弯管上应设置相应进排气量的微量空气阀和真空吸气阀。

微量排气孔孔径按溶解于水里 2% 空气量确定，真空吸气阀进气量按最大溢流量进行设计，实际布置可考虑设置多台空气阀。

7.4.3 重力压力流引调水工程调压室溢流高度按压力水道静水压力考虑，泵站加压压力流引调水工程调压室溢流高度按动水压力考虑。为防止压力水道中压力波动引起的水体经常溢出，故规定堰顶安全超高。

7.4.5 单向调压室水室最小容积 V_{\min} 的计算。

水泵停运后，压力水道中流量 Q 变为零的时间为 T ，则在此时段内，由于压力水道中水柱被拉断所空出的容积为 $Q/2 \cdot T$ ($Q/2$ 为该时段内压力水道中水流的平均流量)，此空间应由水室中的水体来填补，所以，水室最小容积 V_{\min} 可按式 (17) 计算：

$$V_{\min} = K \frac{QT}{2} \quad (17)$$

其中 $T = \frac{L_0 Q}{gfH_b}$

式中 Q ——正常运行流量， m^3/s ；

T ——压力水道中水体惯性时间， s ；

f ——压力水道断面面积， m^2 ；

H_b ——水泵静扬程， m ；

L_0 ——压力水道长度， m ；

K ——安全系数，可取 $K=1.5 \sim 2.0$ 。

7.4.6 单向调压室应有足够容量，保证在调压室向压力水道补水过程中，防止气体掺进压力水道中。

单向调压室的高度及补水管管径应保证及时补水填充压力水

道空腔，并保证补水流量不小于填充压力水道所需要的流量 Q_z 。考虑相互备用，补水管根数 n 不宜少于 2 根，即 $n \geq 2$ ，其高度及补水管管径应根据水力过渡过程计算结果确定。初步估算时应满足下列要求：

(1) 以主管轴线为基准，初步拟定调压室内水位高度。

(2) 依据水力学中“水力计算短管”的要求，计算注水管（管径 D_z ）内各种水头损失总和。

(3) 应用伯诺里方程计算出单向调压室补水管注入压力水道中流量 Q_z ：

$$Q_z = n \frac{3.478 D_z^2 \sqrt{Z}}{\sqrt{1 + \epsilon_c}} \geq Q \quad (18)$$

其中

$$\epsilon_c = \lambda \frac{L_z}{D_z} + \sum \xi_i$$

式中 Z ——室内水位与主管轴线标高差，m；

ϵ_c ——注水管阻力系数；

L_z 、 D_z ——注水管管长和管径，m；

λ ——压力水道沿程阻力系数；

ξ ——局部阻力系数；

Q ——水泵正常运行流量， m^3/s 。

8 结构设计和构造要求

8.1 一般规定

8.1.1~8.1.4 调压室结构按 SL 191 的相关规定，采用在多系数分析基础上以安全系数表达的方式进行结构设计。

承载力安全系数 K 应按 SL 191 确定。

8.2 结构设计

8.2.2 布置在围岩中的调压室整体稳定和结构分析可采用有限元法进行计算，根据围岩的特性和工程规模，可分别采用线弹性、非线性模型计算。

8.2.3 调压室一般靠近地下厂房或边坡，调压室渗漏对地下厂房或边坡都将造成不利影响。调压室采用钢筋混凝土衬砌，对减少调压室渗漏和围岩稳定都有很大的改善。上游调压室水头较高，发生渗漏的可能性较大，并将直接危害地下厂房或边坡，围岩掉块将危害机组，故绝大部分工程的上游调压室均采用了钢筋混凝土衬砌。下游调压室水头相对较小，当调压室围岩完整、坚硬、渗透性小时，调压室也可采用锚喷支护作为永久衬砌，二滩、大朝山两个水电站的下游调压室除靠近厂房的上游墙和相邻调压室之间的隔墙采用混凝土衬砌外，其他部位均采用锚喷支护，棉花滩水电站下游调压室全部采用锚喷支护。这 3 个工程建成后已安全运行多年。

8.2.4 地下长廊式调压室一般规模较大，洞室边墙较高，施工开挖对洞室围岩稳定影响较大，主要通过选择合适的锚喷支护方式，利用围岩本身作为承载结构，结构分析主要采用工程类比法和有限元法。工程类比法有直接工程类比、巴顿（Baton）Q 系统分类法等。采用有限元法进行调压室稳定分析时，工程规模较小、围岩坚硬完整的可采用线弹性有限元法计算；围岩软弱、存

在较高地应力的宜采用非线性有限元法计算；有流变性质的围岩宜采用粘弹塑性有限元法计算。

确定规模较大的地下长廊式调压室的支护参数时，一般先通过工程类比，初拟调压室支护形式和支护参数，然后利用有限元方法分析调压室施工和运行过程中的围岩稳定情况，根据计算结果对支护形式和支护参数进行调整，重新复核调压室的围岩稳定，最后确定经济合理、安全可靠的支护方式和支护参数。

8.2.5 调压室钢筋混凝土结构可以采用以下计算方法：

(1) 结构力学、弹性力学方法。对于布置于围岩中的圆形调压室的井壁和底板可按薄壁圆柱筒进行结构计算。薄壁圆柱筒理论的设计假定有：

a) 圆板（简单式调压室）或环形板（阻抗式调压室和差动式调压室），两者为刚性连接。把围岩作为弹性体，当衬砌受力后向围岩方向变形时，围岩产生的弹性抗力作用在衬砌上，即计算时采取衬砌与围岩分开考虑的结构力学方法。

b) 圆筒衬砌为等厚度的整体结构，底板衬砌为等厚度的整块平板，与调压室断面尺寸相比，两者均属薄板结构，用薄壳或薄板理论求解。因底板具有相当的挠曲刚度，其挠度远小于它的厚度，故底板变形属于“小挠度”问题。

c) 根据以上两点，当调压室正常运行承受内水压力作用时，衬砌计算实质上就是弹性地基上的圆筒和圆板（环形板）的计算。当调压室放空检修承受外水压力的作用时，则成为普通的圆筒和圆板（没有弹性抗力）的计算问题。

d) 圆筒衬砌自重靠其与围岩间的摩擦力维持而不下传，因而认为井底的垂直变位为零。

e) 底板受圆筒传来的对称径向应力所产生的变形，与圆筒的挠曲变形相比，可忽略不计，故底板只有垂直变形而无水平变位。

f) 围岩弹性抗力与变形的关系采用文克尔假定。

(2) 线弹性或非线性有限元法。有限元数值解法可以在计算

模型中较好地反映洞室围岩的性质特征，可以更好地反映实际体型和不同部位的围岩抗力效应，以及外部荷载和边界约束条件等因素，能把洞室衬砌支护与围岩作为一个整体来考虑，提高了分析的精度。

a) 线弹性有限元配筋法先由有限元法获得衬砌断面内力，然后按 SL 191 进行强度配筋和限裂配筋，直接得到配筋设计方案。配筋设计包括 3 个步骤：①对各种工况进行线弹性有限元分析，得到衬砌断面内力；②对最不利工况按拉应力图形法确定强度配筋量；③按规范公式确定限裂配筋量，最终确定配筋设计方案。

b) 非线性有限元配筋法不再通过计算衬砌断面内力和钢筋应力确定配筋量，而是根据初始配筋量，通过非线性有限元法验算钢筋应力和混凝土裂缝宽度，迭代计算调整钢筋用量，得到既满足强度和缝宽要求，又经济合理的配筋设计方案。分析过程包括以下 4 个主要步骤：①对断面做初始配筋设计，可按构造配筋或线弹性有限元法确定初始配筋量，作为非线性有限元配筋法迭代分析的初始值；②用非线性有限元法对初始配筋设计进行钢筋强度和混凝土裂缝宽度验算，强度验算标准为钢筋应力小于设计允许应力，计算缝宽应小于允许缝宽；③根据验算结果调整配筋设计，由于钢筋的刚度远小于混凝土衬砌和岩体的刚度，其配置量对荷载在衬砌和岩体中的分配比例影响很小，则当衬砌厚度不变时，可通过钢筋等内力法指导钢筋配置量的调整；④重复上述步骤，直至获得经济合理的配筋设计方案。按照步骤③所述方法调整钢筋用量后，一般通过少数几次迭代即可得到经济合理的配筋设计方案。

8.2.6 差动式调压室大室与升管的最大水位差，一种情况是大室水位最高、升管水位最低；另一种情况是大室水位最低、升管水位最高，两种情况在设计中都必须考虑。

早期差动式调压室升管常布置在调压室大室中心位置，施工程序较复杂，抗震能力差，升管贴井壁布置或结合闸门井布置，

有利于升管结构稳定和施工。

8.2.7 作用在调压室衬砌上的外水压力应根据水电站运行后的地下水位情况，结合实际的围岩地质条件，可按《水工隧洞设计规范》(SL 279) 混凝土衬砌有压隧洞的外水压力折减系数折减。当确定外水压力较为困难或分析外水压力选取的合理性时，也可以采用渗流场分析的方法进行确定或复核。

8.2.8 当受地形限制或其他原因，调压室必须布置在地面以上，采用普通钢筋混凝土圆筒结构时，若按抗裂设计，需筒壁较厚，配筋量也较大；若限裂设计，则易发生渗水现象。采用预应力钢筋混凝土结构，可以减小筒壁厚度，并防止筒壁开裂，较大程度节约工程量和投资。

8.2.9 调压室内升管、闸门槽、通气孔等容易削弱调压室结构。因此，首先应注意合理布置，同时对关键部位的结构尺寸、构造措施及钢筋配置应予加强，以确保建筑物的安全。

8.2.10 当闸门设在调压室内，特别是利用闸门井作为差动式调压室升管时，应考虑水击波、涌波与闸门之间的相互不利作用，需采取适当措施，如合理拟定升管尺寸，加强闸门井（或升管）结构，增加门叶刚度和重量及选择合适的启闭机等，以确保运行安全。

8.2.11 一般情况下，采用钢筋混凝土衬砌的地下调压室，均需对围岩进行固结灌浆。当调压室围岩雄厚且地质条件较好时，结合其他建筑物的布置，经论证，确定不会产生内水外渗，并保证不会对其他建筑物和山体的稳定产生影响时，也可考虑不进行固结灌浆。

8.3 构造要求

8.3.2 20 世纪 70 年代建成的碧口水电站、21 世纪初建成的姜射坝水电站等工程布置为地下长廊式调压室，为提高调压室洞壁稳定性，这两个工程的调压室沿上、下游方向（短边方向）布置钢筋混凝土横撑。尤其是姜射坝水电站调压室，地质条件极为复

杂，整体位于强卸荷的岩体中，岩性为黄水河花岗群斑岩夹二云母片岩，围岩为V类，实际施工采取调压室开挖与衬砌、横撑施工交替进行的方式。

8.3.3 某工程上游调压室，因山体围岩较单薄，为防止内水外渗，原设计在衬砌混凝土中间布置薄钢板防渗，后改为在调压室围岩和衬砌混凝土之间喷涂柔性聚合物砂浆防渗层，施工简便，实际运行效果较好。

圆形断面调压室的地质条件较差并对防渗有严格要求时，可视需要在调压室全高程或部分高程布置薄钢板防渗，薄钢板可布置在内壁或混凝土衬砌内部，并复核钢板抗外压稳定。

8.3.4 对于采用钢筋混凝土衬砌的调压室，将用于洞壁支护的锚杆与衬砌结构中的受力钢筋焊接，使其可以与衬砌联合承受外水压力，进而提高调压室的抗外压能力。

8.3.5 地下建筑物具有良好的抗地震能力，因此在地下建筑物中多不强调抗震计算与校核，只采取适当加强其整体性和刚度等抗震措施即可。

8.3.6 调压室内的交通通道，需设置安全防护设施。在井口周边设置防护栏杆，栏杆底部设防护板，调压室内一般布置带有护笼的钢爬梯，并做防锈蚀设计。

8.3.7 寒冷地区半埋藏式和地面式调压室应采取防止冰冻措施，以免影响调压室的作用及结构工作状态。可考虑井口加盖并设通气孔和进人孔措施，必要时井筒和顶盖设置保温材料。

双管溢流式双向调压室内水体的防冰冻措施，一般采用电伴热带自动加热装置。

9 模型试验、安全监测及运行管理

9.1 模型试验

9.1.1 本条建议对大型水电站的调压室和结构复杂的调压室进行水力模型试验，并限定调压室本身的模型试验内容。水道系统中与调压室有关的其他水工模型试验，如进水口模型试验、拦污栅水头损失试验、引水隧洞集石坑模型试验等宜单独采用较大的模型。而分岔管水力模型试验、事故闸门定开度模型试验等既可以与调压室模型试验结合进行，也可以单独设计模型和试验。

9.1.2 调压室底部水力损失系数试验的目的是测量机组正常运行时水流通过调压室底部时的水力损失系数值。对于底部分岔的调压室，测量机组对称运行和不对称运行时的水头损失系数。由于调压室布置方式的不同，从压力引水道至压力管道进口的流道尺寸有变化，调压室底部阻力系数宜采用式（19）定义：

$$\xi = \frac{\Delta h}{v^2/2g} \quad (19)$$

式中 v ——压力引水道末端调压室进口断面的流速；

Δh ——两测量断面的总能量差或总水头差。

调压室底部阻抗孔口试验的目的是测量水流进入调压室和流出调压室时的水力损失系数或流量系数，孔口水力损失系数宜采用式（20）定义：

$$\xi = \frac{\Delta h}{v^2/2g} \quad (20)$$

式中 v ——水流通过孔口时的流速；

Δh ——两测量断面的总能量差或总水头差。

溢流堰流量系数采用式（21）或式（22）定义：

$$M = \frac{Q}{Bh^{\frac{3}{2}}} \quad (21)$$

$$\mu = \frac{Q}{\sqrt{2g} B h^{\frac{3}{2}}} \quad (22)$$

式中 Q ——溢流量；
 B ——溢流堰前沿长度；
 h ——堰上水头。

9.1.3 调压室局部模型试验（或单体调压室模型试验） 上游压力引水道的模拟长度不宜小于 10 倍压力引水道的直径，下游压力管道的模拟长度不宜小于 5 倍压力管道的直径。因水力损失系数与流态有关，为满足流态相似要求，局部模型应采用正态模型，并采用较大尺寸的模型进行试验。为使模型试验流态达到阻力平方区，水力损失系数试验模型流量宜采用大于设计流量的多个流量进行，并取试验平均值。

水力损失系数模型试验常采用测压管测量断面压力，同一断面的测压管宜均匀布置或对称布置。局部水力损失不仅发生在突变边界处，而且发生在突变边界的上下游一定范围内，要求测量断面距离突变边界有足够的距离，两测量断面之间的沿程损失较小，测量结果可以不加修正。

流态观测及局部位置压力测量，传感器应直接安装在测点位置。

9.1.4 本条的整体模型是指包括了进水口、压力引水道、调压室、压力管道、模型机组或机组流道、压力尾水道在内的整体模型。

9.1.5 根据水击基本方程推导得到的模型律分析，受模型材料（通常为透明有机玻璃）水击波速的制约，完全的正态模型线性比尺近似 1：16（模型：原型），对于水电站水道系统和调压室试验而言，除特殊情况外，这样大尺寸的模型在通常的试验条件下难以实现，因此整体模型试验允许采用变态模型。按照调压室模型试验目的和任务要求确定采用相应的模型律。

对于仅进行调压室涌波试验的模型，上游调压室下游的压力管道或下游调压室上游的压力水道以及水轮发电机组可以简化模

拟，只要能够达到模拟控制压力管道中的流量变化要求即可，但要求控制流量的设备距离调压室至少 5 倍管径距离以上。

对于水击模型试验，水轮机流量变化规律的模拟以及压力管道中的水击波运动相似模拟比较重要，为达到试验精度要求，压力管道和流量变化应严格模拟，对模型机组或流量控制阀门的启闭规律和启闭时间应严格控制。允许对水击试验模型律进行简化，在保证水击波的运动相似和水流动力相似条件下忽略水流摩擦阻力相似。考虑到大部分调压室的底部都具有足够的反射水击波的能力，为提高水击试验的精度，可以采用大尺寸的正态模型，仅模拟压力管道和水轮发电机组。

9.1.6 在试验精度允许的情况下，调压室模型试验可以与水道系统的其他模型试验结合进行。

9.2 安全监测

9.2.1 原型监测资料能反应调压室施工期和运行期的工作状态，其目的是指导运行、反馈设计，以便总结经验教训，提高运行管理和设计水平。

9.2.2 调压室的监测项目设置与其类型、结构特性和工程规模有关，本条所列 1 级、2 级和 3 级调压室监测项目分类表，便于设计人员根据工程特性选择监测项目，3 级以下调压室可参照执行。

地下调压室的监测设计，重点为施工期围岩稳定，必须结合工程地质、水文地质和支护设计情况，有针对性的进行监测仪器布置。调压室衬砌外水压力受地质条件、地下水位，引水隧洞及调压室内水外渗等因素的影响，为设计不确定因素，应对衬砌外水压力、围岩渗透压力进行监测；对于围岩完整、自稳性好、结构简单、设计成熟的调压室衬砌可不设应力应变监测仪器。

地下洞室大多采用新奥法施工，需通过监测资料反馈及时确认和修改支护参数，《锚杆喷射混凝土支护技术规范》（GB 50086）对施工期地下洞室的测量控制有较详细的规定，应遵照

执行。

9.2.3 调压室涌波水位直接反应调压室的实际运行状况，能为运行和设计提高最直接有效的信息，应作为调压室的必测项目。对涌波水位变幅大的调压室，一般沿高程设 2~3 支水位计（渗压计），避免仪器量程过大影响测量精度。

9.2.4 原型监测能否达到预期目标，除了要有针对性的测点布置外，还必须重视监测仪器设备的选型、检验率定、安装埋设及监测资料整理分析，《混凝土坝安全监测技术规范》（DL/T 5178）和《混凝土坝安全监测资料整编规程》（DL/T 5209）有比较详细的规定，应遵照执行。

9.3 运行管理

9.3.1 结合水道系统放空、检查，同时也应对调压室进行全面的外观检查。

9.3.3 鉴于曾发生过机组试运行期间，连续、快速丢弃负荷、增加负荷与设计工况不一致而导致调压室发生事故的实例，因此要求调压室设计中应根据水电站运行特性、调压室设计条件等因素，合理提出调压室运行（包括试运行和正常运行）要求和限制条件，以确保水电站与调压室的运行安全。