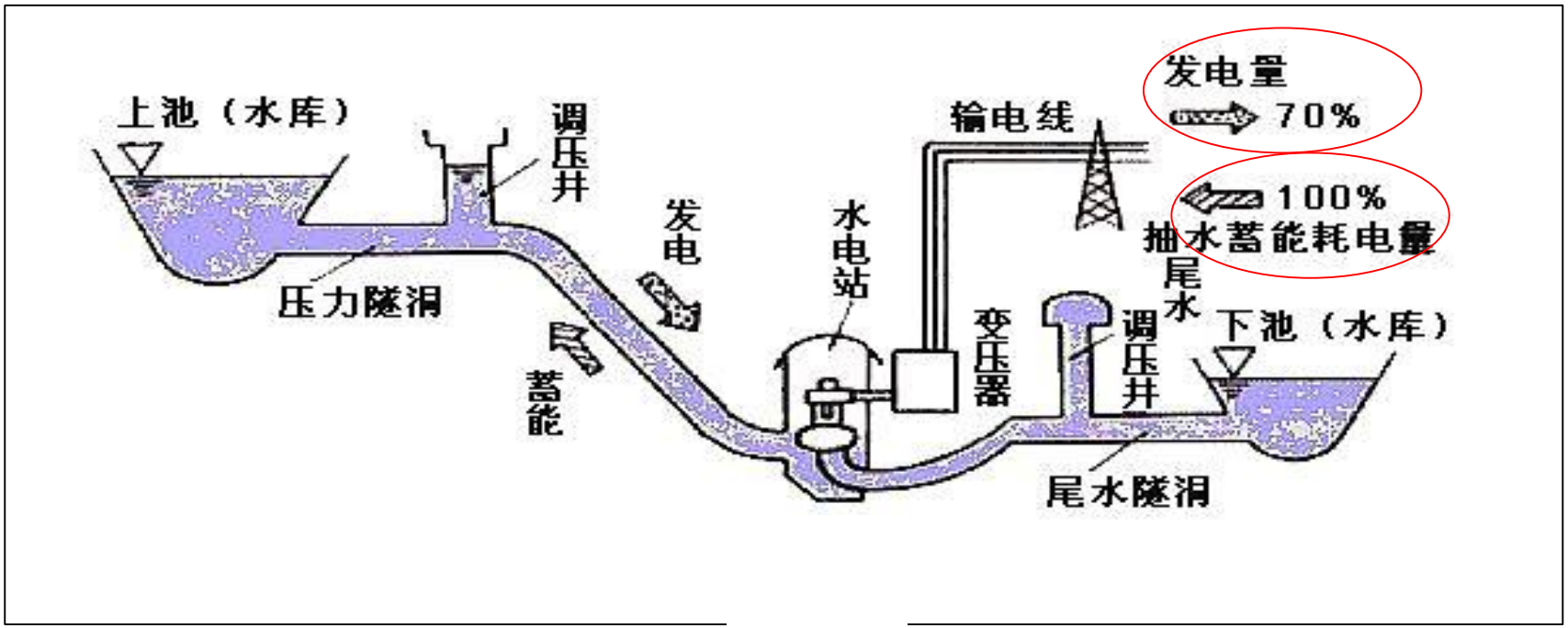
第7章　可逆式机组及其自动控制

1. 概述
2. 可逆式机组的特点
3. 可逆式机组的工况转换
4. 逆式机组水泵工况的起动方式
5. 可逆式机组水泵工况的起动方式的选择
6. 静止变频装置在可逆式机组中的应用
7. 可逆式机组工况转换过程的操作程序

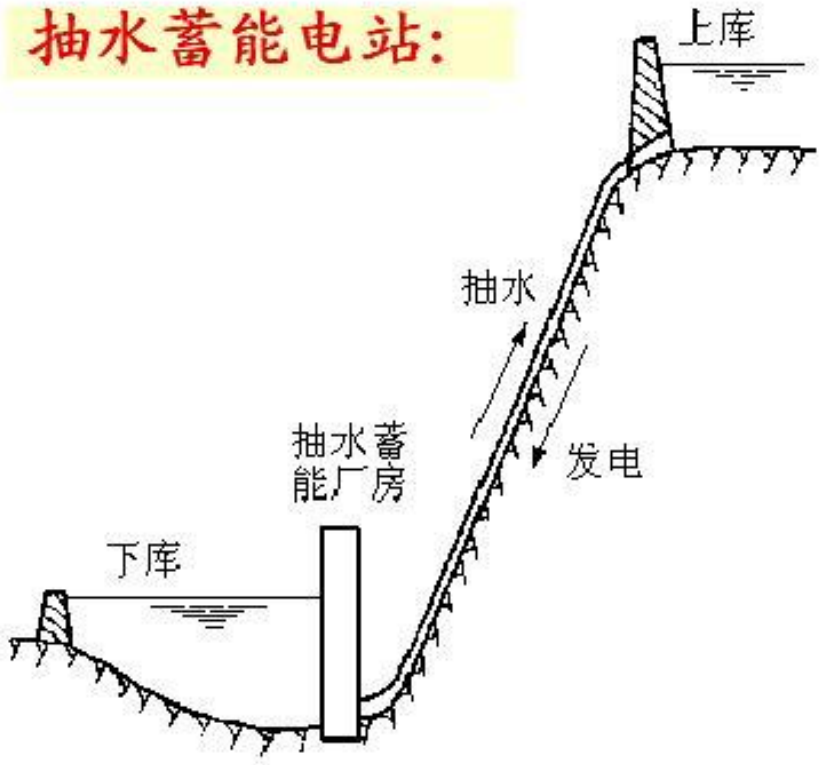
7.1　概述

7.1.1 抽水蓄能电站原理

为了提高电力系统的调峰、填谷能力，可以设置由“发电—电动机”和“水泵—水轮机”组成的可逆式机组在高峰负荷时发电，以补充系统的电能；在低谷时，利用系统多余的电能抽水，将电能转换成为水能储存起来，供高峰时发电。有可逆式机组的水电站称为抽水蓄能电站。

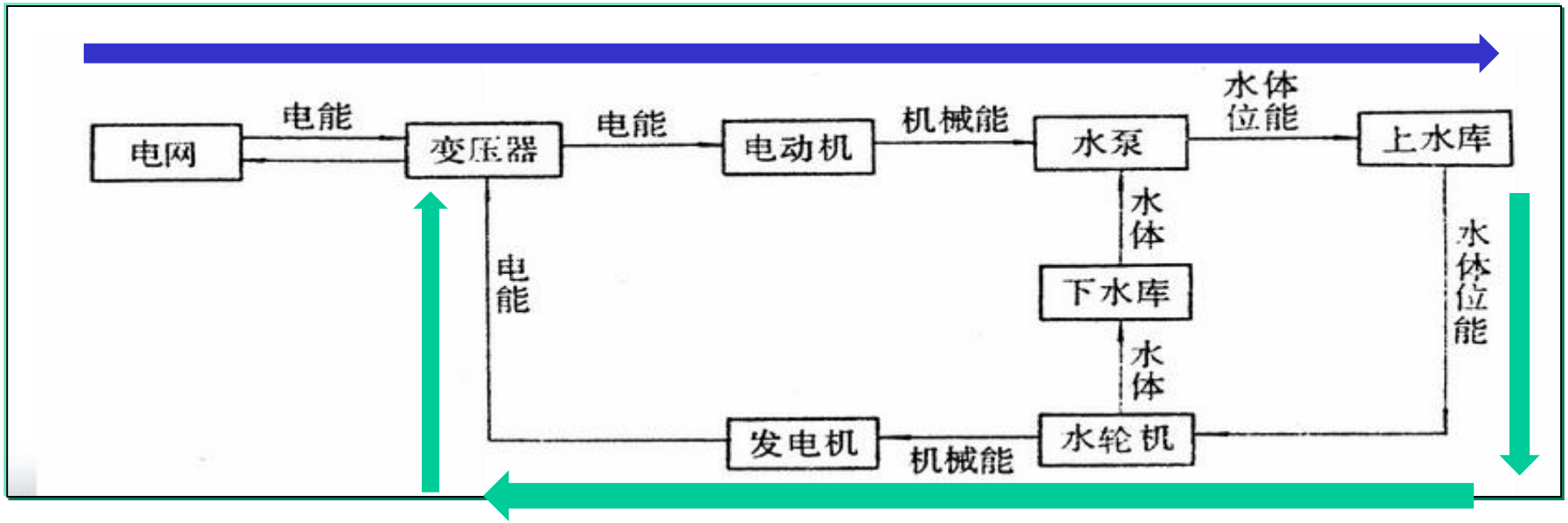


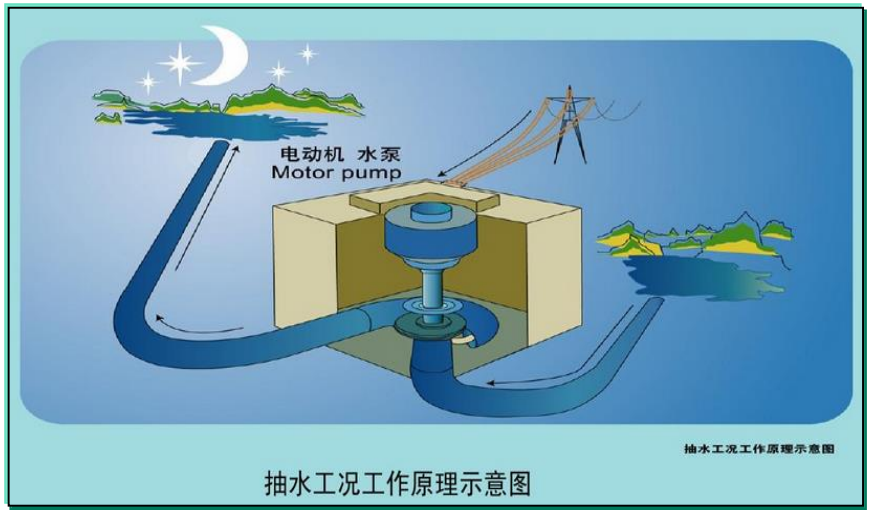
抽水蓄能电站：



两个过程：
1、抽水蓄能
2、放水发电

原理：设置上、下两个水库，装设具有抽水及发电双重功能的机组，利用电力系统负荷低谷期间的剩余电能向上水库抽水，而在系统负荷高峰期间从上水库放水发电。相当于利用上库存储电能。



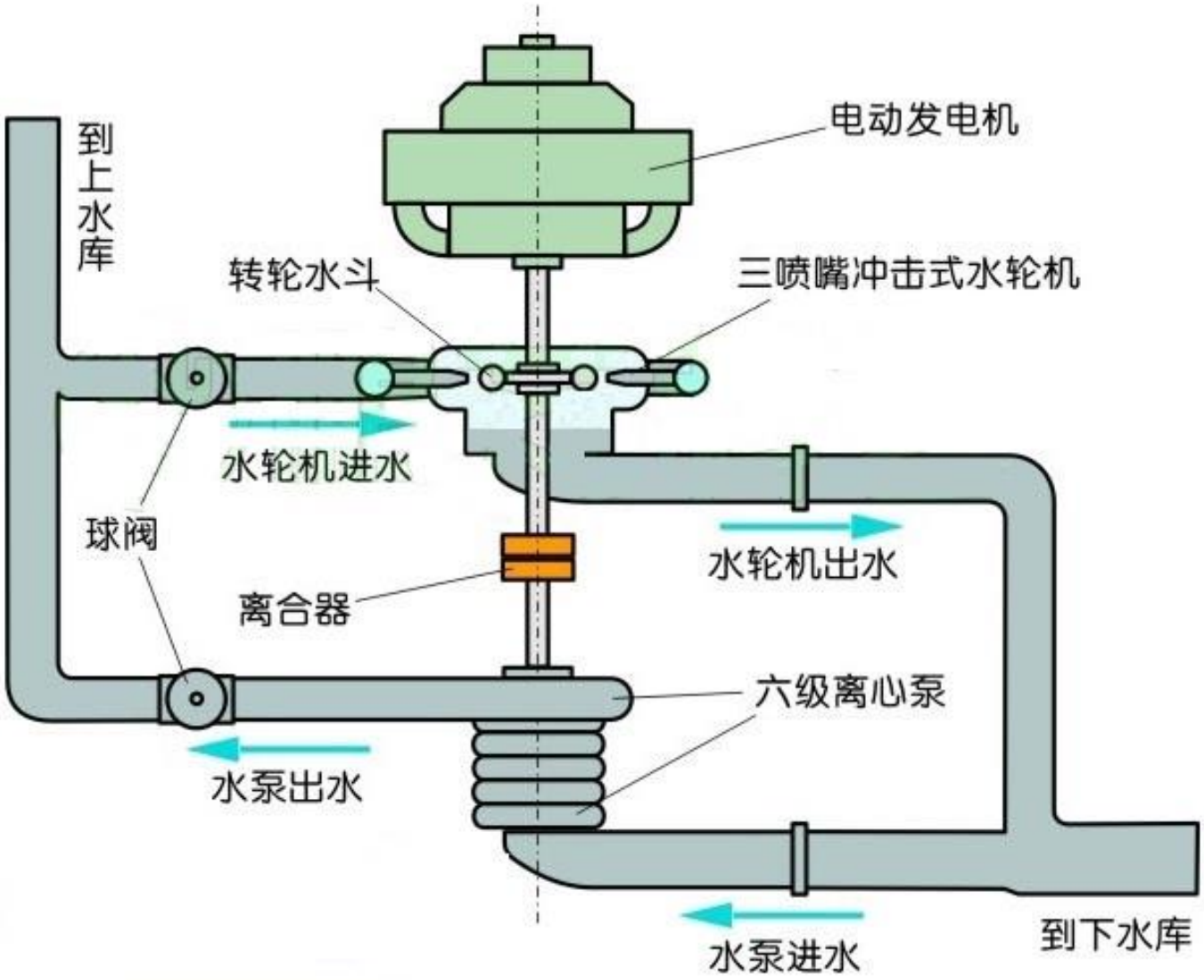


抽水工况工作原理示意图



发电工况工作原理示意图

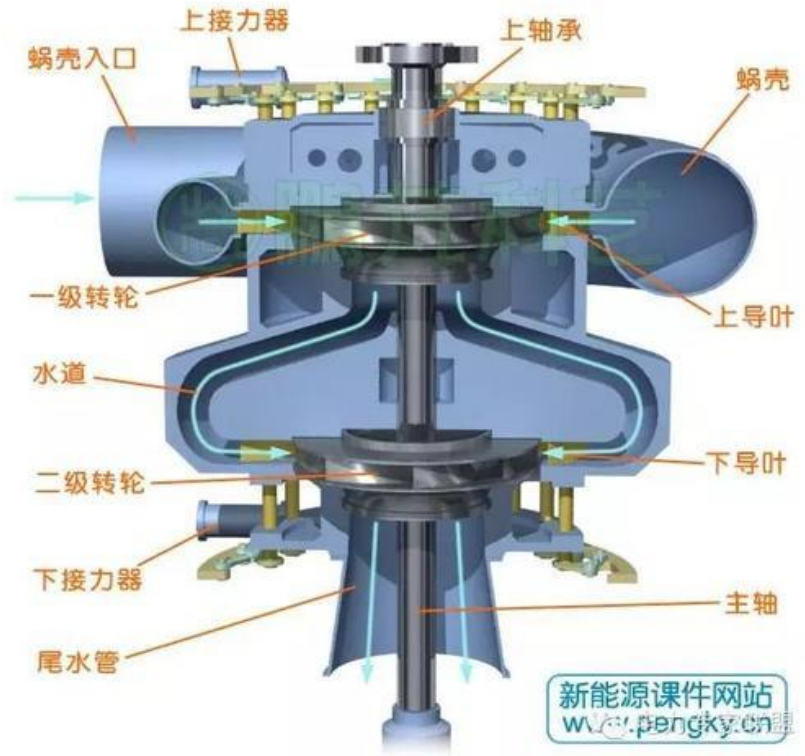
7.1.2 可逆式机组

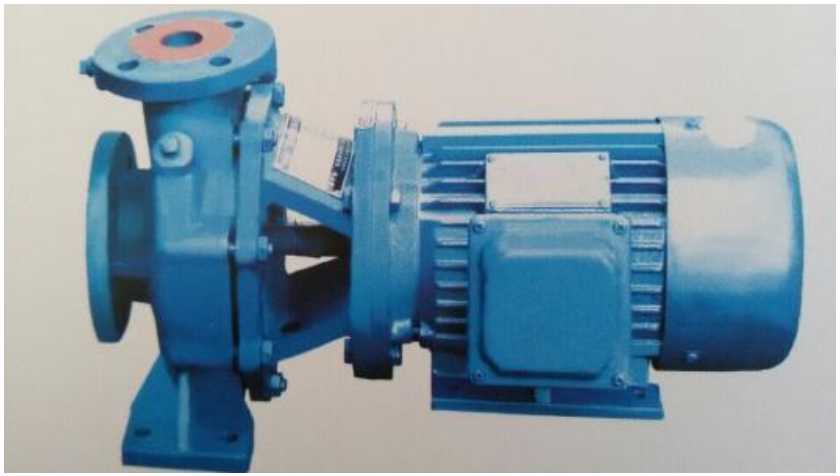

到上水库
电动发电机
转轮水斗
三喷嘴冲击式水轮机
水轮机进水
球阀
离合器
水轮机出水
六级离心泵
水泵出水
水泵进水
到下水库

泵的定义：

输送液体或使液体增压的机械。

广义上的泵是输送流体或使其增压的机械，包括某些输送气体的机械。由于应用最多的是抽水，因此习惯上称为水泵。把原动机的机械能或其他能源的能量传给液体，使液体的能量增加。





叶片泵是利用回转叶片与水的相互作用来传递能量，按照叶轮旋转时对液体产生的力的不同，又可分为：

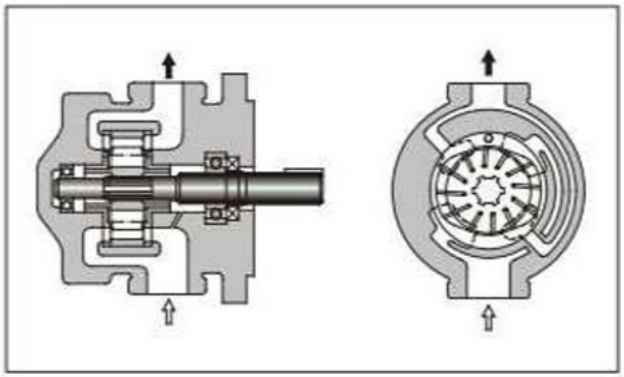
离心泵：叶轮旋转时对水体产生离心力；

轴流泵：叶轮旋转时对水体产生推力；

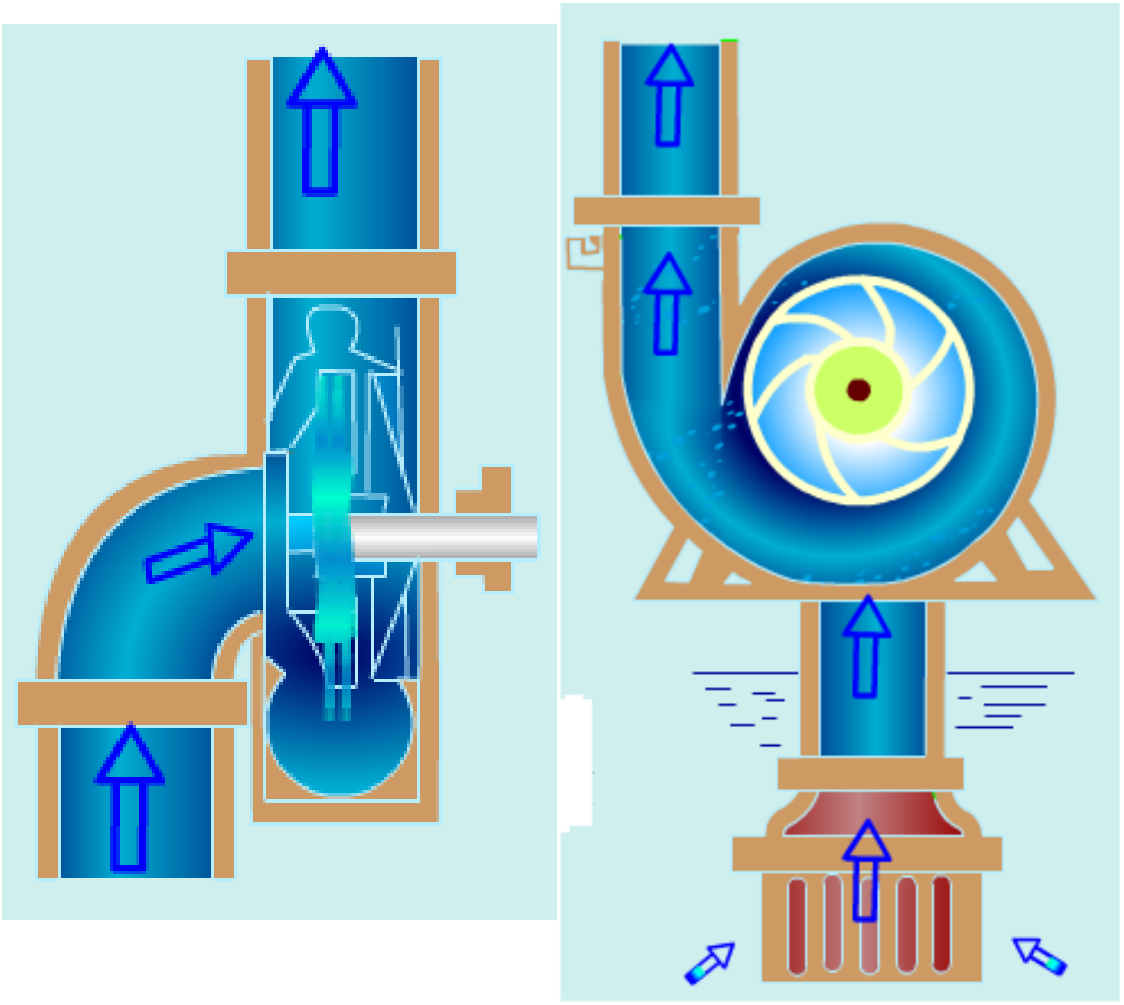
混流泵：叶轮旋转时对水体同时产生离心力和推力。







离心泵工作原理

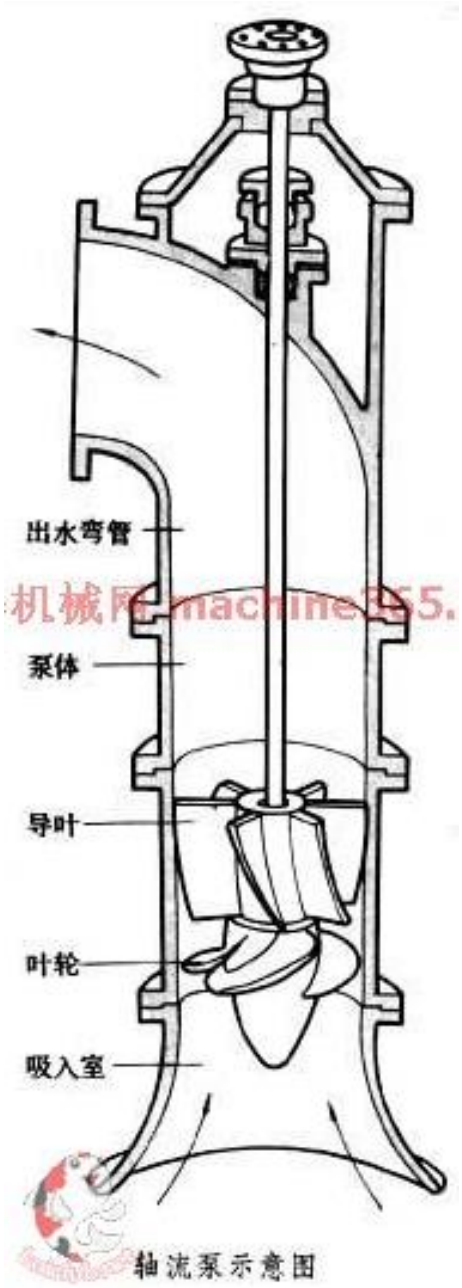


在水泵工况下，在离心泵启动后，泵轴带动叶轮一起作高速旋转运动，迫使预先充灌在叶片间液体旋转，在惯性离心力的作用下，液体自叶轮中心向外周作径向运动。当液体离开叶轮进入离心泵壳后，部分动能转化为静压能，最后沿切向流入排出管路。

轴流泵

是一种利用叶轮旋转对水体产生推力(升力)工作的大流量低扬程的水泵，主要是靠叶片的升力将流体引到出口，是轴向进，轴向出，具有流量大等优点。

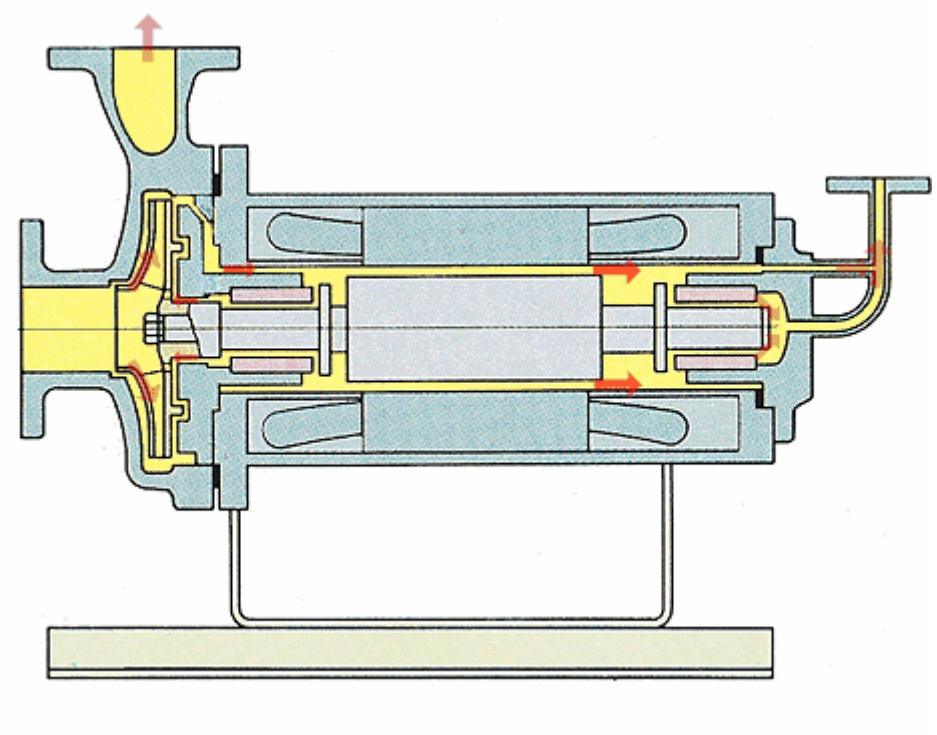
轴流泵输送液体不是依靠叶轮对液体的离心力，而是利用旋转叶轮叶片的推力使被输送的液体沿泵轴方向流动。当泵轴由电动机带动旋转后，由于叶片与泵轴轴线有一定的螺旋角，所以对液体产生推力(或叫升力)，将液体推出从而沿排出管排出。



轴流泵示意图

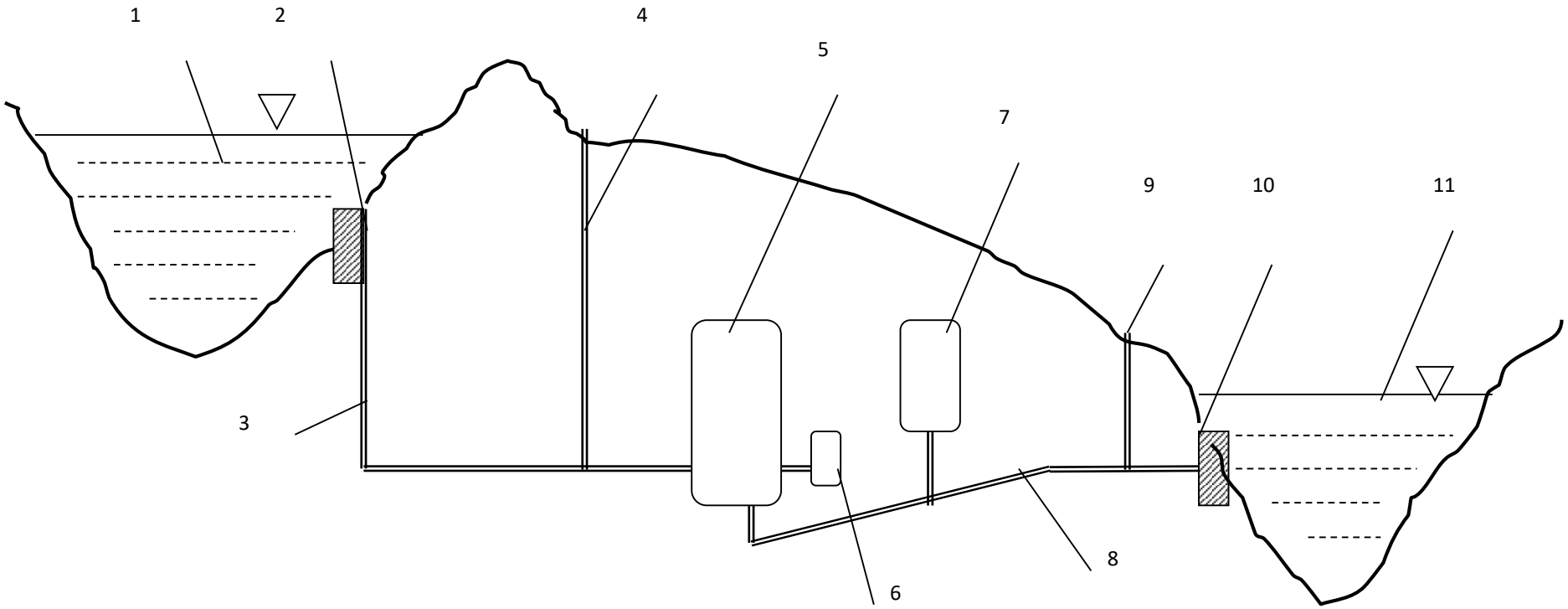
混流泵

混流泵的使用性能也是介乎于离心泵和轴流泵之间，它和离心泵比较，扬程低一些，而流量大一些；它与轴流泵比较，扬程高一些，但流量又小一些。



7.1.3 抽水蓄能电站结构组成与特点

抽水蓄能电站的结构组成：

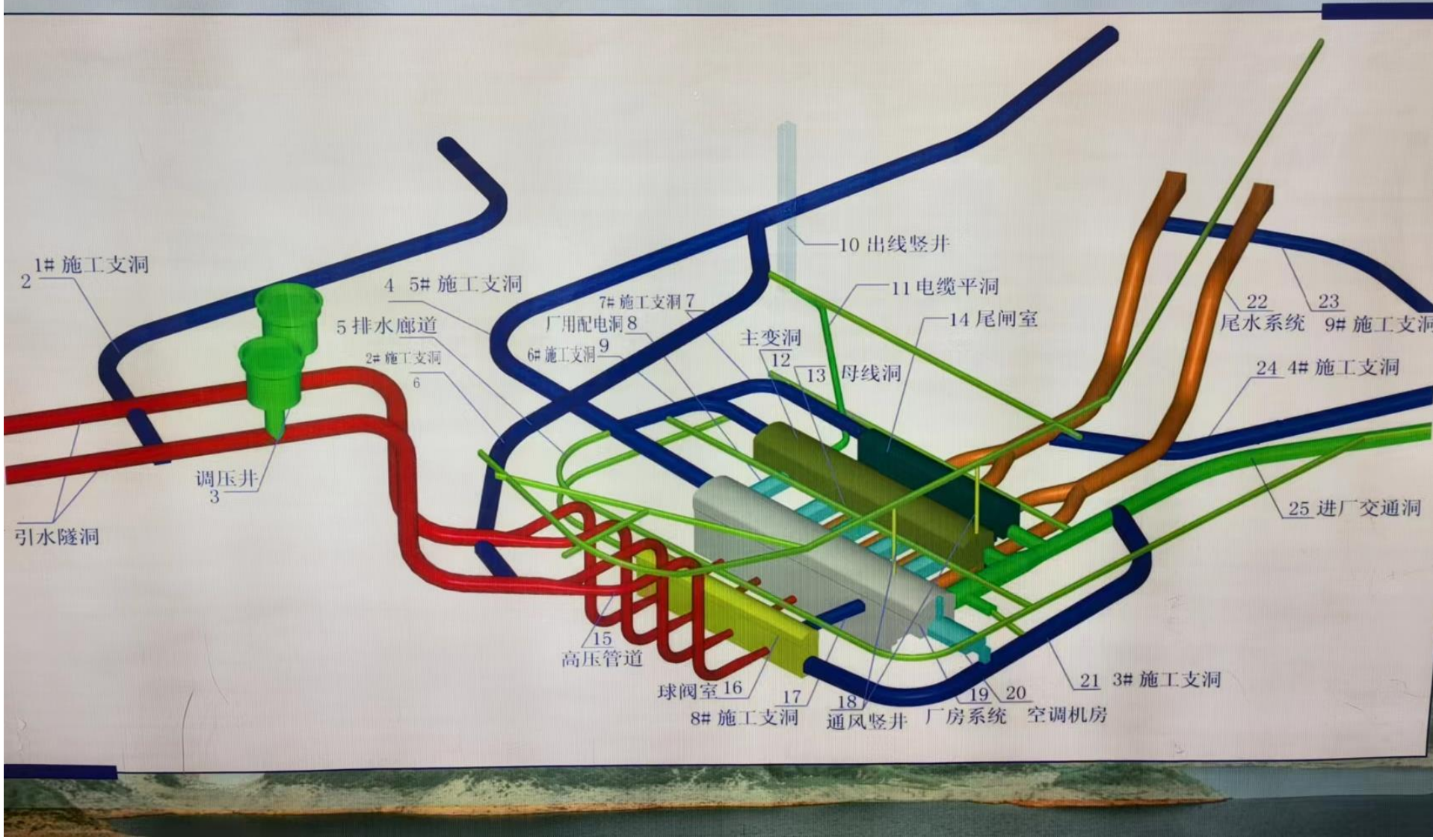


1— 上水库； 2—进（出）水口； 3—输水道； 4—输水道调压井； 5—厂房； 6—主变洞；
7—尾闸室； 8—尾水道； 9—尾水调压室； 10—出（进）水口； 11—下水库

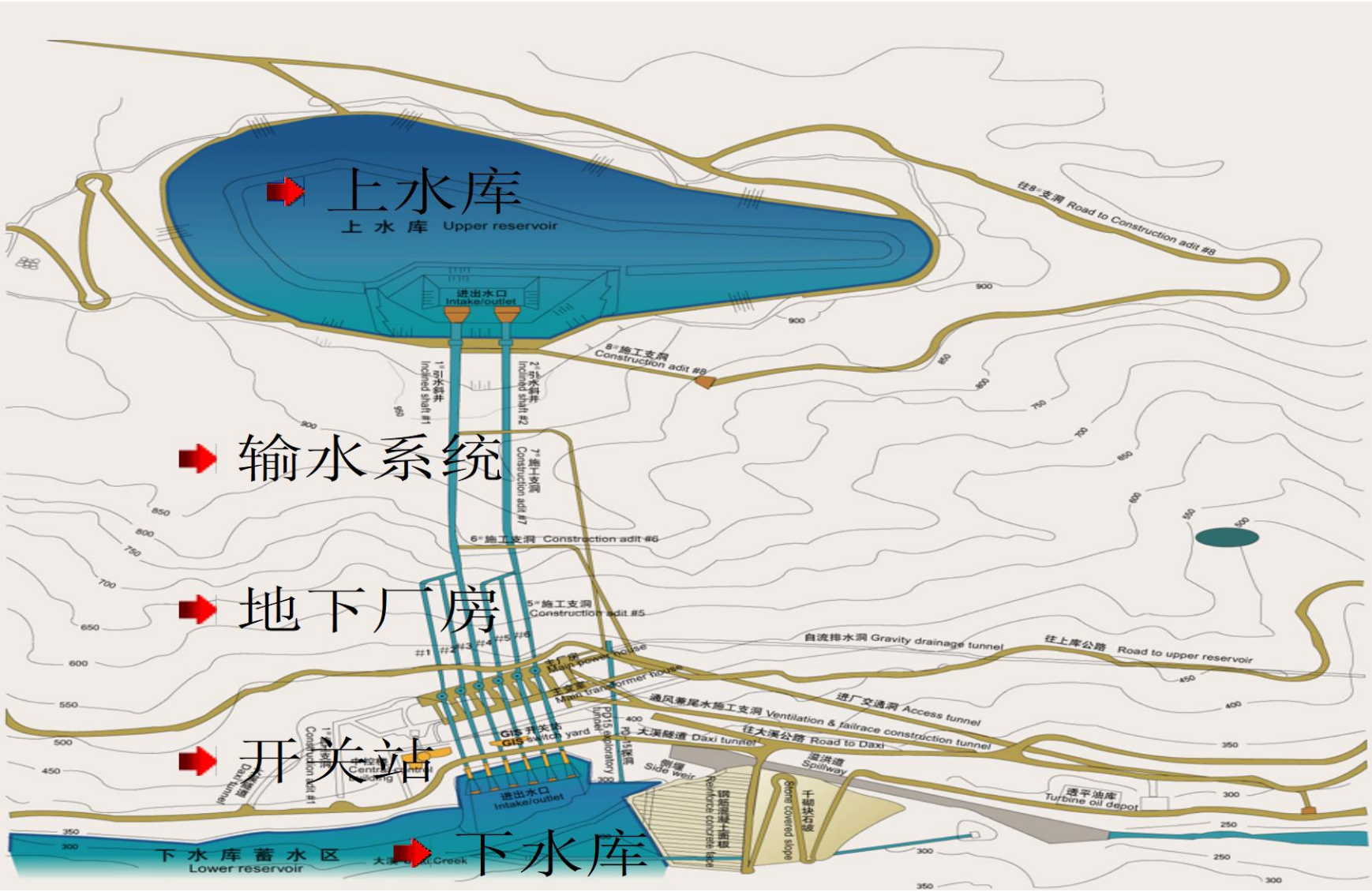
白莲河抽水蓄能有限公司

HE PUMPED STORAGE CO.,LTD.

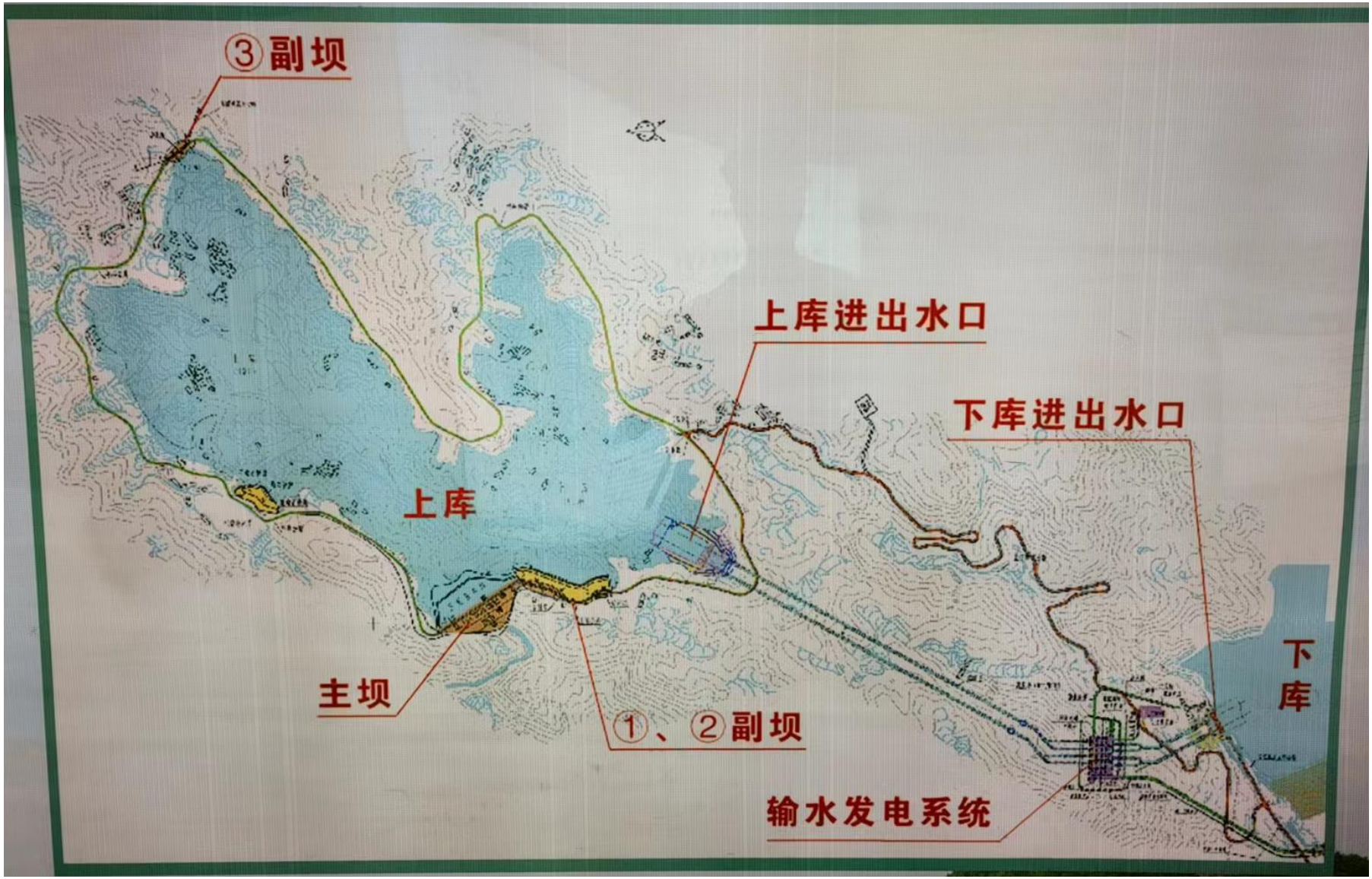
UNDERGROUND C



抽水蓄能电站枢纽布置


上水库
上 水 库 Upper reservoir
输水系统
地下厂房
开关站
下水库
下 水 库 蓄 水 区
Lower reservoir
进出水口
Intake/outlet
往8#支洞 Road to Construction adit #8
8#施工支洞
Construction adit #8
1#引水斜井
Inclined shaft #1
2#引水斜井
Inclined shaft #2
7#施工支洞
Construction adit #7
6#施工支洞 Construction adit #6
5#施工支洞
Construction adit #5
自流排水洞 Gravity drainage tunnel
往上库公路 Road to upper reservoir
进厂交通洞 Access tunnel
通风兼尾水施工支洞 Ventilation & tailrace construction tunnel
往大溪公路 Road to Daxi
大溪隧道 Daxi tunnel
溢洪道
Spillway
副堰
Side weir
千鹅块石坡
Chute covered slope
透平油库
Turbine Oil depot
GIS 开关站
GIS switch yard
PD15 exploratory tunnel
PD15探洞
1#施工支洞
Construction Adit #1
Dazi tunnel

抽水蓄能电站枢纽布置



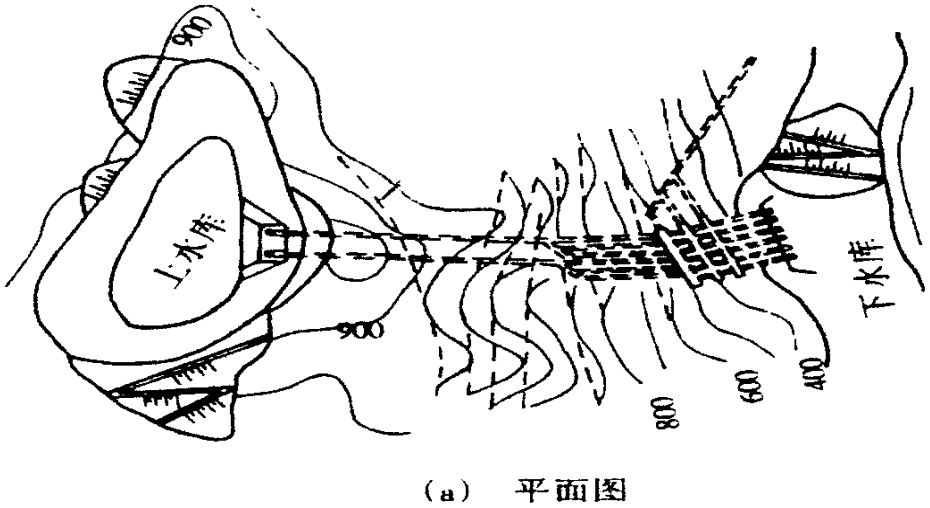


1.上水库。抽水蓄能电站的上水库是蓄存水量的工程设施，电网负荷低谷时段可将抽上来的水储存在库内，负荷高峰时段由水库放下来发电。

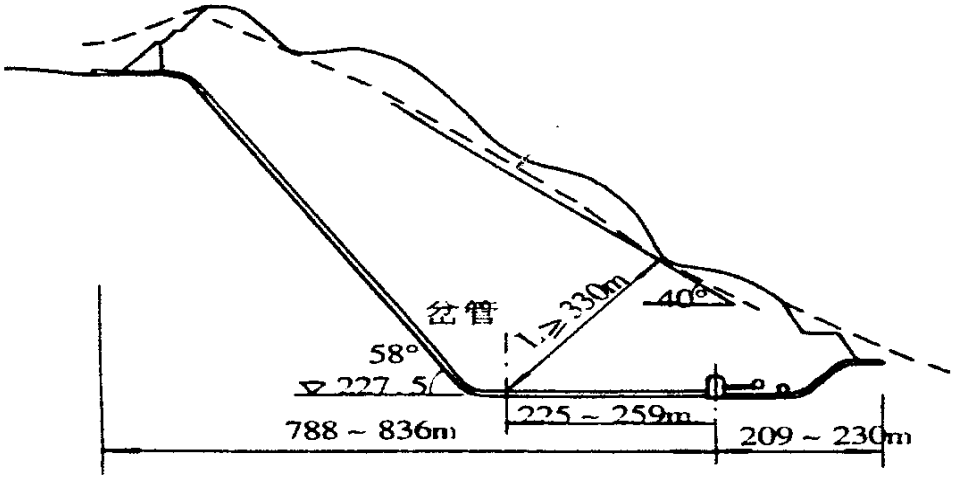




2. **输水系统**。输水系统是输送水量的工程设施，在水泵工况(抽水)把下水库的水量输送到上水库，在水轮机工况(发电)将上水库放出的水量通过厂房输送到下水库。



(a) 平面图



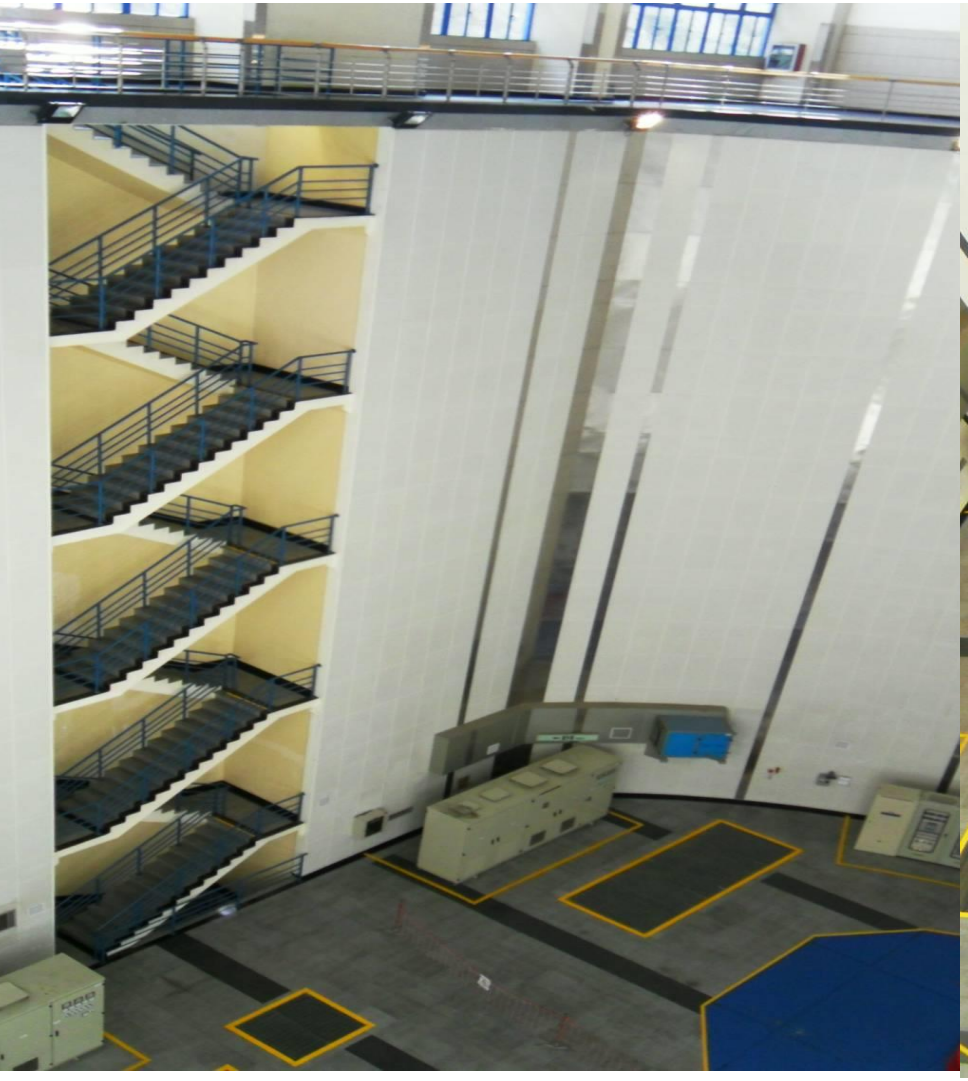
(b) 剖面图

3. 厂房。厂房包括主、副厂房、主变洞、母线洞等洞室。厂房是放置蓄能机组和电气设备等重要机电设备的场所，也是电厂生产的中心。





安徽省滁州琅琊山抽水蓄能电站




做好设备维护保养
2

4. 开关站及出线场。有开关设备，通常还包括母线，但没有电力变压器的变电站。其作用就是分配高、中压电能。





5. 下水库。抽水蓄能电站的下水库也是蓄存水量的工程设施，负荷低谷时段可满足抽水水源的需要，负荷高峰时段可蓄存发电放水的水量。

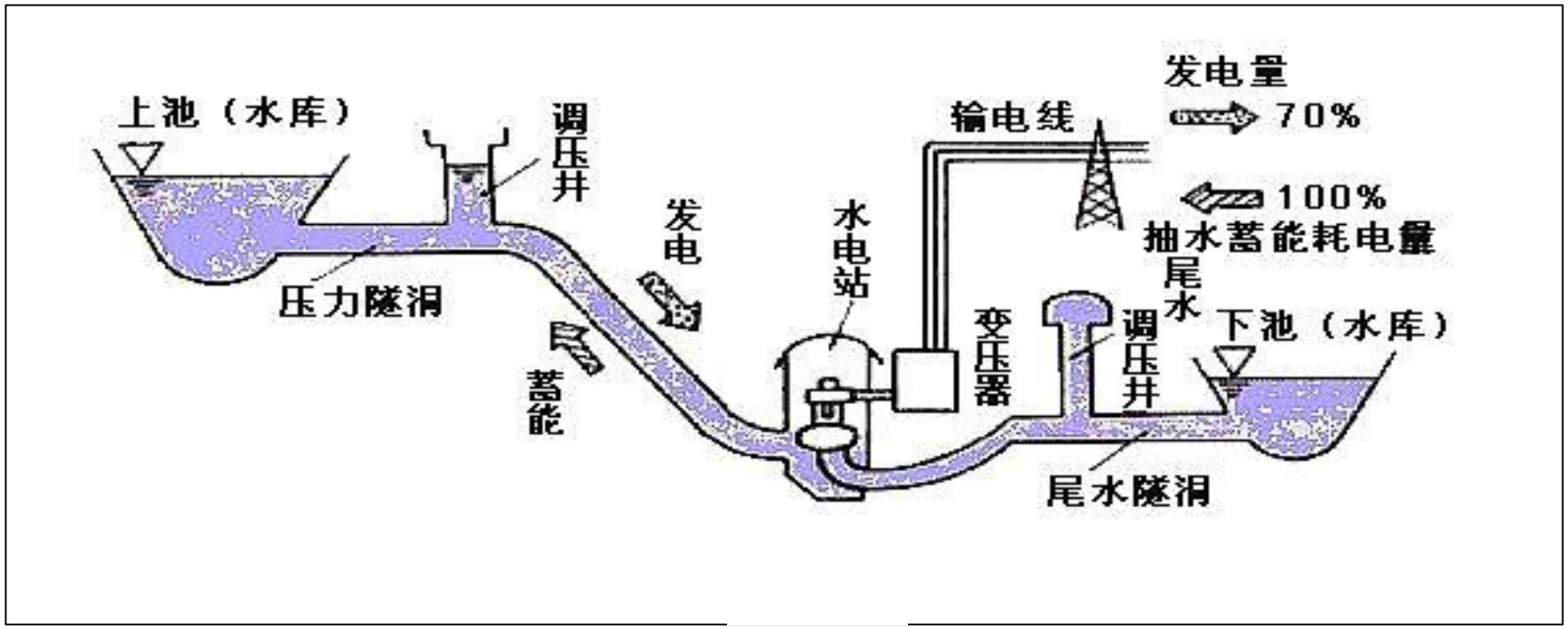




抽水蓄能电站介绍



有可逆式机组的水电站称为抽水蓄能电站。由于可逆式机组的显著特点，在国外已得到广泛应用。抽水蓄能电站有哪些特点？与常规电站有什么不同？



抽水蓄能电站的特点：

1）需要水但基本上不耗水，故其规模不象常规水电那样取决于所在站址的来水流量和落差，而主要取决于上下池容积和落差，更主要的是取决于所在电网可供低谷时抽水的电量。

2）电站型式很多，适应性强，可视情况选定，在山区、江河梯级、平原均可修建抽水蓄能电站 ，关键在于因地制宜择优选择。

抽水蓄能电站和常规水电站的不同：

- 一从电站的枢纽布置来看，抽水蓄能电站有上、下两个水库。常规水电站一般仅有一个水库。

- 二从安装的机组来看，抽水蓄能电站有四机分置式(装有水泵和电动机、水轮机和发电机)、三机串联式(即电动发电机与水轮机、水泵连结在一个直轴上)和二机可逆式(一台水泵水轮机和一台电动发电机联结)。而常规水电站仅装有水轮机和发电机。

- 三从功能来看，从静态功能来看，抽水蓄能电站既能发电调峰，又能抽水填谷，而常规水电站仅能发电调峰；从动态功能来说，抽水蓄能电站和常规水电站均能承担调频、调相和事故备用等任务。但抽水蓄能电站在发电或抽水过程中，均可进行调频、调相。

- 四从投资构成来看，由于大型抽水蓄能电站的机组目前主要依靠国外技术或从国外进口，机电设备价格较高，往往机电设备的投资占总投资的一半或更多；而常规水电站的机组一般国内都能自己制造，机电设备投资大约占总投资的四分之一左右。

- 五从在电网中的地位来看，由于抽水蓄能电站具有多种功能，电网常把它作为综合管理的工具，往往在负荷中心附近寻找有条件的站址建设抽水蓄能电站。常规水电站受自然条件影响更大，在负荷中心附近很难找到可以开发的站址，由于水能资源丰富的地区往往远离负荷中心，电站建成后需远距离输送电能到用电地区。





- 六从设备和运行方面来看

①双向旋转。由于可逆式水泵水轮机作水轮机和水泵运行时的旋转方向是相反的，因此电动发电机也需按双向运转设计。在电气上要求电源相序随发电工况和驱动工况而转换；同时电机本身的通风、冷却系统和轴承结构都应能适应双向旋转工作。

②需有专门启动设施。可逆式电动发电机作电动机运行时，而必须采用专门的启动设备(SFC)，从电网上启动，或采用背靠背方式各台机组间同步启动。

③频繁启停。抽水蓄能电站在电力系统中担任调峰填谷、调频调相及事故备用的作用，一般每天要启停多次。天荒坪抽水蓄能电站每台机组每天启停8—12次，广州蓄能水电厂机组启停则更加频繁。

④保护配置不同。与常规水力机组相比，蓄能机组多了相序监测、低频保护、低功率保护、逆功率保护和低频过流保护等特有的保护。

⑤运行方式不同。常规水电站最主要的功能是发电。蓄能电站不仅可以发电，机组在设计上有更强的调相功能，无论在发电工况或在抽水工况，都可以实现调相运行，并且可以在水轮机和水泵两种旋转方向进行，灵活性更大。此外，蓄能机组如果在抽水时遇电网发生重大事故，则可以由抽水工况快速转换为发电工况，即在一两分钟内，停止抽水并以同样容量转为发电。

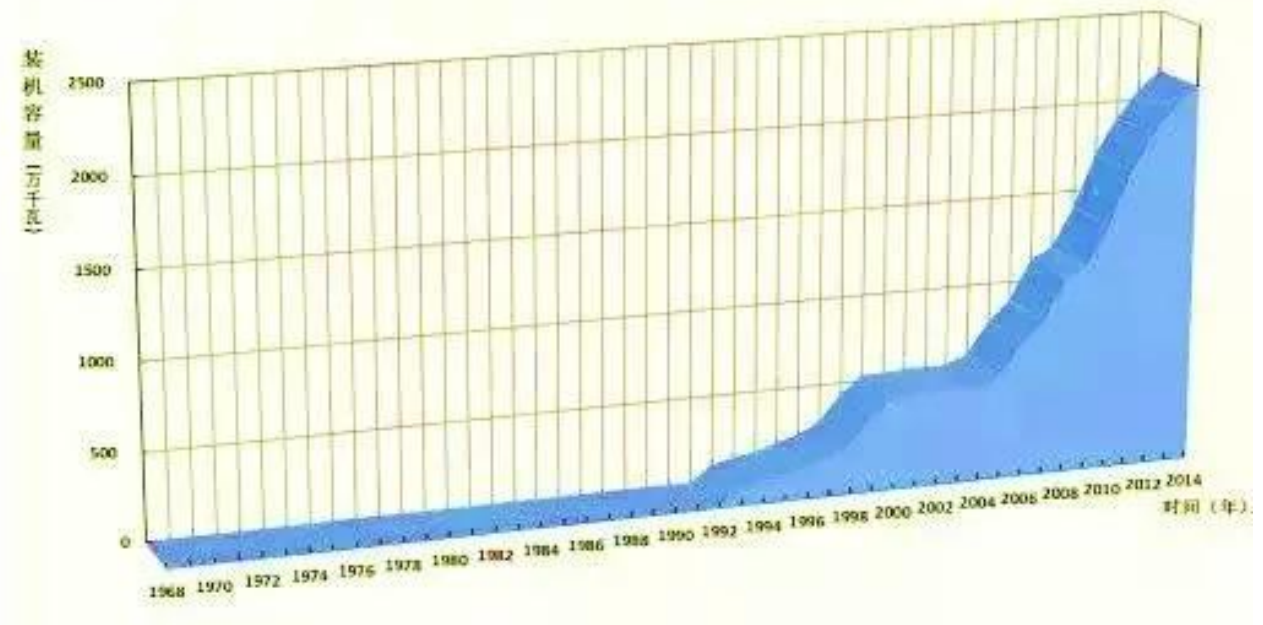
7.1.4 抽水蓄能发展历程与前景

- **1882年首座抽水蓄能电站诞生在瑞士，至今已有百余年历史。世界上最早的抽水蓄能电站建于1882年，是瑞士苏黎世的奈特拉电站，扬程153m，功率515kW，是一座季节型抽水蓄能电站。**



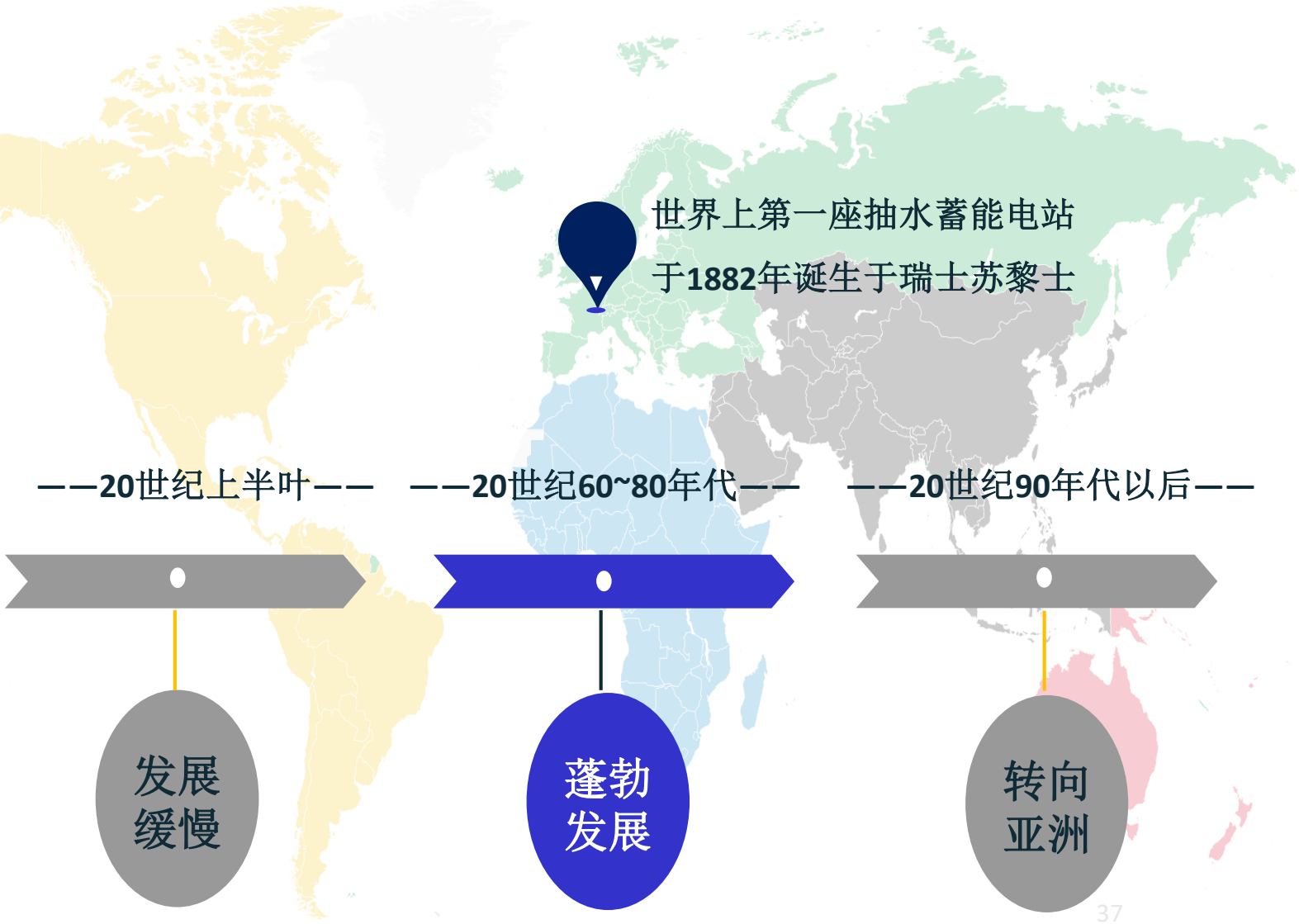


- 抽水蓄能电站在上世纪六十年代后得到迅速发展。据统计，1960年至2000年全世界抽水蓄能电站总装机容量从350万千瓦发展到11328万千瓦，短短40年间增加了32倍，平均年增长9.1%，比常规水电的发展速度快得多。世界上抽水蓄能电站发展最快、装机容量最多的国家是日本，其次是美国、意大利、德国、法国、西班牙等。



- 现阶段，日本、美国和西欧诸国的抽水蓄能电站装机容量占全世界总规模的80%以上。然而，随着可经济开发的常规水能资源逐渐减少、经济发展中心的转移等诸多因素，上世纪90年代以后，抽水蓄能电站的发展重点也由欧美向亚洲转移。

（一）发展历史


世界上第一座抽水蓄能电站
于1882年诞生于瑞士苏黎士
——20世纪上半叶——
——20世纪60~80年代——
——20世纪90年代以后——
发展缓慢
蓬勃发展
转向亚洲

（一）发展历史



——1950s——

至20世纪50年代，西欧各国始终领导着全世界抽水蓄能电站建设的潮流，抽水蓄能电站装机容量一直占全球抽水蓄能电站总装机容量的35%～40%

（一）发展历史



——1970s——

到60年代后期，美国抽水蓄能电站装机容量跃居世界第一，并保持了20多年

（一）发展历史



经济发达国家中至今仍在建设抽水蓄能电站的国家之一

——1990s——

进入90年代后，日本后来居上，超过美国成为抽水蓄能电站装机容量最大的国家，也是经济发达国家中至今仍在建设抽水蓄能电站的国家之一。

（二）发展现状

但是从20世界80年代，由于西方各国经济发展进入平缓区，而亚洲地区的经济则高速增长，电力负荷不断增加，对调峰填谷的要求也不断提高，于是抽水蓄能电站建设的重点开始慢慢转向亚洲。



——目前，全世界在建的抽水蓄能电站主要在亚洲

世界抽水蓄能电站建设中心由西欧将转移到亚洲——

东亚和太平洋		
序号	国家	抽蓄电站（MW）
1	中国	26720
2	日本	27637
3	越南	
4	澳大利亚	1,340
5	韩国	4700
6	马来西亚	
7	新西兰	
8	印度尼西亚	
9	朝鲜	
10	老挝	
11	中国台北	2,602
12	泰国	1000
13	菲律宾	685

北美和中美洲		
序号	国家	抽蓄电站（MW）
1	美国	22441
2	加拿大	177

南美洲		
序号	国家	抽蓄电站（MW）
1	巴西	30
2	委内瑞拉	
3	哥伦比亚	
4	阿根廷	974

欧洲		
序号	国家	抽蓄电站（MW）
1	挪威	1392
2	法国	6985
3	意大利	7555
4	西班牙	3329
5	瑞士	2817
6	瑞典	99
7	奥地利	5200
8	德国	6806
9	乌克兰	1315
10	罗马尼亚	92
11	葡萄牙	1563
12	英国	2744
13	希腊	699
14	芬兰	
15	保加利亚	864
16	塞尔维亚	614
17	格鲁吉亚	
18	斯洛伐克	916
19	波斯尼亚和黑塞哥维那	420
20	波兰	1782
21	捷克共和国	1147
22	克罗地亚	293
23	冰岛	
24	阿尔巴尼亚	
25	拉脱维亚	
26	斯洛文尼亚	180
27	比利时	1307
28	亚美尼亚	
29	卢森堡	1100
30	阿塞拜疆	
31	立陶宛	760
32	马其顿	
33	黑山	
34	爱尔兰	292

非洲		
序号	国家	抽蓄电站（MW）
1	埃塞俄比亚	
2	南非	2912
3	埃及	
4	刚果共和国	
5	赞比亚	
6	苏丹	
7	莫桑比克	
8	尼日利亚	
9	摩洛哥	464

全　球		
序号	区域	抽蓄电站（MW）
1	非洲	3376
2	东亚和太平洋	64684
3	欧洲	50271
4	北美和中美洲	22618
5	南亚和中亚	7451
6	南美洲	1004
	全球合计	149404

2016年全球抽水蓄能电站建成情况

—资料摘自IHA

（三）我国建设历史

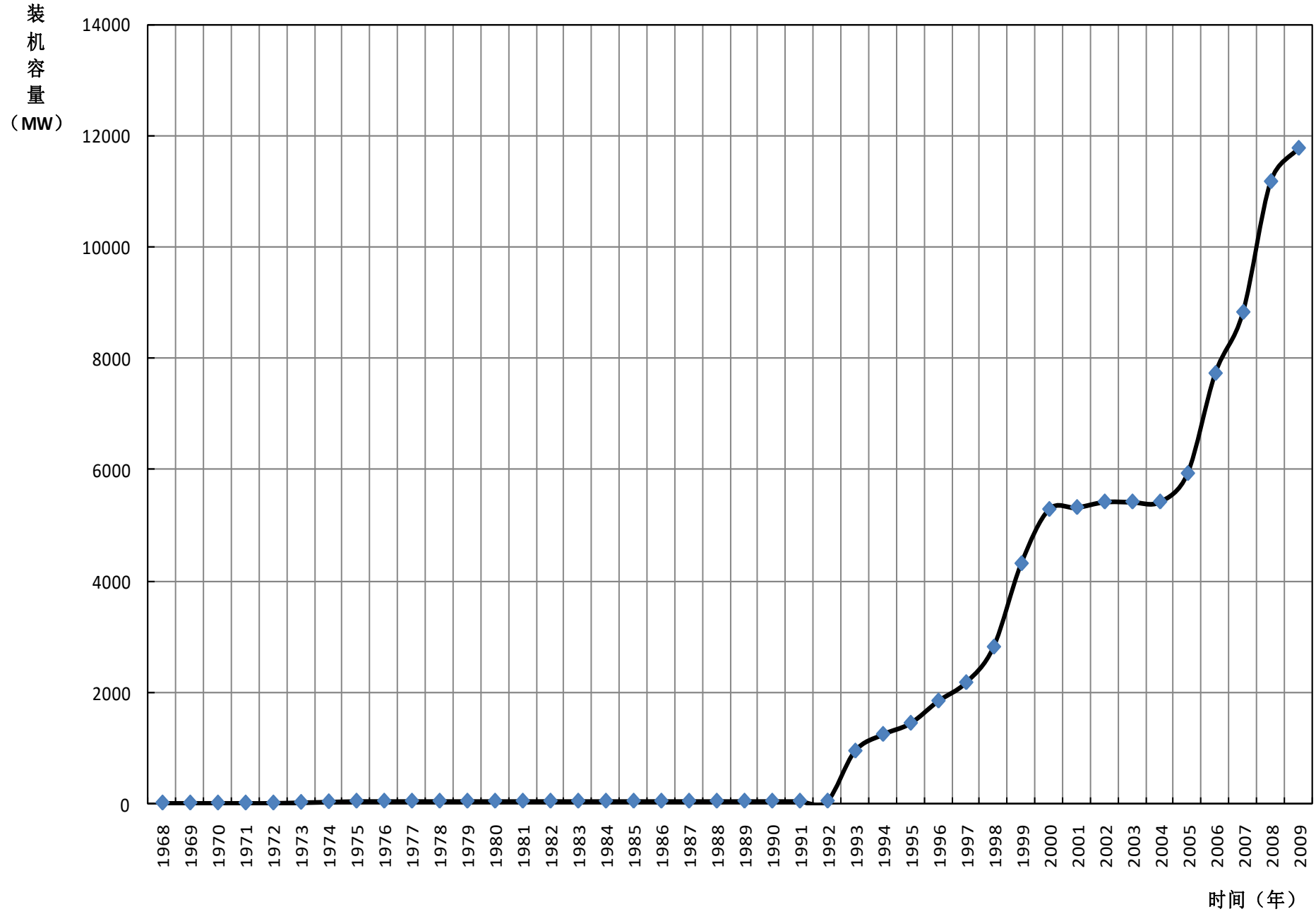
- 我国1968年和1973年才分别在河北岗南和北京密云两座常规水电站上安装了1.1万千瓦和2.2万千瓦抽水蓄能机组。由于初期对抽水蓄能电站在电力系统中的作用和经济效益认识不够，我国抽水蓄能电站的发展较慢。从1968年建成岗南小型混合式抽水蓄能电站开始，至今仅50余年，与世界抽水蓄能电站发展的140年相比起步较晚。



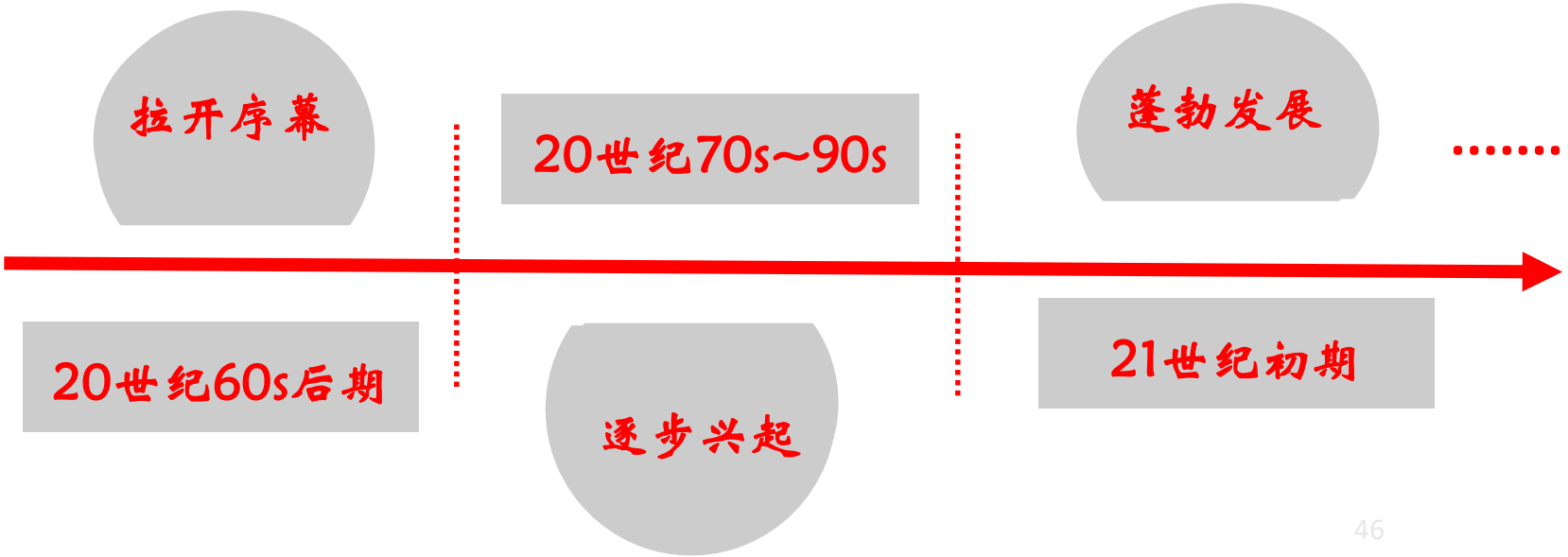


- 20世纪80年代中期以后，随着社会经济的发展和电网规模的扩大，电网峰谷差不断加大，电网调峰矛盾日益突出。特别是以火电为主的华北、华东电网，随着大容量火电机组的投入，电网供需矛盾逐步由缺电量转为缺调峰容量，且受地区资源的限制，可供开发的水电站很少，电网缺乏调峰手段，因此，建设抽水蓄能电站解决以火电为主的电网调峰问题逐步成为共识。
- 为此，国家有关部门组织开展了较大范围的抽水蓄能电站资源普查和规划选点，制定了相应的发展规划，抽水蓄能电站的建设开始加快。

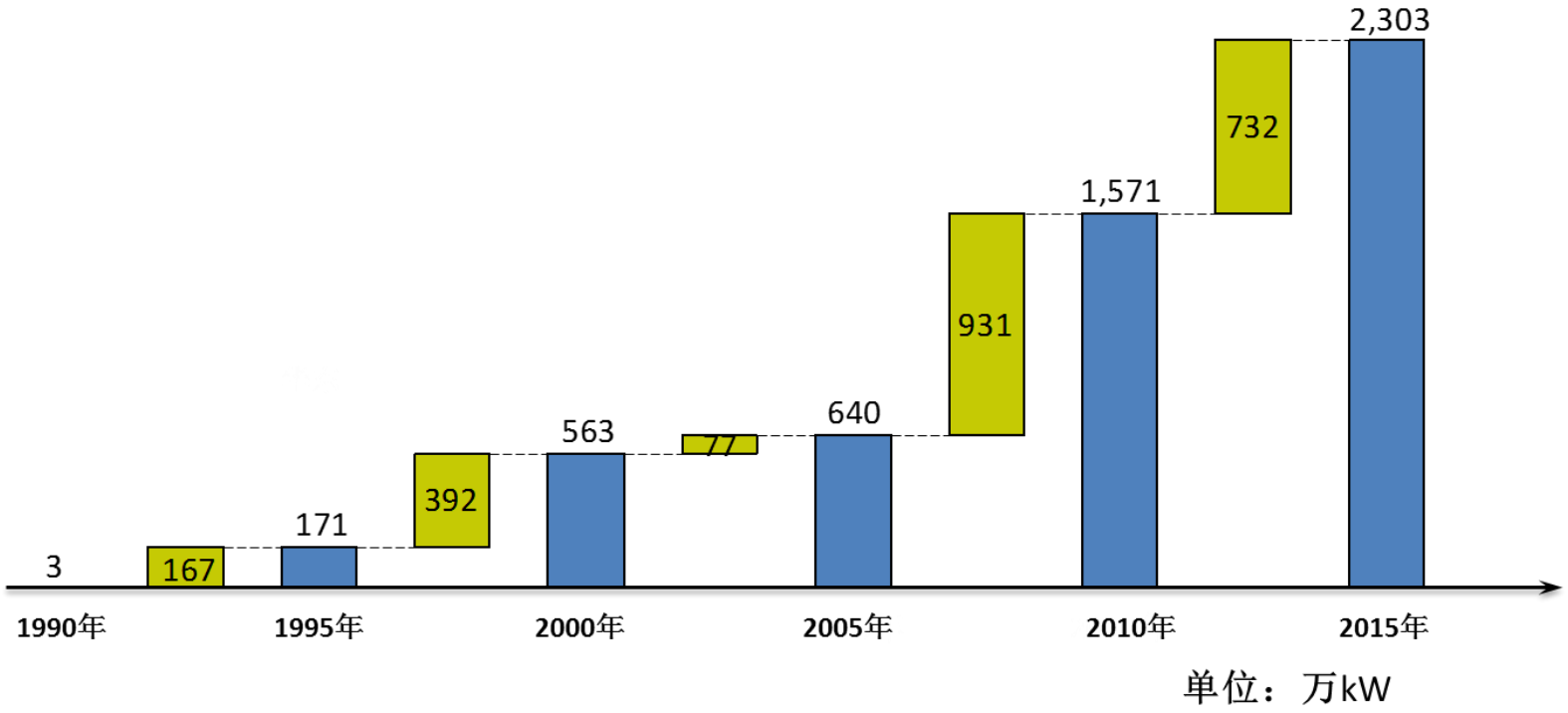
图1.1-1　　我国抽水蓄能电站发展历程



我国抽水蓄能电站的发展始于20世纪60年代后期：于1968年建成了岗南抽水蓄能电站，装机容量为1.1万千瓦。1988年广州抽水蓄能电站开工，1992年北京十三陵、浙江天荒坪抽水蓄能电站开工，标志着我国大型抽水蓄能电站建设正式拉开序幕。新世纪以来抽水蓄能电站进入加快发展时期。



至2015年底，已建成大中型抽水蓄能电站25座，装机容量2303万kW；在建大型抽水蓄能电站20座，在建规模2622万kW。



截止到2016年底，我国抽水蓄能电站已建抽水蓄能电站总装机容量2669万千瓦，华北、华东、华中、东北、南方、西藏区域电网装机规模分别为547万kW、976万kW、379万kW、150万kW、608万kW、9万kW，华东区域电网抽水蓄能装机规模最大，其次是华北和南方区域电网。

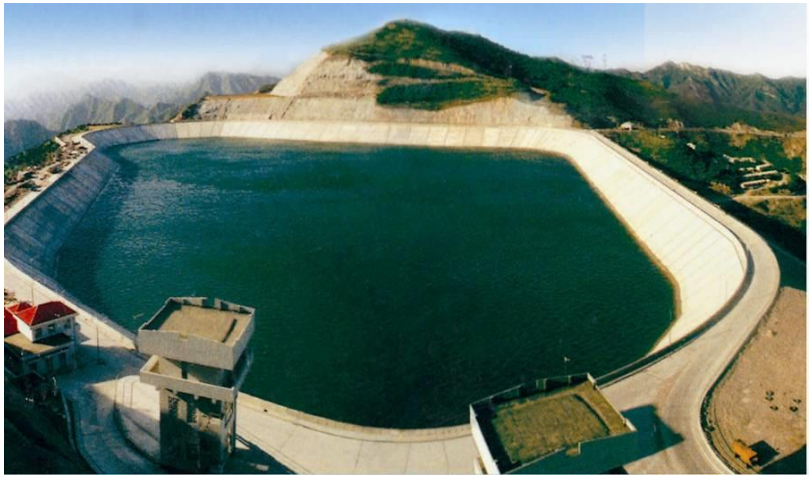


截止到2016年底，我国抽水蓄能电站在建总规模为3211万千瓦，华北、东北、华东、西北、华中、南方区域电网装机规模分别为660万千瓦、440万千瓦、1191万千瓦、260万千瓦、240万千瓦、420万千瓦，华东电网在建规模最大，其次为华北电网。

序号	区域电网	省（区、市）	电站名称	装机容量（万kW）	机组构成	主要投资方	核准年度
1	华北	河北	丰宁一期	180	6×30	国网公司	2012
2			丰宁二期	180	6×30	国网公司	2015
3		山东	文 登	180	6×30	国网公司	2014
4			沂 蒙	120	4×30	国网公司	2014
5	东北	黑龙江	荒 沟	120	4×30	国网公司	2012
6		吉林	敦 化	140	4×35	国网公司	2012
7		辽宁	清 原	180	6×30	国网公司	2016
8	华东	浙江	长龙山	210	6×35	三峡集团	2015
9		江苏	溧 阳	150	6×25	江苏省国信资产管理集团有限公司	2008
10		江苏	句 容	135	6×22.5	国网公司	2016
11		安徽	佛子岭	16	2×8	安徽省霍山郑家湾水电有限公司	2009
12			绩 溪	180	6×30	国网公司	2012
13			金 寨	120	4×30	国网公司	2014
14		福建	厦 门	140	4×35	国网公司	2016
15			永 泰	120	4×30	福建永泰闽投抽水蓄能有限公司	2016
16			周 宁	120	4×30	华电集团	2016
17	西北	陕西	镇 安	140	4×35	国网公司	2016
18		新疆	阜 康	120	4×30	国网公司	2016
20	华中	重庆	蟠 龙	120	4×30	国网公司	2014
21		河南	天 池	120	4×30	国网公司	2014
23	南方	广东	深 圳	120	4×30	南网公司	2011
24			梅州一期	120	4×30	南网公司	2015
25			阳江一期	120	3×40	南网公司	2015
26		海南	琼 中	60	3×20	南网公司	2013
总 计				3211			

北京十三陵抽水蓄能电站：





十三陵抽水蓄能电站利用已建十三陵水库为下库，在蟒山山顶修建上库，上下库落差 430m。电厂安装4台20万kW混流可逆式水泵／水轮机、电动／发电机组，总装机容量80万kW。



天荒坪抽水蓄能电站：

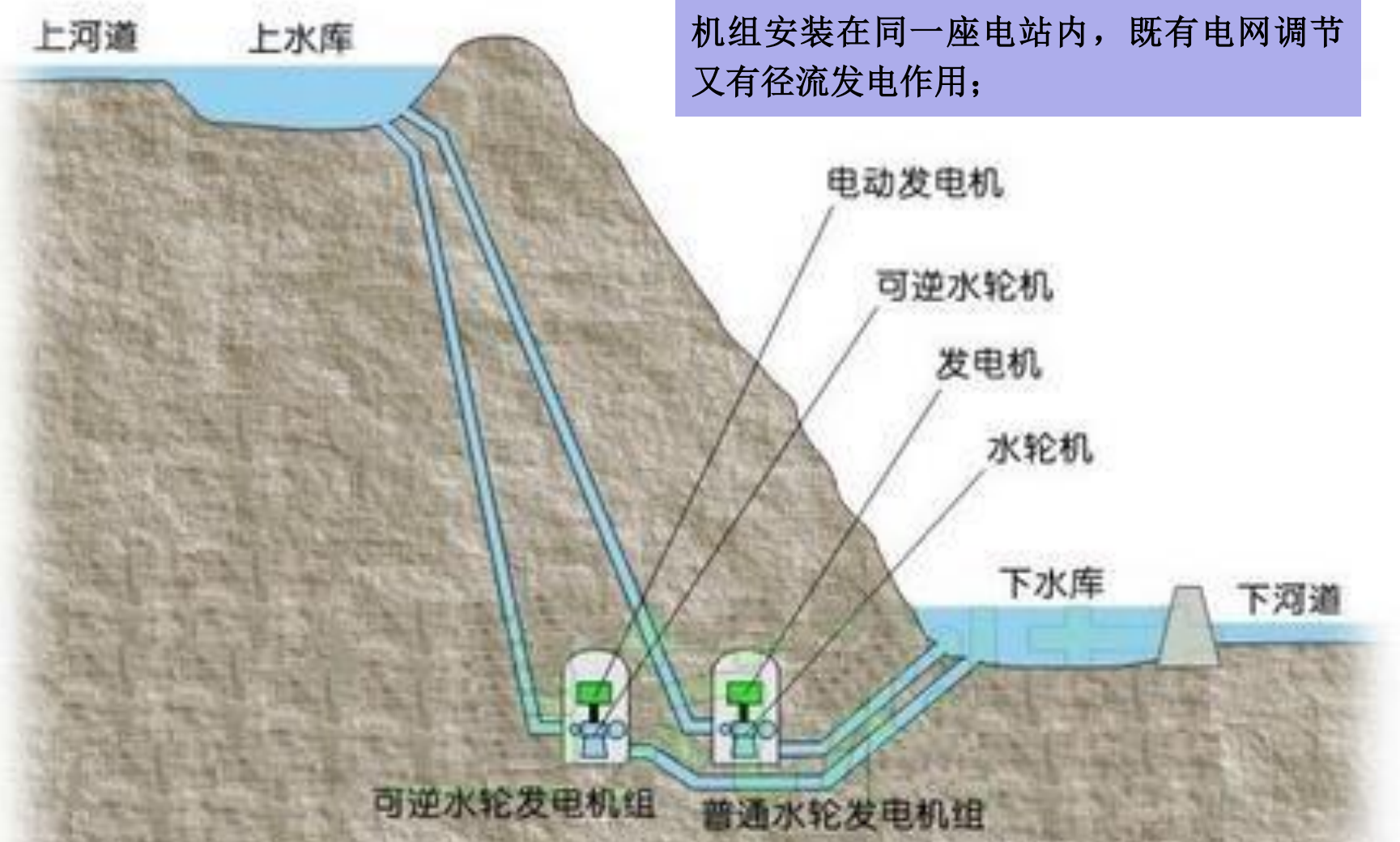




天荒坪抽水蓄能电站位于浙江省安吉县境内，距上海175km、南京180km、杭州57km，接近华东电网负荷中心。电站安装6台30万kW机组，总装机容量180万kW，年发电量31.6亿kW·h，抽水电量(填谷电量)42.86亿kW·h，为日调节的纯抽水蓄能电站。（31.6 / 42.86 =0.737）

①纯抽水蓄能电站：专为电网调节修建的，与径流发电无关；

②混合式抽水蓄能电站：抽水机组与常规机组安装在同一座电站内，既有电网调节又有径流发电作用；



混合式抽水蓄能电站

电力专家联盟

广州抽水蓄能电站：





广州抽水蓄能电站，距广州市90km。地下厂房装有8台单机容量为30万千瓦的可逆式水泵水轮发电机组，总装机容量240万千瓦。它是大亚湾核电站的配套工程，为保证大亚湾电站的安全经济运行和满足广东电网填谷调峰的需要而兴建。

丰宁抽水蓄能电站：



丰宁抽水蓄能电站位于河北省丰宁满族自治县境内，南距北京市180千米，东南距承德市170千米，规划装机容量360万千瓦。电站分两期开发，一期装机规模180万千瓦。电站上水库库容5800万立方米，下水库库容6070万立方米。电站建成后，对京津唐电网可发挥周调节作用。

（四）我国发展前景

电网区域	2015年装机规模（万kW）	2020年		“十三五”投产规模（万kW）	“十三五”开工规模（万kW）
		装机规模（万kW）	占全国比例（%）		
华北	547	847	21.4	300	1200
华东	706	1276	32.3	570	1600
华中	379	679	17.2	300	1300
东北	150	350	8.9	200	1000
西北	-	-	-	-	600
南方	512	788	20.0	276	300
西藏	9	9	0.2	-	-
合计	2303	3949	100.0	1646	6000



“十三五”期间，开工建设抽水蓄能电站约6000万kW，投产抽水蓄能电站1700万kW。规划2020年建成抽水蓄能电站总装机容量4000万kW，2025年建成总装机容量装机约9000万kW。

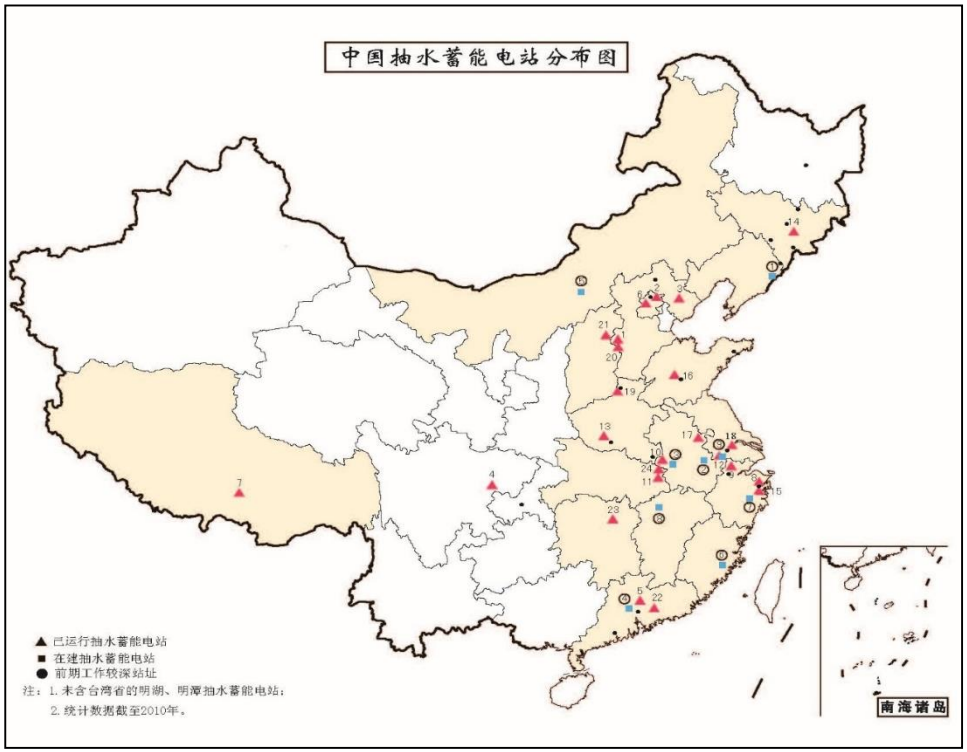
（五）发展水平

- 截止2016年底，装机容量最大的是在建的河北丰宁抽水蓄能电站，装机容量3600MW（已建的是广东广州抽水蓄能电站和广东惠州抽水蓄能电站，装机容量均为2400MW）；
- 单机容量最大的是在建的广东阳江抽水蓄能电站，单机容量400MW（已建的是浙江仙居抽水蓄能电站，单机容量375MW）；
- 水头最高的是在建的浙江长龙山抽水蓄能电站，机组发电额定水头710m（已建的是山西西龙池抽水蓄能电站，机组发电额定水头624m）。

对比国外：

- 装机容量最大和单机容量最大的是美国巴斯康蒂抽水蓄能电站，装机容量3003MW，单机容量500.5MW，已建。
- 水头最高：日本葛野川抽水蓄能电站，机组发电额定水头714m，已建。

- 中国抽水蓄能电站建设虽然起步较晚，但有以往大规模常规水电建设所积累的经验，加上近十几年来引进的国外先进技术和管理经验，使中国抽水蓄能电站有较高的起点。在设计、建设、运行等方面积累大量成功经验，总规模和各项单项指标均位于世界前列。



目前,全国水利水电和电力建设形势对抽水蓄能的发展非常有利,主要表现在以下几方面:

1)各地区和各流域,常规水电发展很不平衡,部分地区水能资源储量贫乏或已开发殆尽,不得不发展抽水蓄能以补水电所占电网中比重不足,如华北、东北、及东南沿海地区。

2)部分地区水电比重虽不低,但多径流水电。如四川、湖南、江西、湖北，亦需建抽水蓄能电站。

3)我国煤炭资源不均衡，运煤困难，发展坑口电站，相应带来北电南送。目前我国西部大开发在即，而水电西南西北多，又将实现西电东送。随着三峡建成,我国东西南北输电网形成。这些输送电对平衡全国各地区电力有好处，但这也增大了系统发生事故的风险和强度，增建一些配套的抽水蓄能电站势在必行。

4)我国风电、核电已在浙江、广东投入运行并将在江苏、山东兴起,也需相应配套增建抽水蓄能电站。





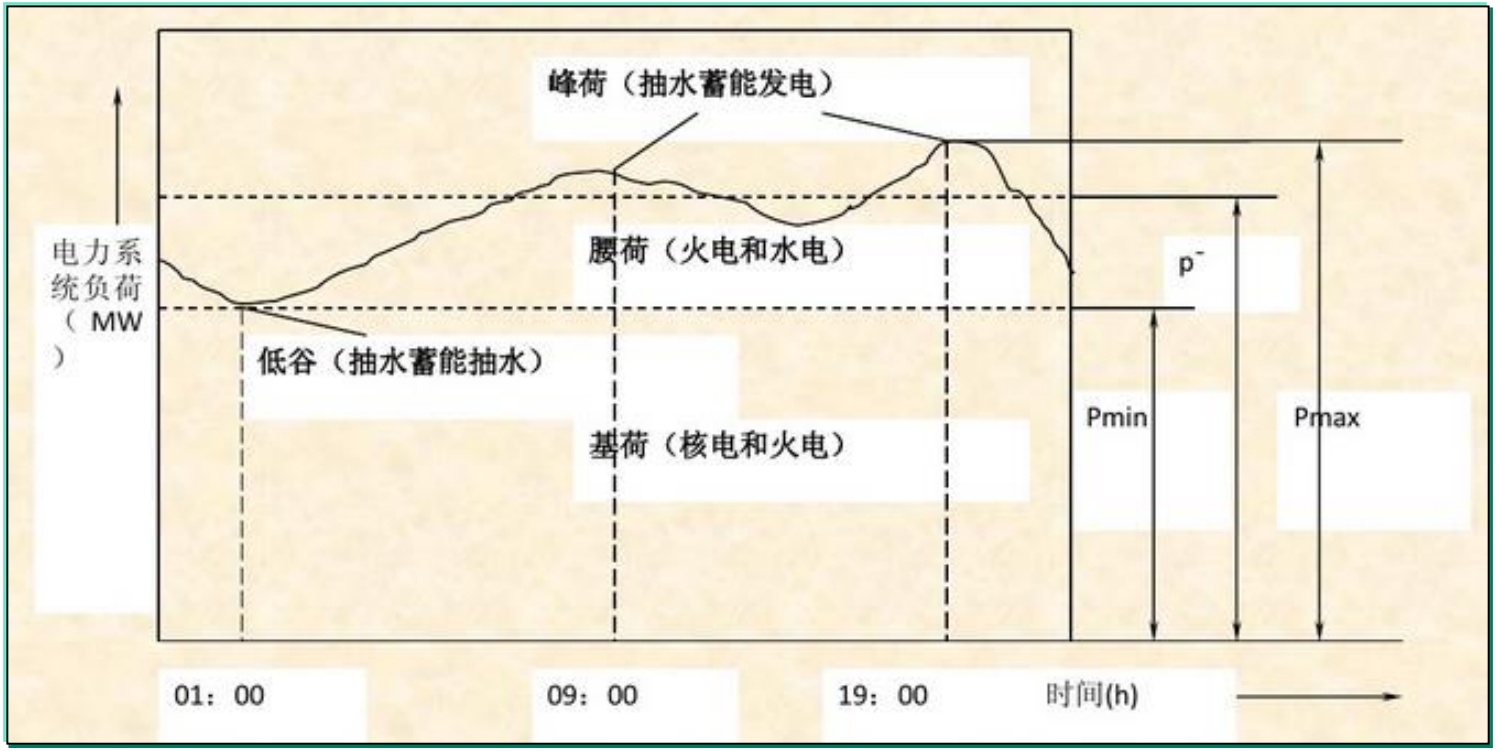
抽水蓄能电站---宣传片



7.1.5 抽水蓄能电站作用

- 调峰填谷
- 调频调相
- 事故备用
- 提高水（火、核）电站的综合利用率
- 降低系统的能耗
- 提高电力系统的灵活性和可靠性

调峰填谷



(1) 发电功能

常规水电站最主要的功能是发电，即向电力系统提供电能，通常的年利用时数较高，一般情况下为3000－5000h。蓄能电站本身不能向电力系统供应电能，它只是将系统中其他电站的低谷电能和多余电能，通过抽水将水流的机械能变为势能，存蓄于上水库中，待到电网需要时放水发电。蓄能机组发电的年利用时数一般在800～1000h之间。蓄能电站的作用是实现电能在时间上的转换。经过抽水和发电两种环节，它的综合效率为75%左右。

(2) 调峰功能

具有日调节以上功能的常规水电站，通常在夜间负荷低谷时不发电，而将水量储存于水库中，待尖峰负荷时集中发电，即通常所谓带尖峰运行。而蓄能电站是利用夜间低谷时其他电源(包括火电站、核电站和水电站)的多余电能，抽水至上水库储存起来，待尖峰负荷时发电。

因此，蓄能电站抽水时相当于一个用电大户，其作用是把日负荷曲线的低谷填平了，即实现“填谷”。“填谷”的作用使火电出力平衡，可降低煤耗，从而获得节煤效益。此外，蓄能电站同时可以使径流式水电站原来要弃水的电能得到利用。

(3) 调频功能

调频功能又称旋转备用或负荷自动跟随功能。常规水电站和蓄能电站都有调频功能，但在负荷跟踪速度(爬坡速度)和调频容量变化幅度上蓄能电站更为有利。

常规水电站自启动到满载一般需数分钟。而抽水蓄能机组在设计上就考虑了快速起动和快速负荷跟踪的能力。现代大型蓄能机组可以在一两分钟之内从静止达到满载，增加出力的速度可达每秒1万kW，并能频繁转换工况。最突出的例子是英国的迪诺威克蓄能电站，其6台300MW 机组设计能力为每天起动3～6 次；每天工况转换40次；6 台机处于旋转备用时可在10s达到全厂出力1320MW。

(4) 调相功能

调相运行的目的是为稳定电网电压，包括发出无功的调相运行方式和吸收无功的进相运行方式。常规水电机组的发电机功率因数为0.85～0.9，机组可以降低功率因数运行，多发无功，实现调相功能。抽水蓄能机组在设计上有更强的调相功能，无论在发电工况或在抽水工况，都可以实现调相和进相运行，并且可以在水轮机和水泵两种旋转方向进行，故其灵活性更大。另外，蓄能电站通常比常规水电站更靠近负荷中心，故其对稳定系统电压的作用要比常规水电机组更好。

(5) 事故备用功能

有较大库容的常规水电站都有事故备用功能。抽水蓄能电站也一样。

(6) 黑启动功能

黑启动是指出现系统解列事故后，要求机组在无电源的情况下迅速起动。





7.2　可逆式机组的特点

为了适应变速、正反转和一日多次起动的需要，可逆式机组具有以下几个（定转子换极、中心支撑、减载装置）特点：

1、 定子、转子换极

为了提高抽水压力和效率，在作水泵运行时，应使它的转速略高于发电工况时的转速。

发电机转速

$$n = \frac{60f}{p}$$

式中 n 为发电机的转速 $(r/\min)$ ； f 为额定频率 (Hz) ； p 为极对数。

通过上式可知，当频率不变时，要改变转速则必须改变极对数。若在发电工况下以12对磁极250r/min运行，在电动机工况下可按11对磁极273r/min运行。

* 磁极对数与同步转速系列

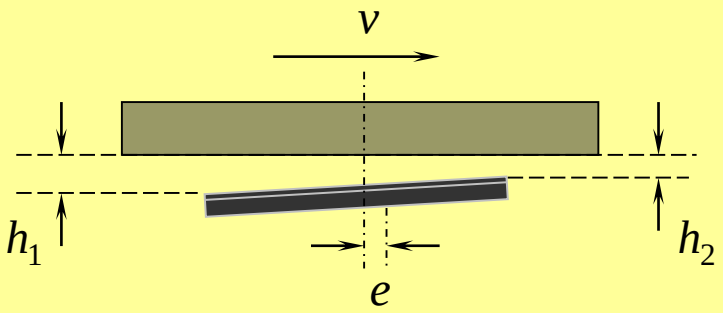
磁极对数 P	3	4	5	6	7	8	9	10	12
同步转速n(r/min)	1000	750	600	500	428.6	375	333.3	300	250

磁极对数 P	14	16	18	20	22	24	26	28	30
同步转速n(r/min)	214.3	187.5	166.7	150	136.4	125	115.4	107.1	100

磁极对数 P	32	34	36	38	40	42	44	48	50
同步转速n(r/min)	93.8	88.2	83.3	79	75	71.4	68.2	62.6	60

2、推力瓦的中心支撑方式

普通水轮发电机组都是单向运转的。为使推力瓦在运行中形成楔形油膜，通常将轴瓦的支撑中心偏离轴瓦几何中心某一个e值。

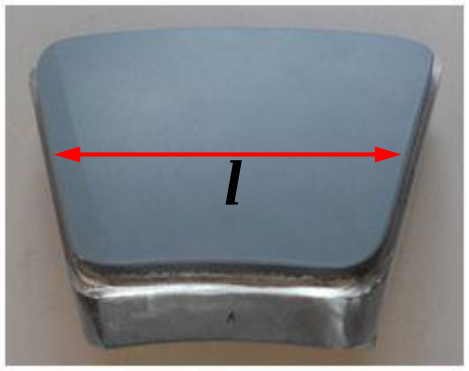


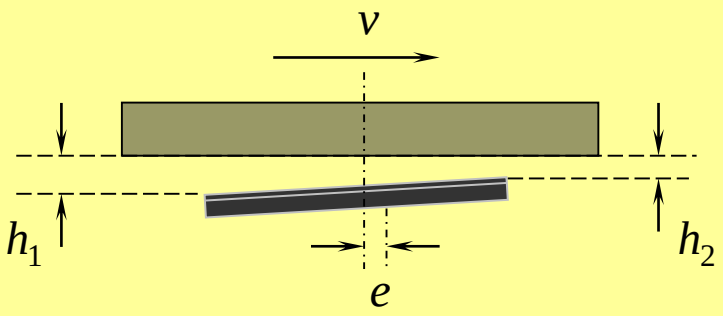
$$e=\varepsilon l$$

式中　ε——偏心率，约为5%

l——推力瓦平均宽度

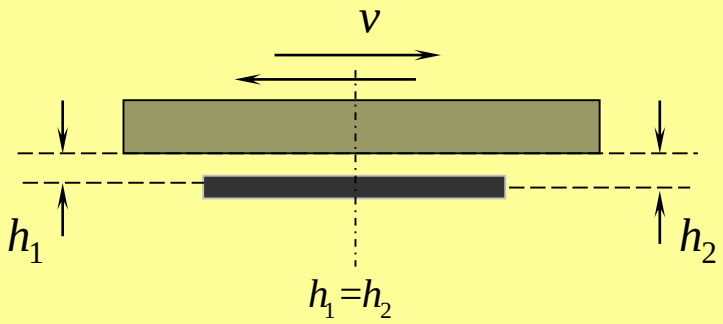




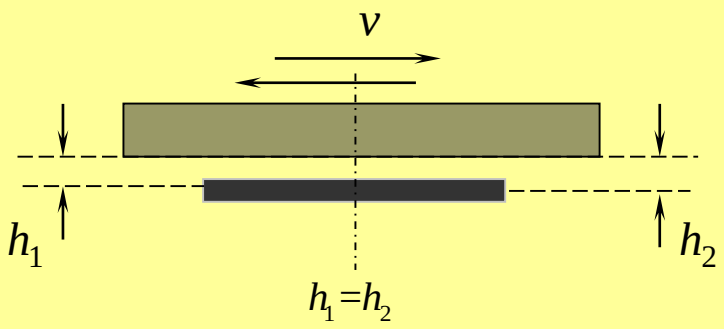


由于偏心e的存在，有利于推力瓦单向运转的润滑和冷却。但是，在逆运转时偏心却会对楔形油膜起破坏作用。

因此，可逆式机组的轴瓦必须取消偏心，以适应双向运行的需要：

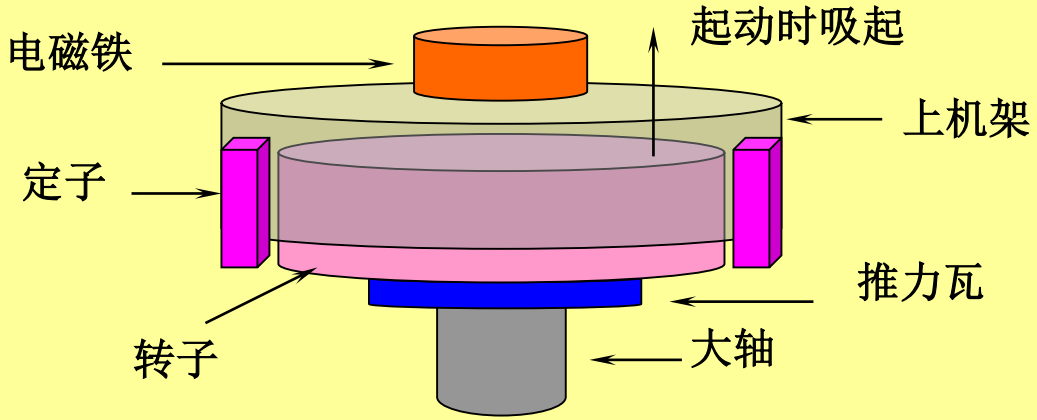


取消偏心后，油膜厚度和润滑效果没有偏心支撑时好，这时推力瓦的单位压力选择应比通常小一些，以弥补上述的不足。此时，为减少起动时推力瓦的摩擦损失常需要采取轴承减载措施（与高压油顶起装置作用类似）。



3、推力轴承减载装置

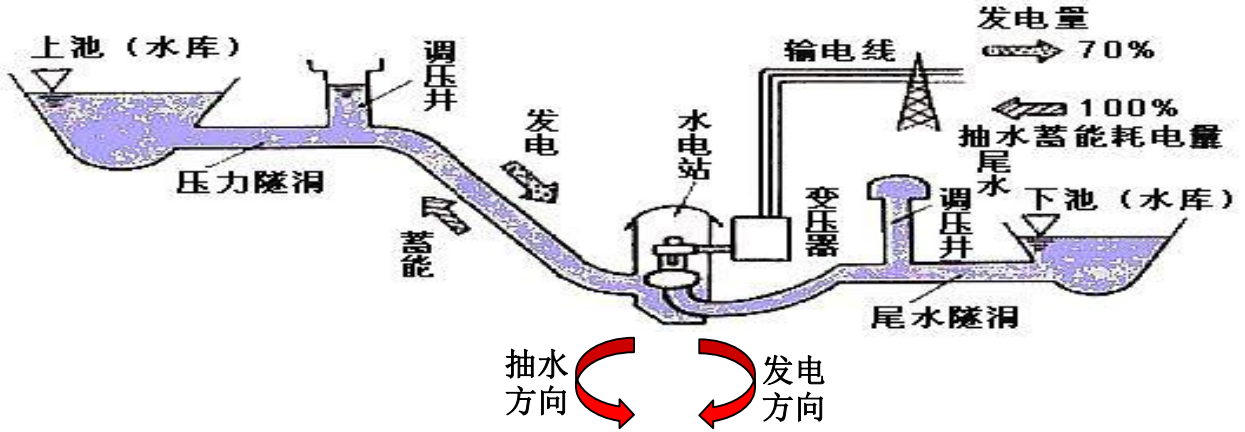
为了降低异步启动力矩（减小起动电流对电网的冲击），减少起动时推力瓦的摩擦（加快起动速度），常常在起动过程中采取降低推力瓦压力的措施。即在机组上部机架中心体上特制一个电磁铁，起动时在电磁铁中通以励磁电流使其产生强大的电磁吸引力，把转子大部分重量吸附到上机架上，使推力瓦受力减轻95%左右，以达到降低启动力矩的目的（重量减轻、摩擦力减小）。

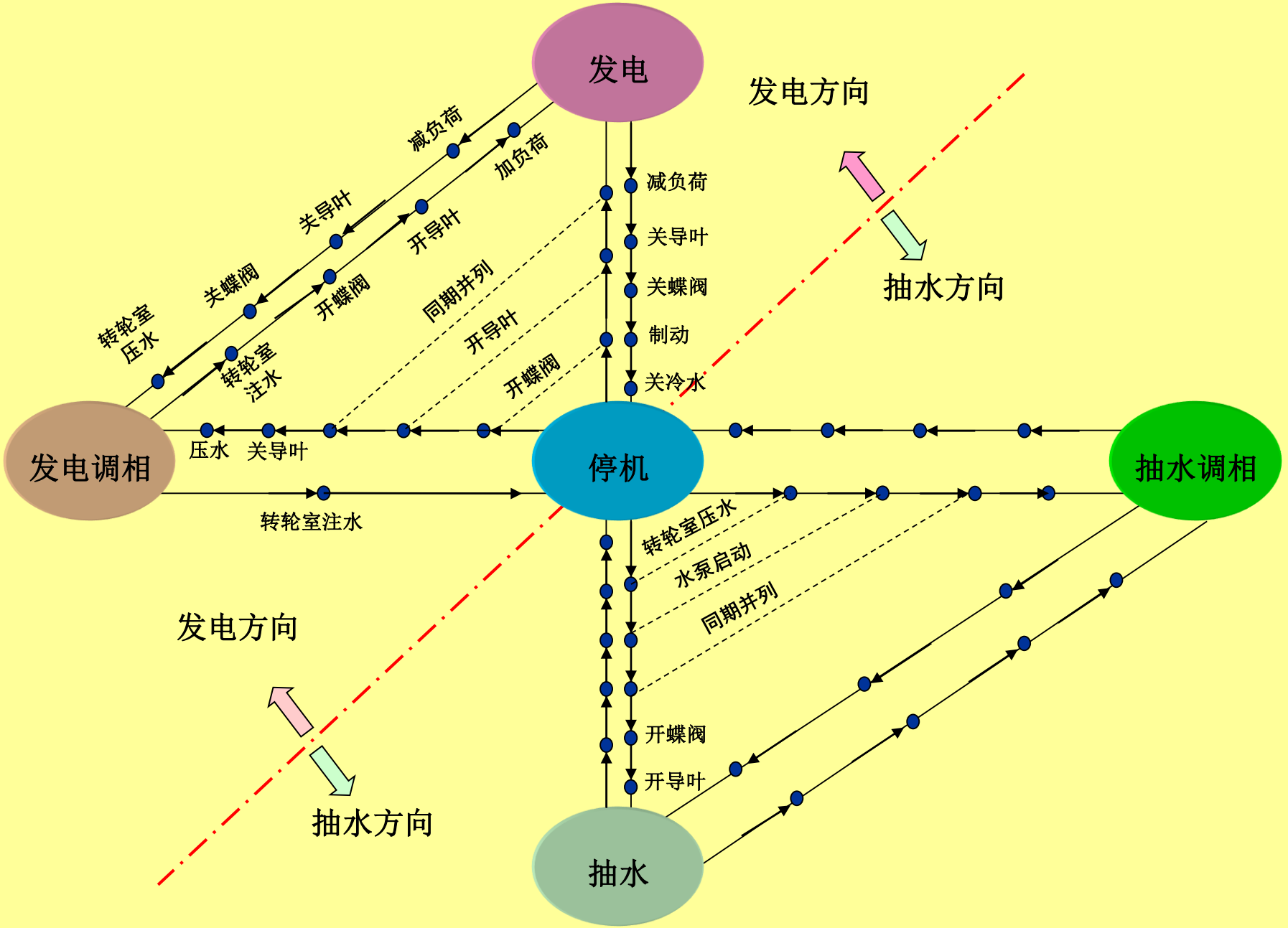


7.3　可逆式机组的工况转换

可逆式机组具有五种基本工况，即：停机、发电、抽水、发电方向调相和抽水方向调相。与常规机组相比，运转工况多(抽水和抽水方向调相)，工况变换复杂并要求在尽可能短的时间内完成。

- 发电方向调相：水轮机在空气中旋转调相，旋转方向为发电方向；
- 抽水方向调相：水轮机在空气中旋转调相，旋转方向为抽水方向。



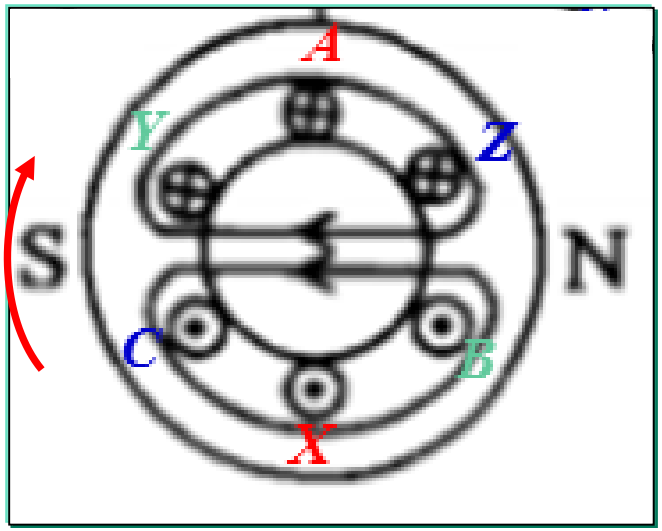

发电
发电方向
减负荷
加负荷
关导叶
开导叶
关蝶阀
开蝶阀
转轮室压水
转轮室注水
同期并列
开导叶
开蝶阀
减负荷
关导叶
关蝶阀
制动
关冷水
抽水方向
发电调相
压水
关导叶
停机
抽水调相
转轮室注水
转轮室压水
水泵启动
同期并列
发电方向
开蝶阀
开导叶
抽水方向
抽水

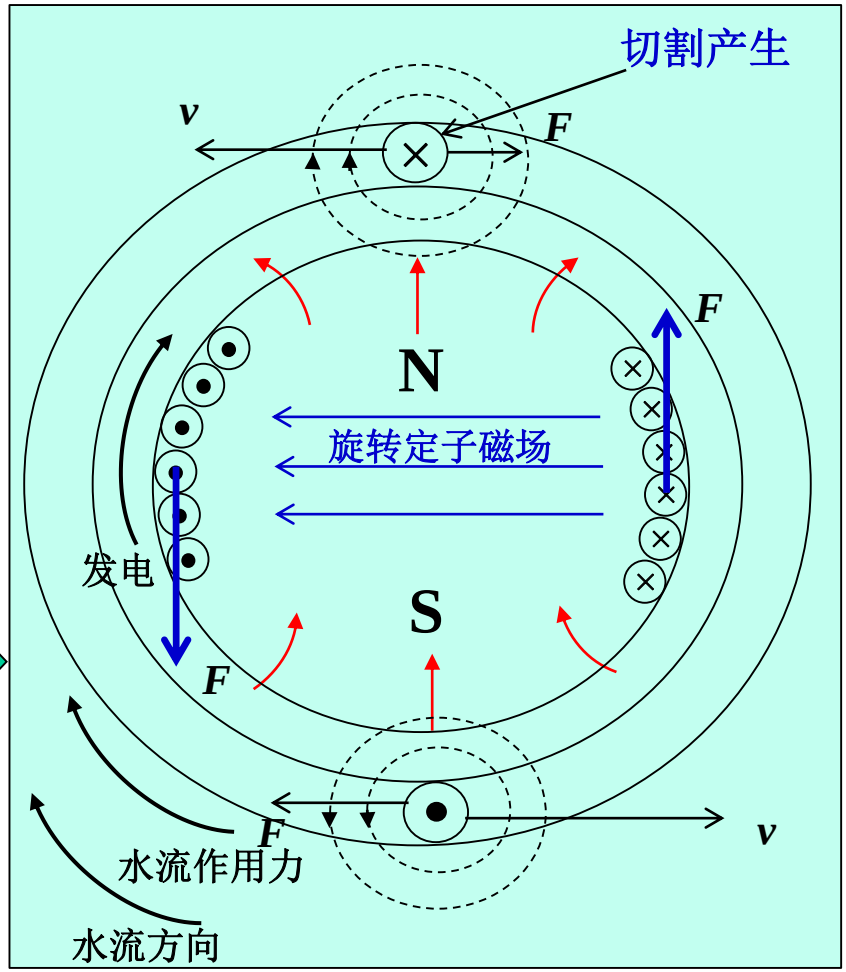
抽水蓄能机组抽水调相与发电调相的异同：

①基本的不同：

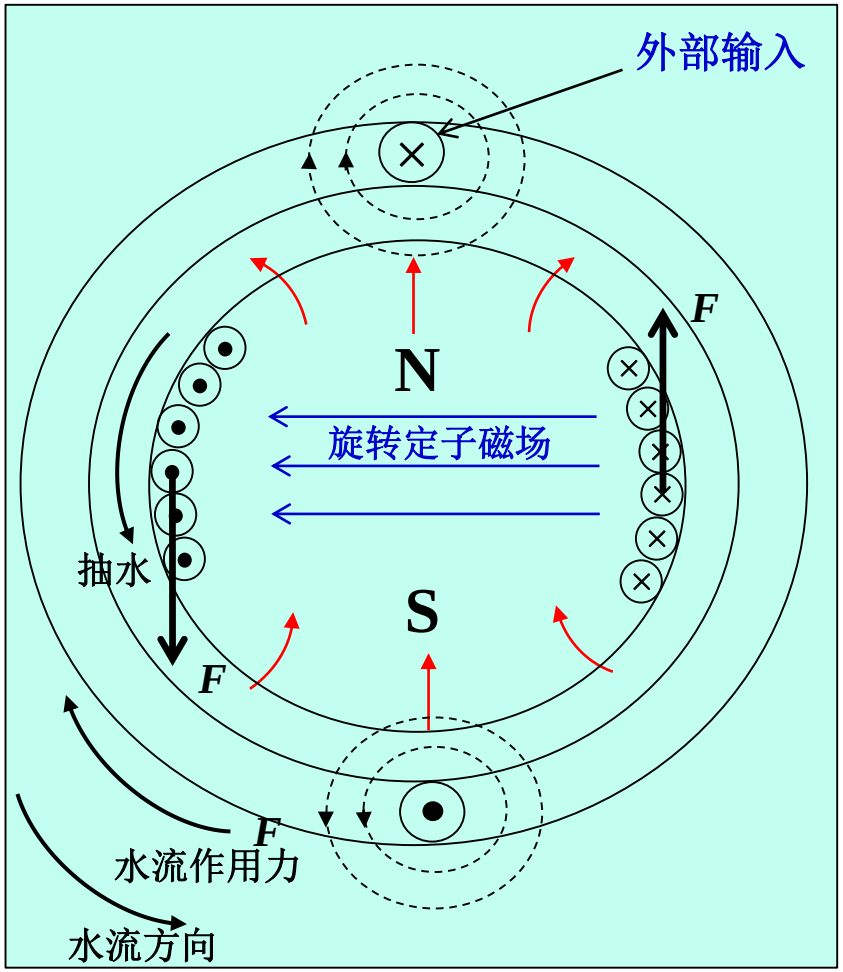
发电调相和抽水调相两者转向相反，相应地，机组换相刀一个合在发电机方向，一个合在电动机方向。

发电工况：转子顺时针旋转、定子磁场顺时针旋转、定子电流感应产生、转子水力驱动力与电磁制动力平衡。

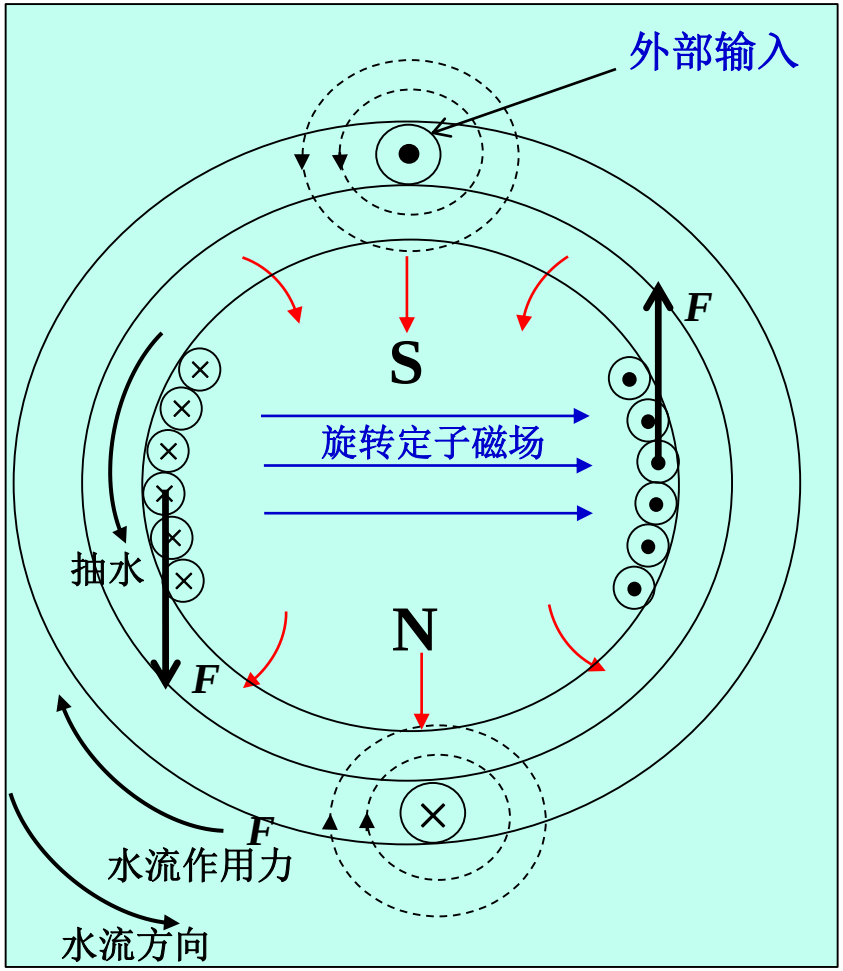




抽水工况：转子逆时针旋转、定子磁场逆时针旋转、定子电流外部输入、电磁驱动力与水力制动力平衡。



或



②作用上的异同：

发电调相和抽水调相，以调节电网电压和无功而言，作用是一样。不过目前电网几乎不会因为调节电压把蓄能机组作为调相机运行。蓄能机组发电调相一般用于电网紧急情况，作为电网的紧急备用。

此外，蓄能机组抽水调相作为机组从停机到抽水转换过种中必须经过的一个中间状态用。只要有抽水，必定有抽水调相。和发电不一样，机组抽水启动，必须要有外力拖动，在外力拖动过程中，导水叶是关闭的，为减少助力和损耗，转轮室处于空气中，当这样拖到额定转速并网后，就处于抽水调相状态，这时可以立刻转到抽水状态，也可以停顿一段时间再转抽水，实际运行中，以后者居多。

③启动过程不一样：

蓄能机组发电调相，由于转向和发电时一样，可以开启导水叶利用水力冲转水轮发电机，并网后（这时机组处于发电状态），再关闭导水叶和对转轮室调相压水补气，机组便处于发电调相状态。蓄能机组抽水调相则要复杂得多。由于机组抽水调相的转向和水力冲转机组的转向相反，所以不能同发电调相一样用水力冲转的方法，而必须用外力拖动。常用方式有利用静止变频器（SFC）拖动和机组背靠背拖动，为此蓄能电站增加了很多启动设备，如静止变频器（SFC）等。

可逆式机组水泵工况的起动是可逆式机组的特殊技术问题，需要解决的问题是如何避免起动电流对电网的冲击和加快起动速度等。

后面介绍关于可逆式机组水泵工况的起动方式。

7.4　逆式机组水泵工况的起动方式

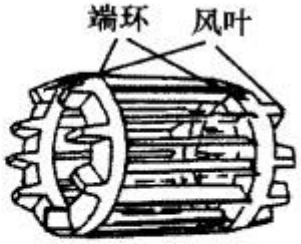
可逆式机组水泵工况的起动是可逆式机组的特殊技术问题，主要有异步起动、同步起动和半同步起动三种。

1、异步起动

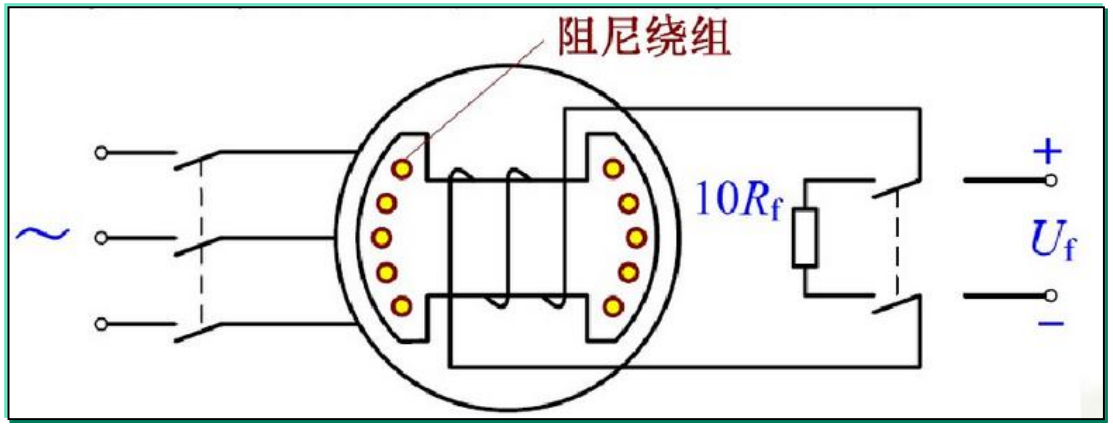
异步起动是将发电—电动机直接作为一个异步电动机在线使用。在机组励磁绕组短接情况下，直接将发电—电动机并入电网，利用转子磁极内阻尼绕组所产生的异步力矩使机组起动并加速（此时阻尼绕组相当于异步电机的鼠笼条），在接近同步转速时加上励磁，完成起动过程。

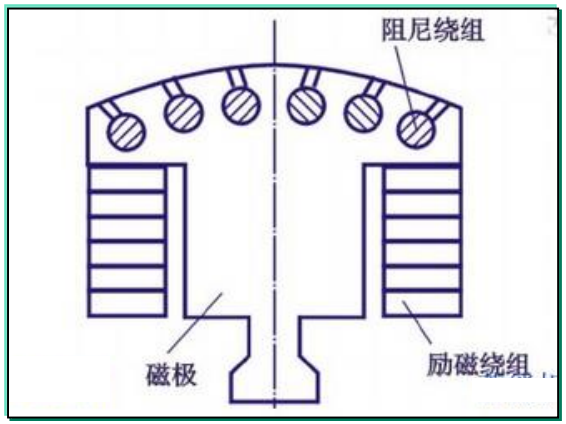


(a)



(b)

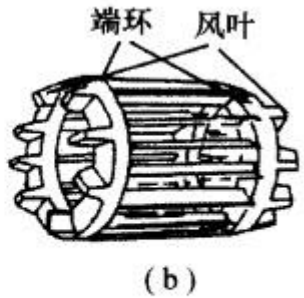




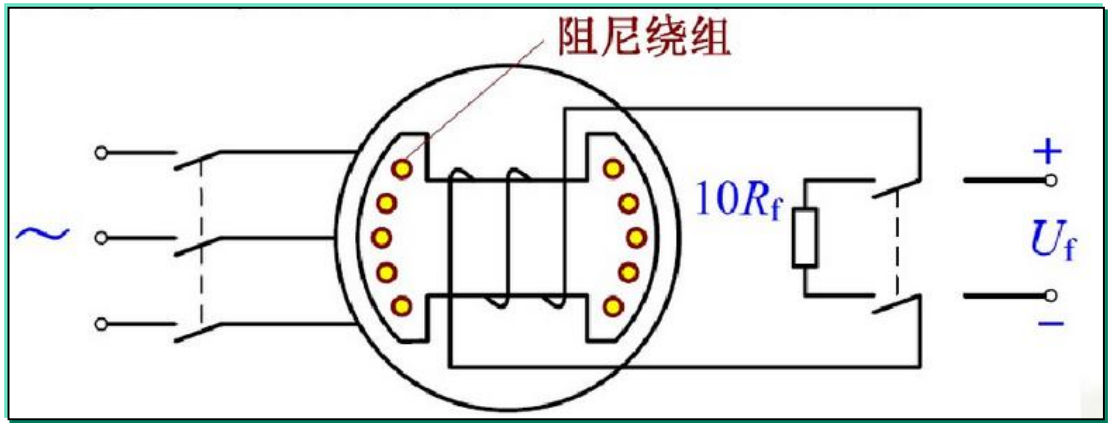
定子磁场为外加交流电产生的按正弦变化的磁场，当定子磁场和转子运动过程不同步时就会有相对运动。

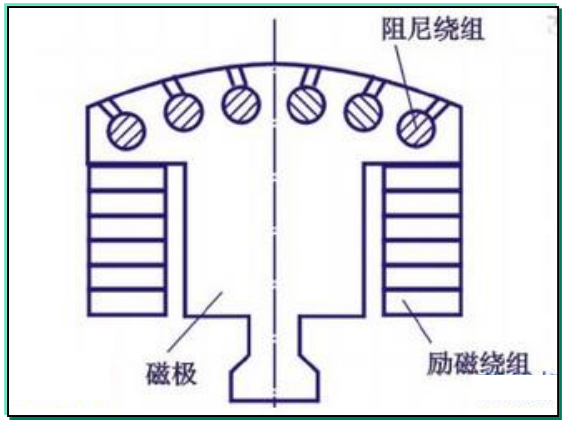
阻尼绕组由阻尼齿和阻尼条组成，阻尼作用的原理就是一旦定子磁场和转子绕组（阻尼绕组）有了相对运动，就会在这个鼠笼里产生感应电流，形成附加磁场，同时感应电流在定子磁场作用下产生力的作用（起阻尼作用：加速或者减速度）。


(a)



(b)





阻尼绕组主要有以下两个作用：

- 一是对电力系统的扰动起到阻尼的作用。发电机正常运行时，由于定、转子磁场是同步旋转的，因此阻尼绕组没有切割磁通因而也没有感应电流。当发电机出现扰动使转子转速低于定子磁场的转速时，阻尼绕组切割定子磁通产生感应电流，感应电流在阻尼绕组上产生的力矩使转子加速，二者转速差距越大，则此力矩越大，加速效应越强。反之，当转子转速高于定子磁场转速时，此力矩方向相反，是使转子减速的。因此，阻尼绕组对发电机运行的动态稳定有良好的调节作用。

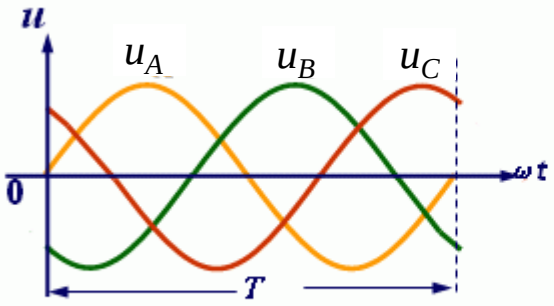
➢ 二是提供启动力。抽水工况时为定子绕组里的负序电流产生的反向旋转磁场在转子里产生的感应电流提供通路。利用感应电流与定子旋转磁场相互作用产生异步启动转矩使同步电动机启动起来。所以又称阻尼绕组为启动绕组。

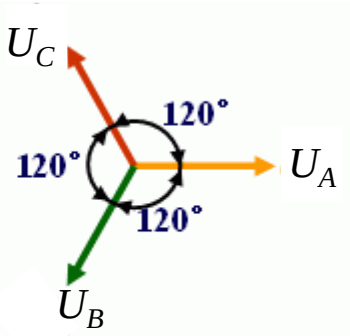
①正序电流：

A相超前B相120°

B相超前C相120°

C相超前A相120°



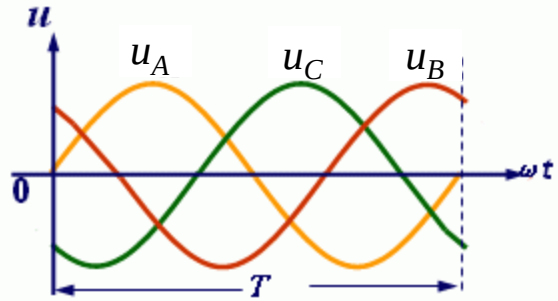


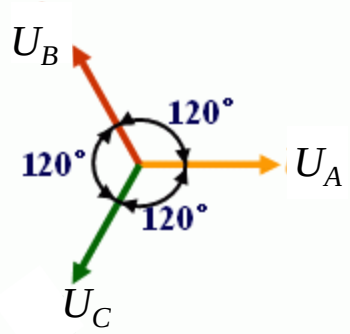
②负序电流：

A相落后B相120°

B相落后C相120°

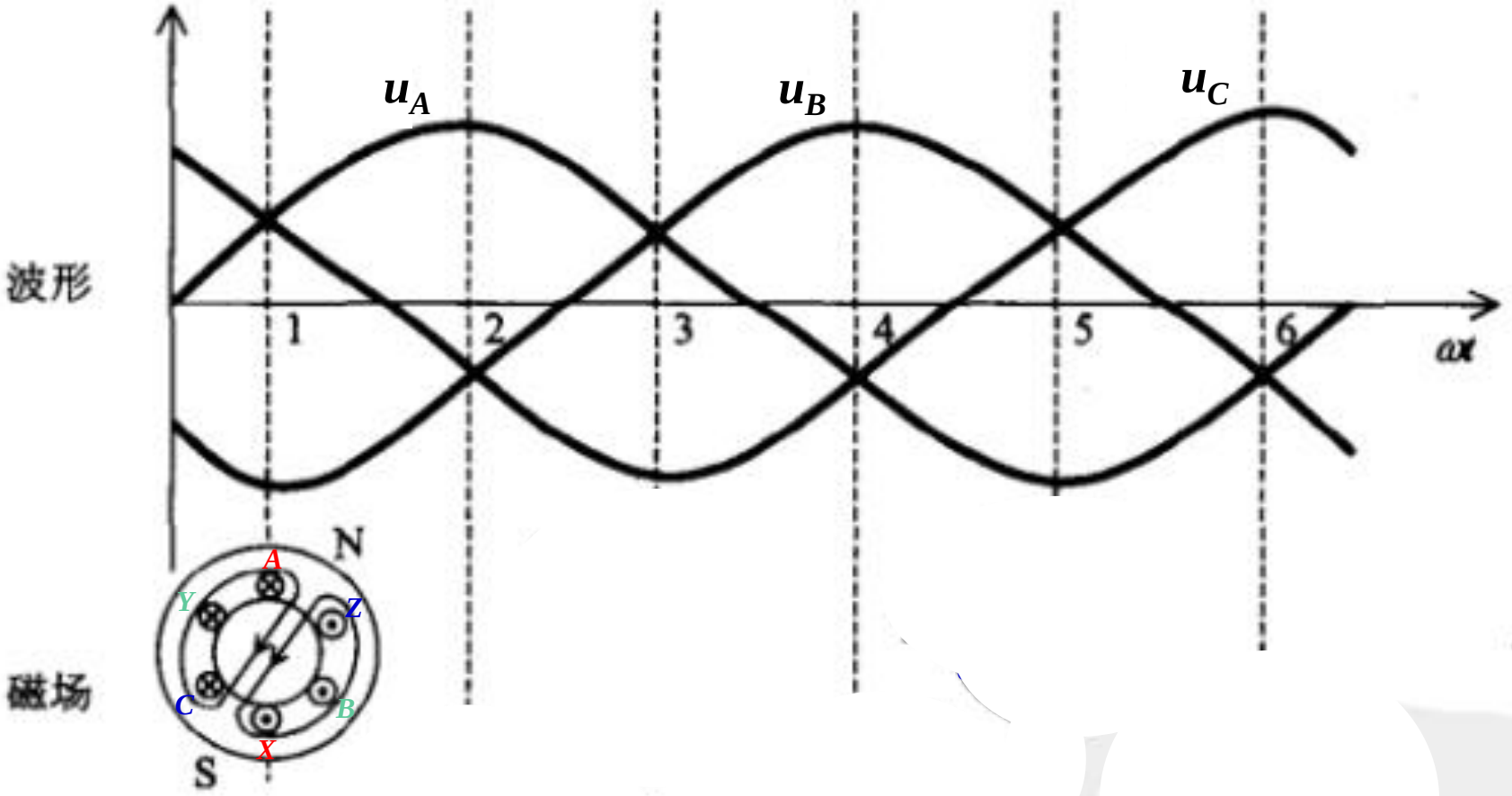
C相落后A相120°



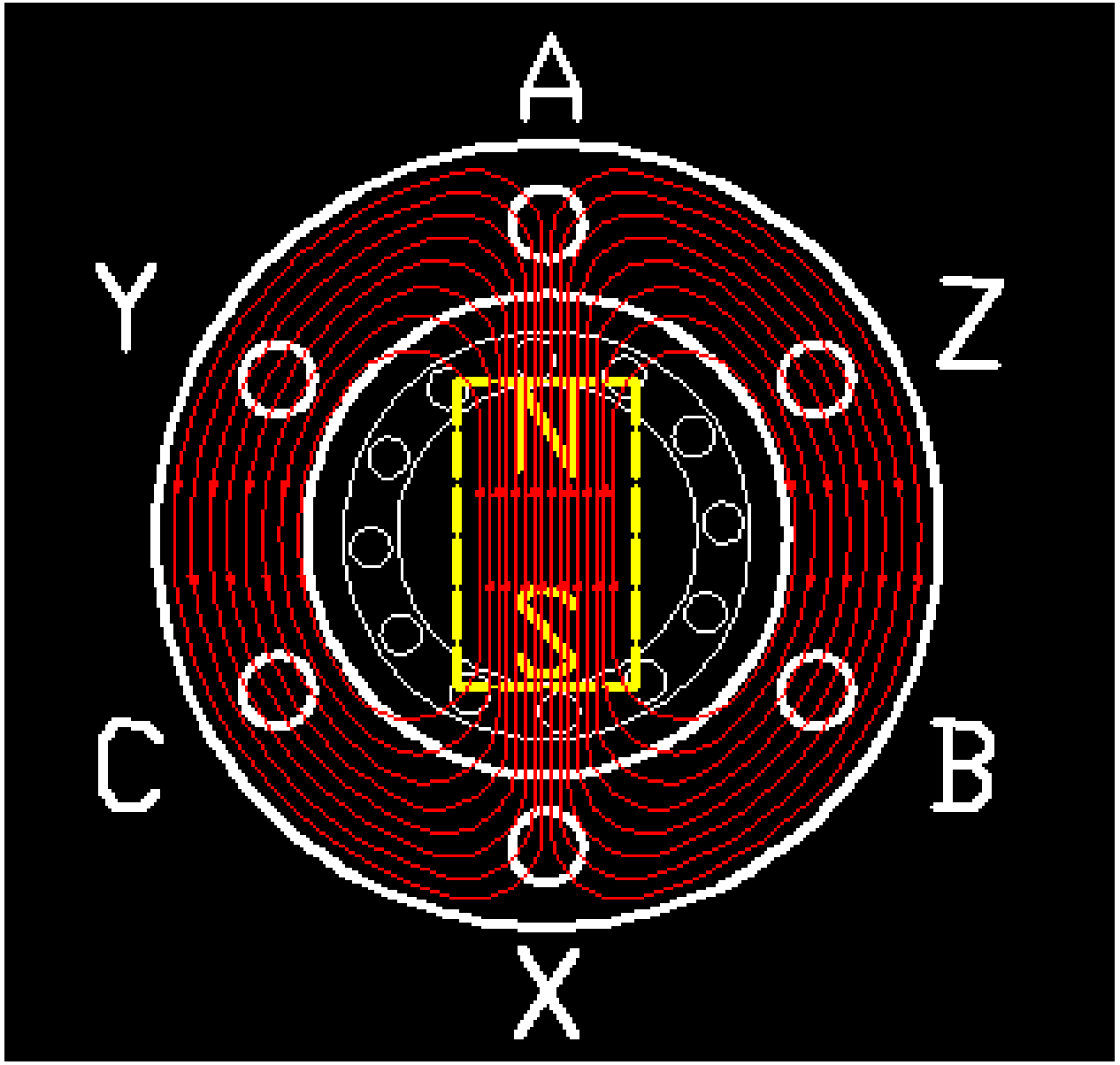


正序电流：

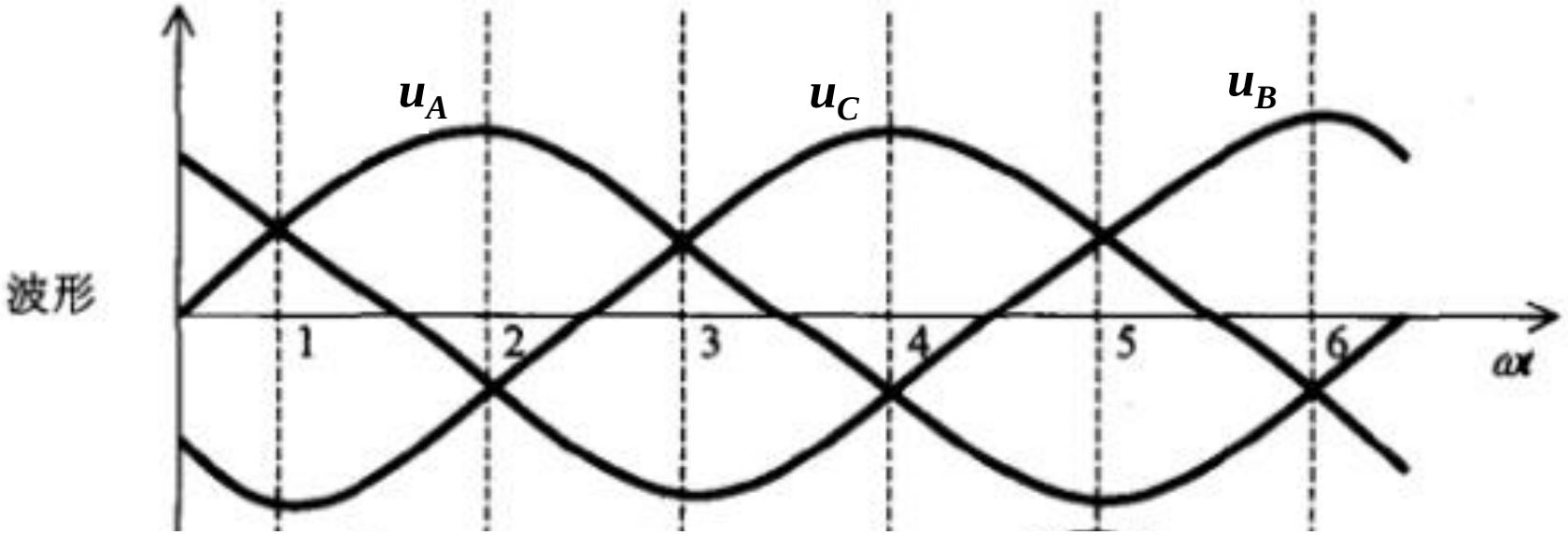
定义A-X方向： A进X出为正， A出X进为负



定子磁场顺时针方向旋转

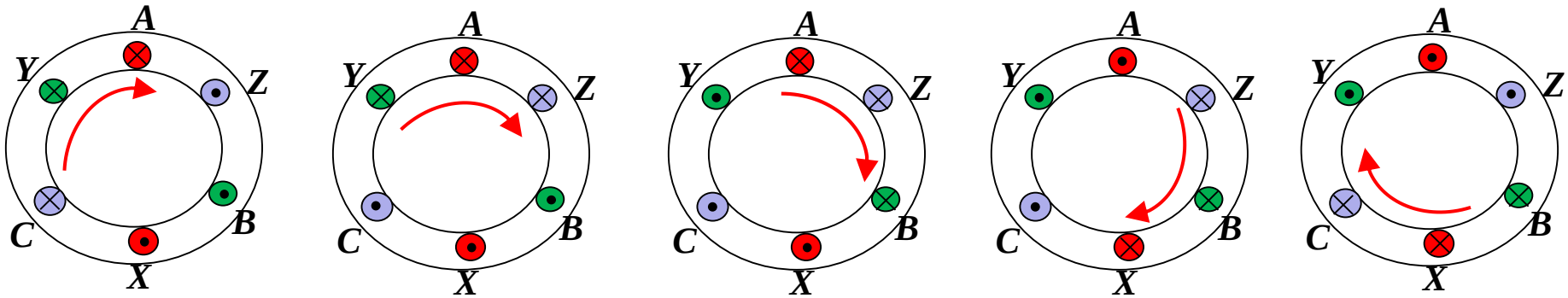

A
Y
Z
C
B
X

负序电流：

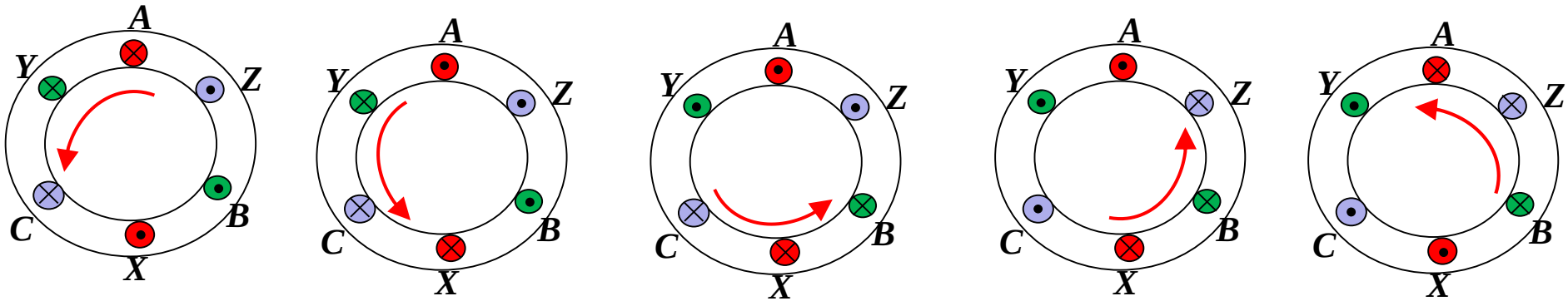


定子磁场逆时针方向旋转

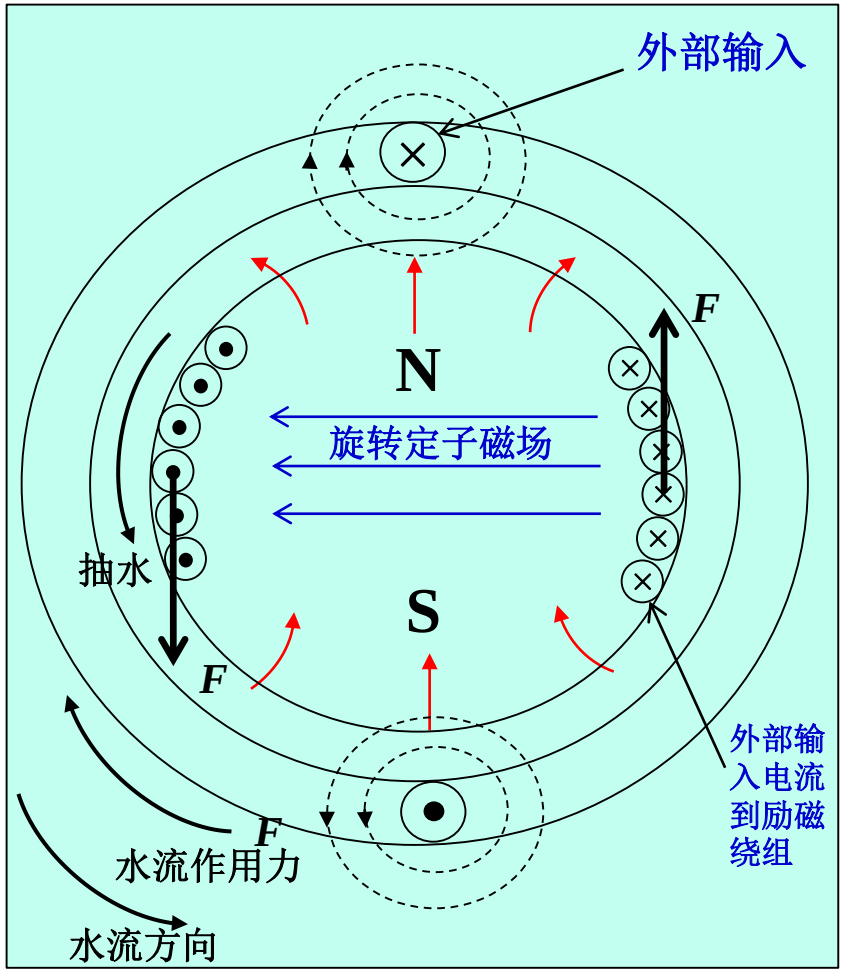
正序电流 定子磁场旋转方向：

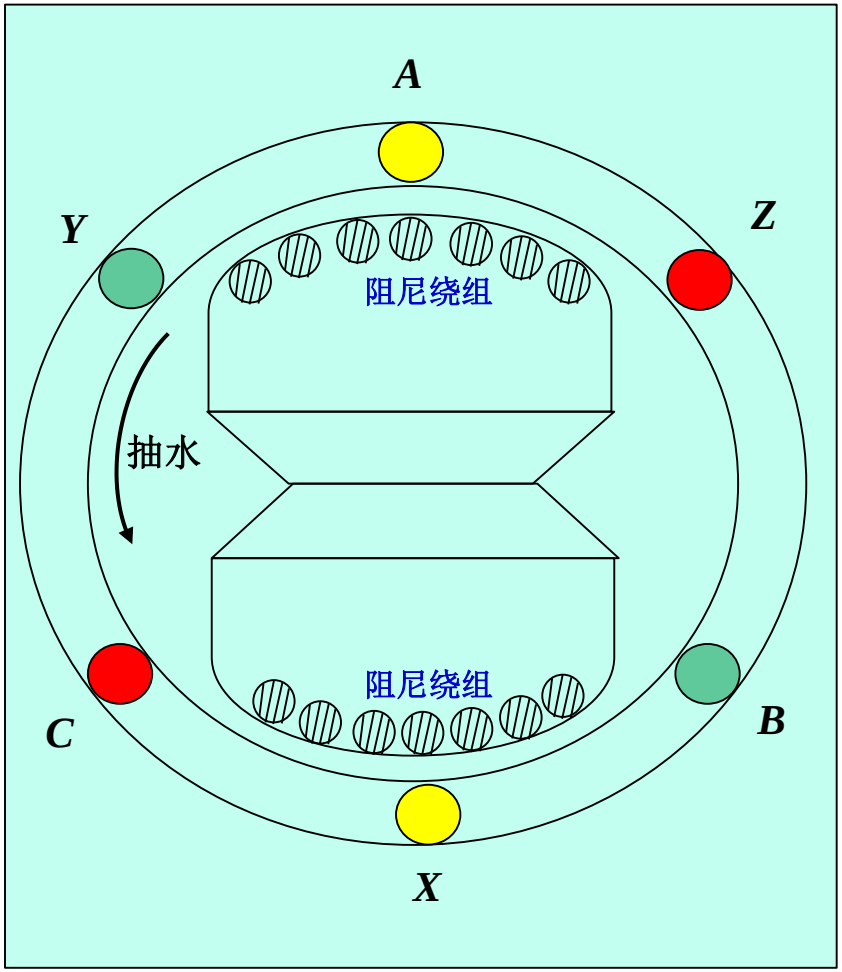


负序电流 定子磁场旋转方向：

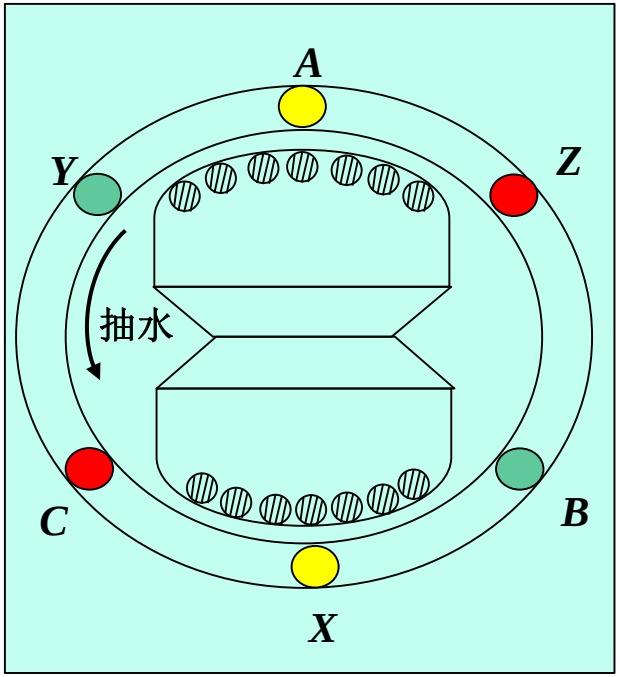


➢ 阻尼绕组如何启动电机？

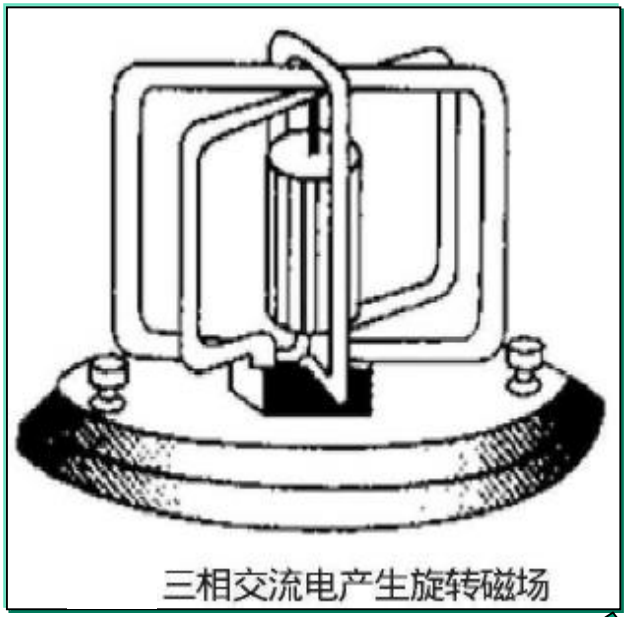




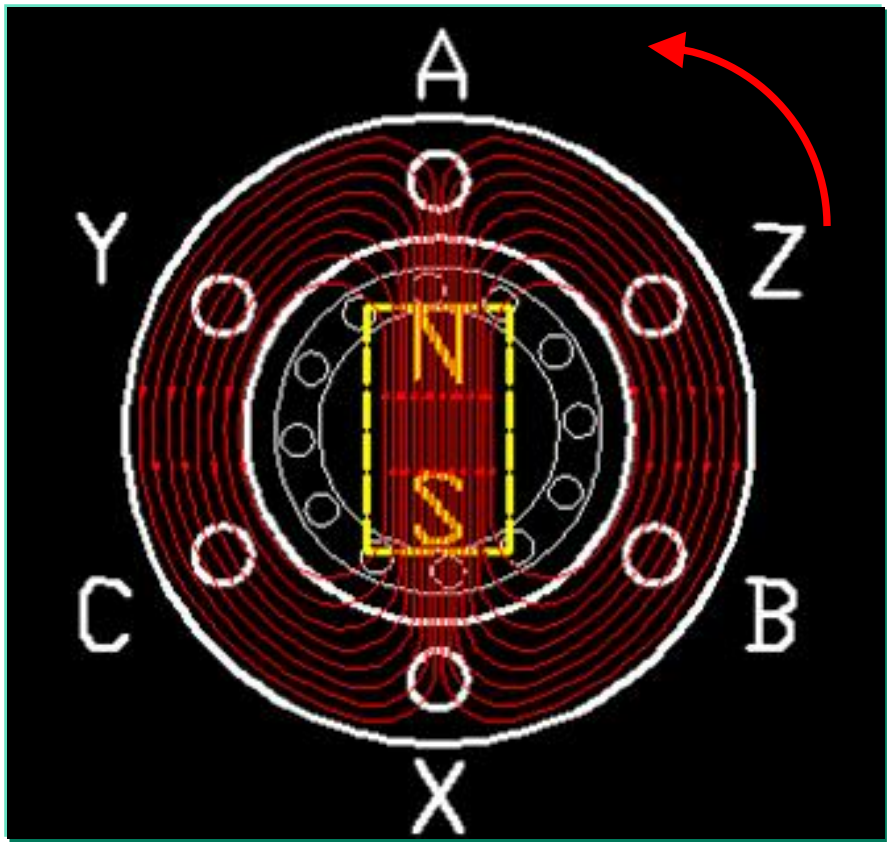
正常运行时（抽水工况）　　启动时

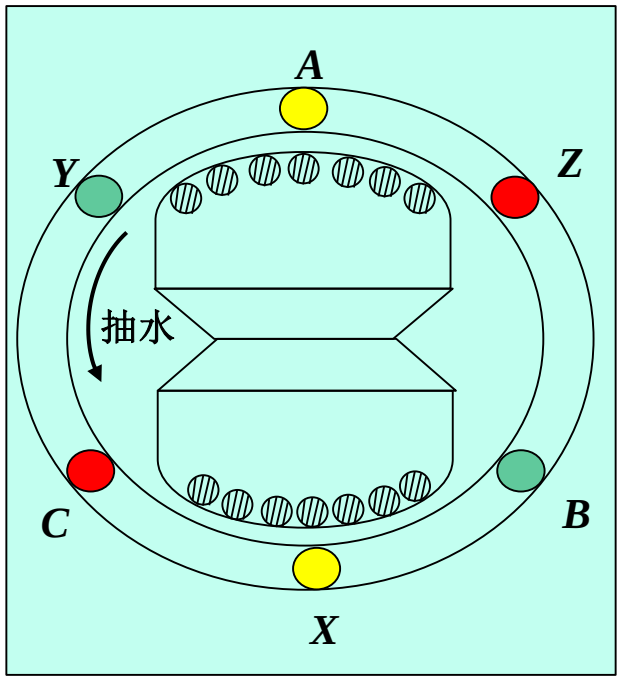


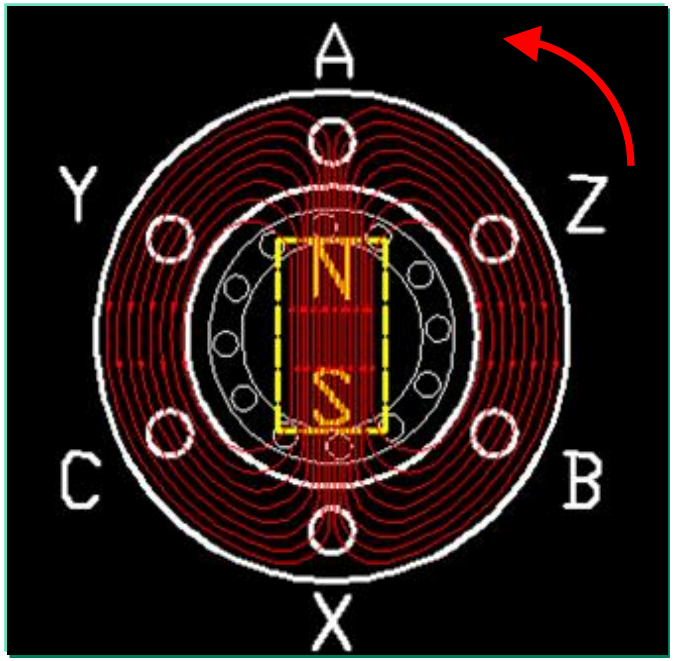
负序电流

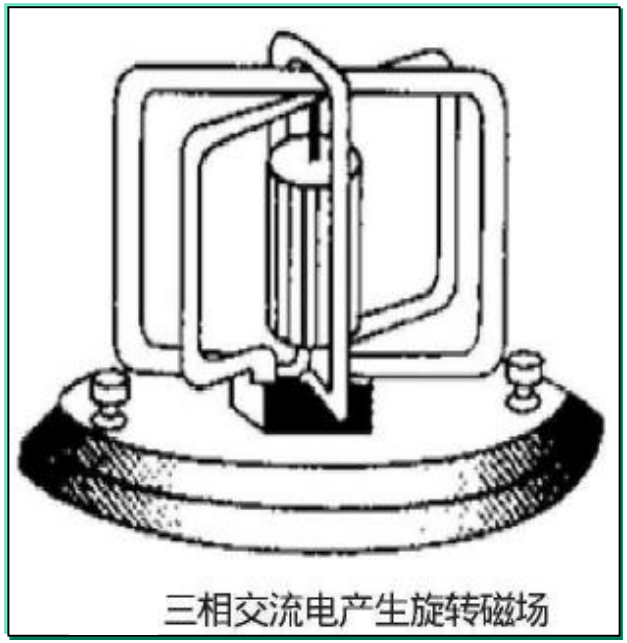


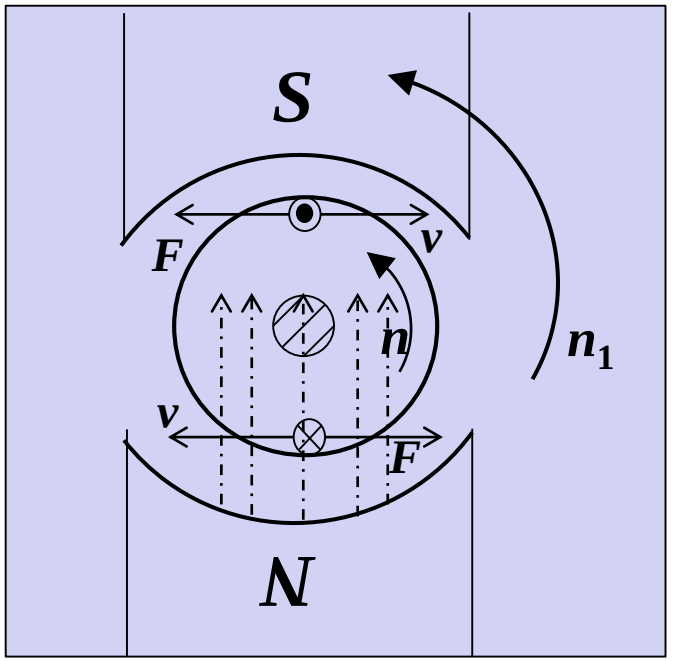
抽水调相时定子旋转磁场方向





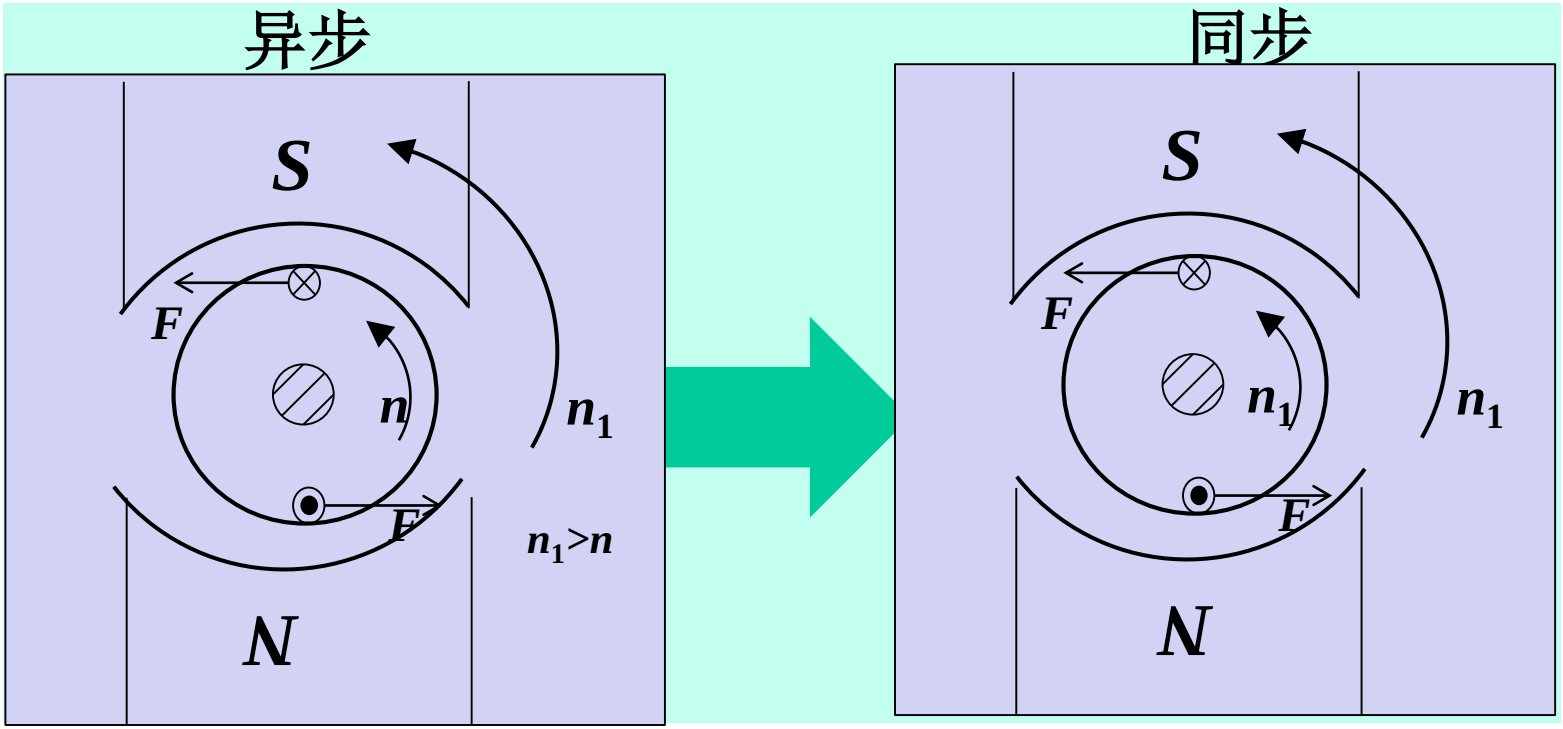






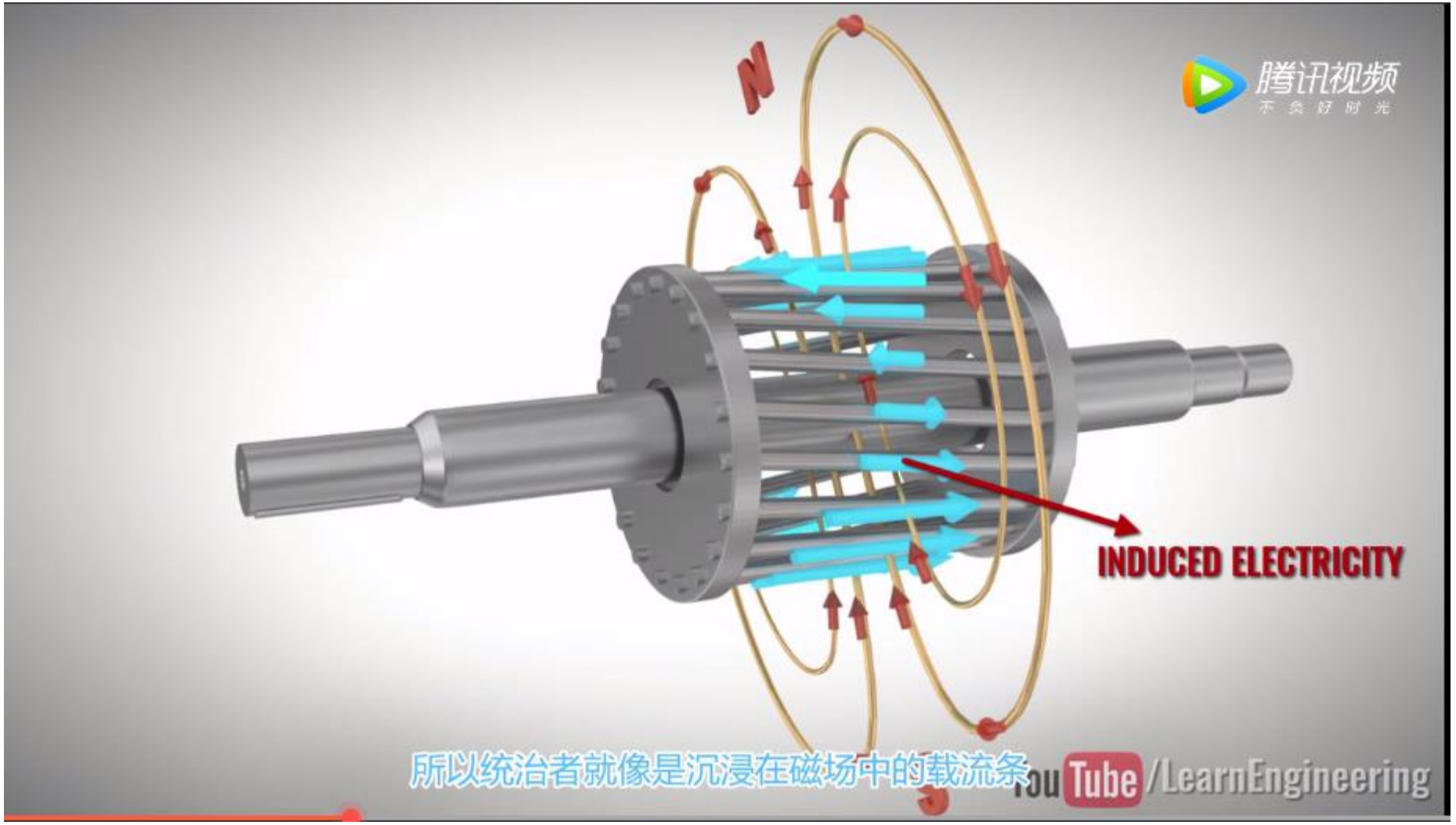
右手定则：
电流方向

左手定则：
力的方向



如果转子转速达到了旋转磁场的转速，则两者之间就处于相对静止的状态，此时由于旋转磁场与转子导体之间没有相对运动，转子导体中就不会产生感应电动势，当然也就没有感应电流，不会产生电磁转矩，若此时不加上励磁电流，电动机就会减速，直到旋转磁场与转子导体之间产生相对运动，又会产生感应电流和电磁转矩，电机加速。因此，感应电动机的转速总是小于旋转磁场的转速，这也是异步电动机中“异步”二字的由来。

异步电机启动讲解


N
INDUCED ELECTRICITY
腾讯视频
不负好时光
所以统治者就像是沉浸在磁场中的载流条
YouTube/LearnEngineering

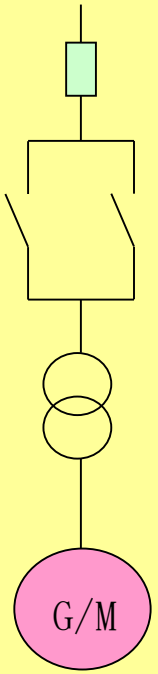
利用阻尼绕组进行异步起动的加压方式有三种：

- 异步全压起动
- 异步降压起动
- 部分定子绕组起动(降压)

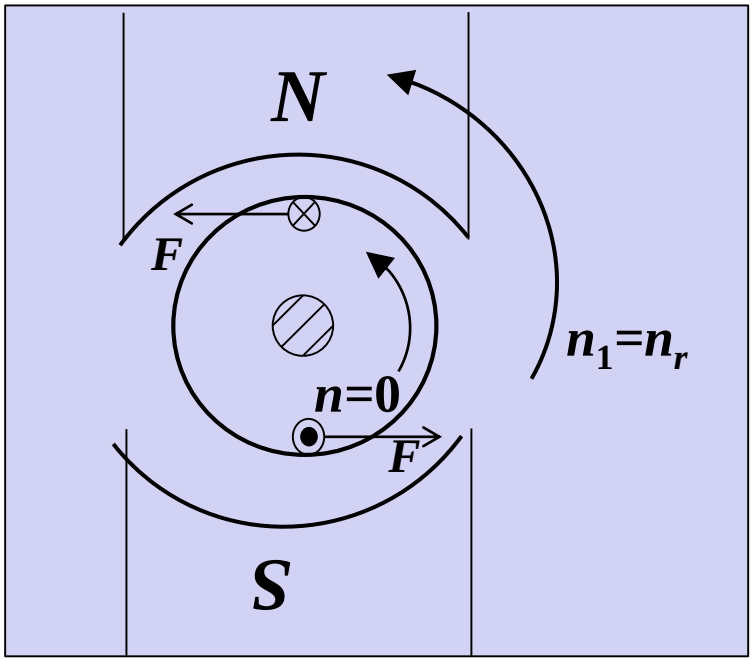
（1）异步全压起动

异步全压起动要求转轮在空气中起动（降低启动力矩，减小冲击），当转轮室的水位被压缩空气压低后，将发电—电动机接入电网，在异步力矩的作用下，使机组起动并加速，在接近同步转速时加上励磁，机组进入同步。

异步全压起动的速动性高，约为30s。这种起动方式的投资省，且运行机组间干扰小；



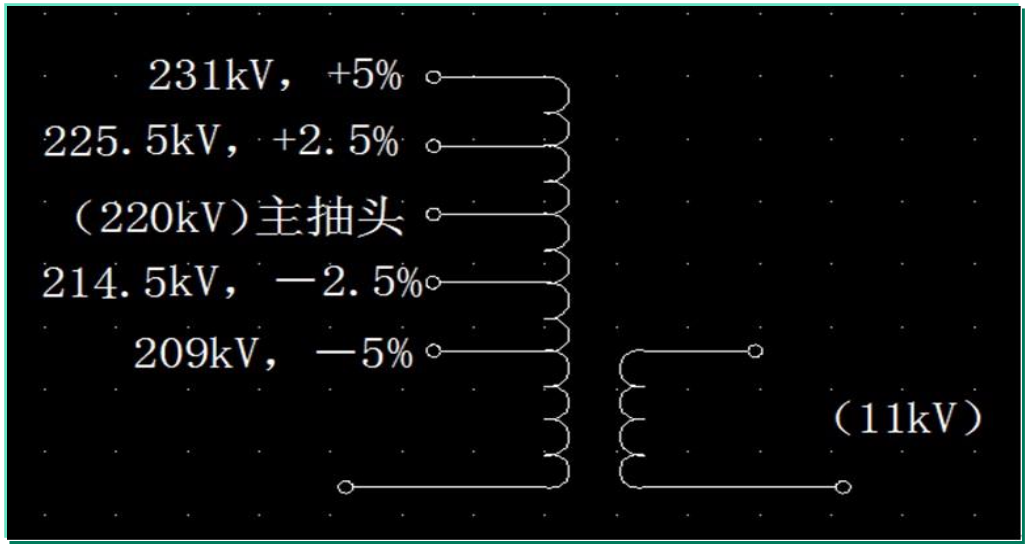
但是，该启动方式机组起动电流大，约为额定电流的2~4倍，在起动瞬间使电网受到较大冲击，产生明显的电压降。同时，起动过程中阻尼绕组还将产生热应力并严重发热，定子绕组也要承受较大的机械应力。

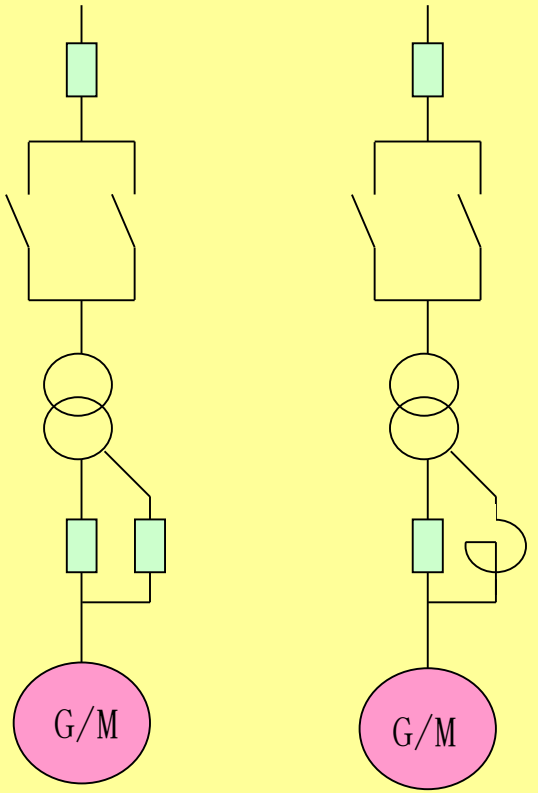


因此，异步全压起动一般只适用于容量不大的机组。

（2）异步降压起动

异步降压起动是利用主变压器抽头或接入电抗器的办法，降低电源电压，当机组转速接近同步转速时，改接为全电压（当机组转速接近同步转速时，相对运动小，此时改接为全电压对电网的冲击小），然后再投入励磁，使机组拉入同步。为了减少切换过程中对电网的冲击，也可以先在半电压下同步，然后切换至全电压。





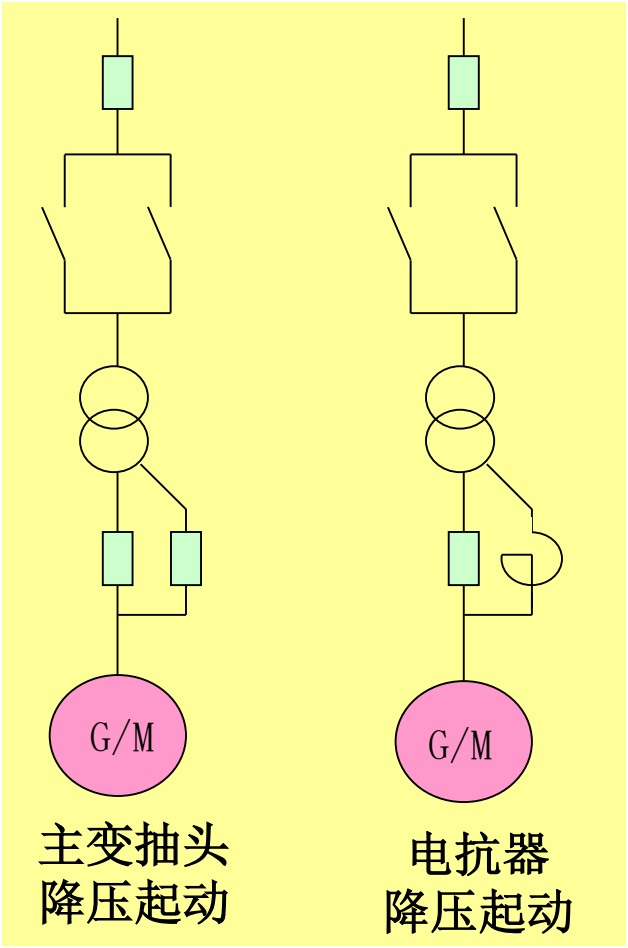
主变抽头
降压起动

电抗器
降压起动

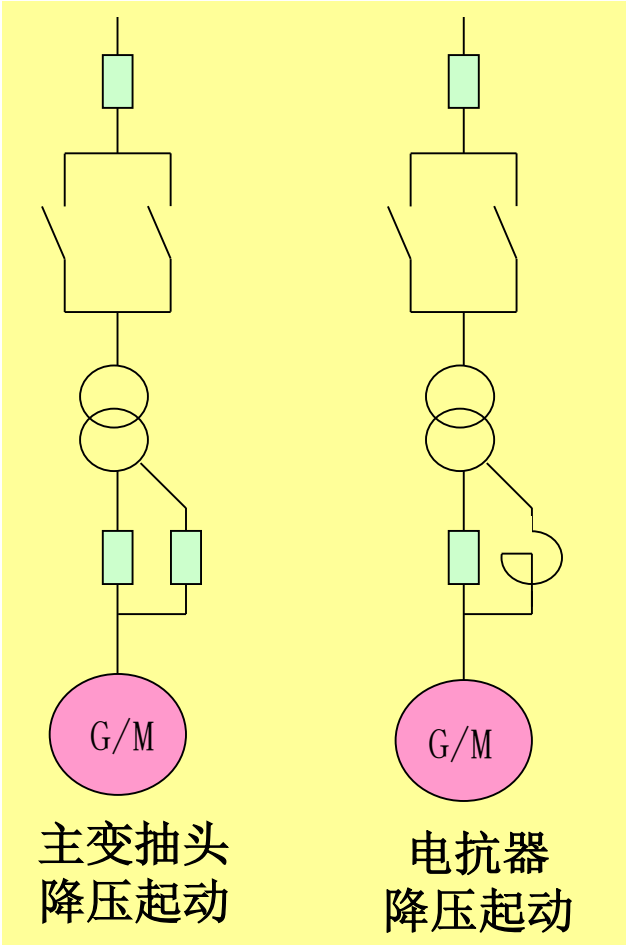
电抗器：具有电感作用的绕线式的静止感应装置称为电抗器。一般都用于较大的三相异步电机，是一个三相电抗器，也叫频敏变阻器，电流越大感抗越大，用在电机启动时限制大电流对电网和电机的冲击。





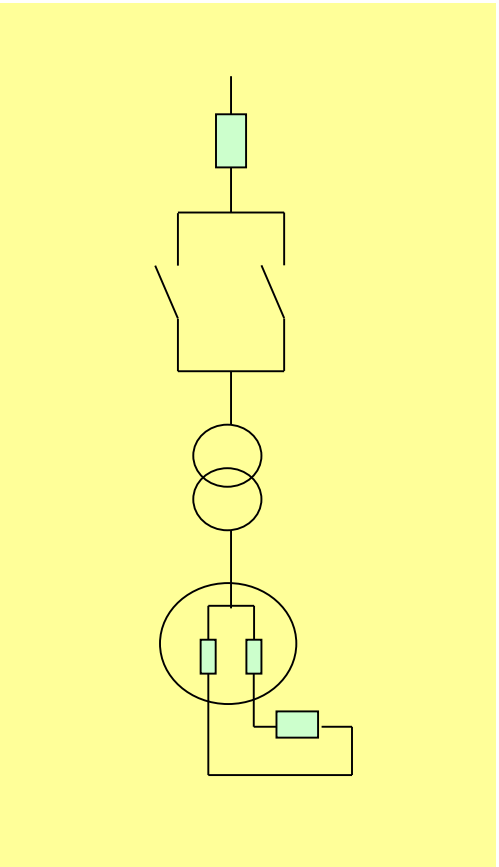


异步降压起动可减少起动电流因而减少了对电网的冲击，降低发电—电动机的温升，但是起动力矩也变小了，以至速动性差、起动时间延长，达1~2min。此外，还需额外增加降压设备。



（3）部分定子绕组起动

部分定子绕组起动是降压起动的另一种方法，它是采用定子绕组换相的方法，使发电—电动机起动时，定子绕组的端电压低于额定电压，从而减少冲击电流。



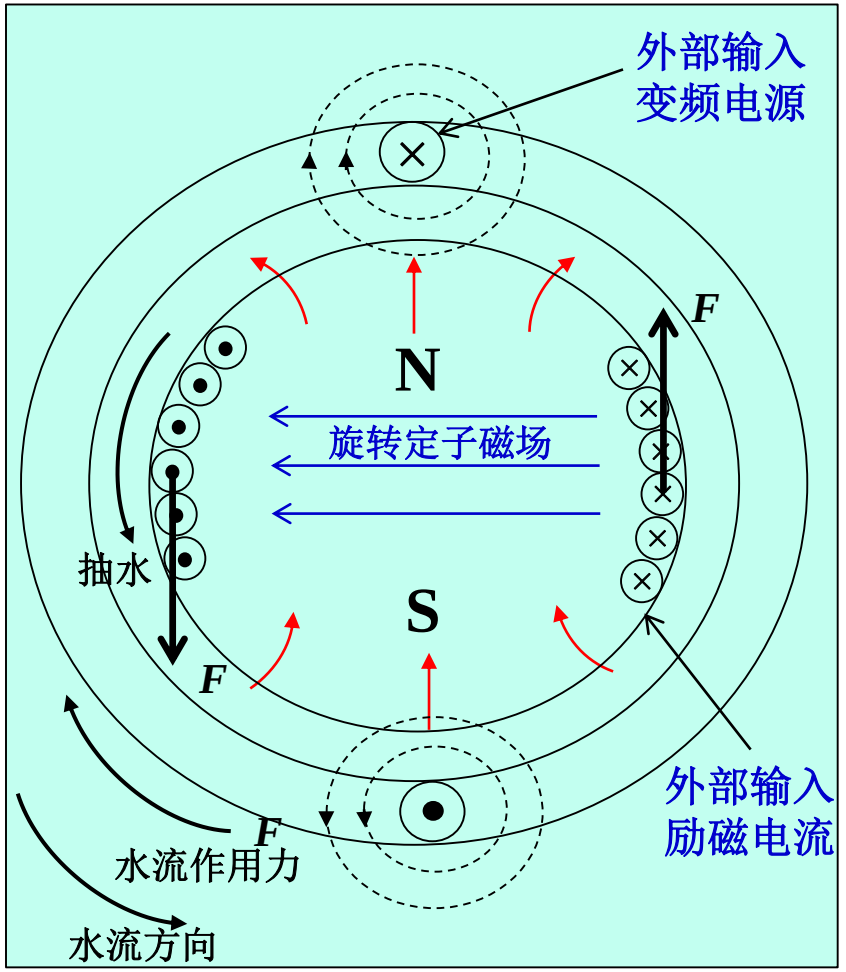
这种起动方式适用于发电—电动机定子绕组每相分成多支的情况，起动时只使用部分定子绕组，起动完毕后再接入被断开的那部分定子绕组。



不过，因为电动机的转矩与其端电压的平方成正比，端电压减小所以起动力矩也减小，以至速动性差、起动时间延长，达1~2min。

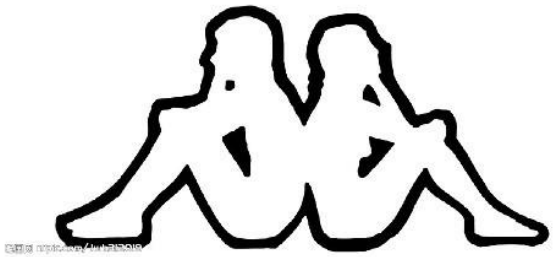
2、同步起动

同步起动不会像异步起动那样对电网和发电—电动机产生冲击。同步起动时，只需向待起动机组（励磁后）提供一个频率由低频到同步频率连续变化的电源，当待起动机组的频率达到同步频率时，便可将机组并入电网。（同步起动中定子磁场和转子中的阻尼条没有相对运动，因此没有感应电流、异步力矩等）

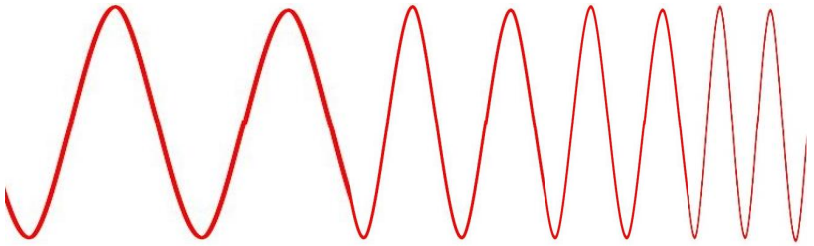


提供给待起动机组的可变频率电源，可以是一台发电机组（背靠背），也可以是一台静止频率变换器（变频器）。

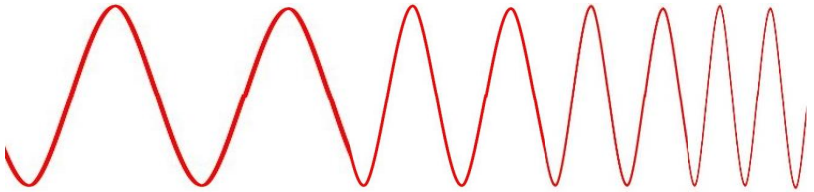
因此，同步起动又可分为背靠背同步起动和变频同步起动两种方式。



需要变频



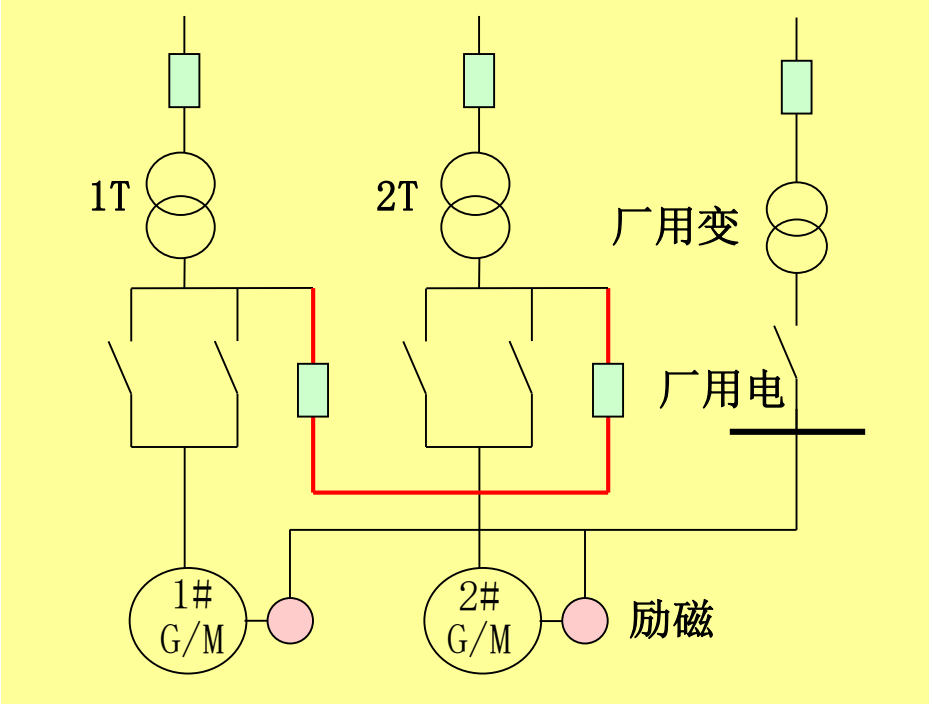
提供变频



（1）背靠背同步起动

背靠背同步起动是利用本电站另一台作发电机运行的机组将待起动机组拖动起来：

- 起动前，起动和待起动机组均处在静止状态，在电气上互相联接，并分别加上励磁（同步运转不会有感应电流，故需励磁）；



- 然后，发电机开机起动，拖动待起动机组，两台机组同步地从零转速上升到额定转速；

- 最后，作为电动机的机组进行同期操作。并入电网后，将发电机断开，使之逐渐减速至停机。

背靠背同步起动方式的优点是：

- 对电网无冲击；
- 不需要另外增加起动设备；
- 允许在水中起动（其他起动方式都不允许在水中起动）；

因此，作为水泵工况的主要起动方式十分有利（一启动就抽水）。

但是，在牵引机组能够拖动待起动机组之前，它必须处于静止状态，因此起动耗时较多，起动时间约为2~4min。

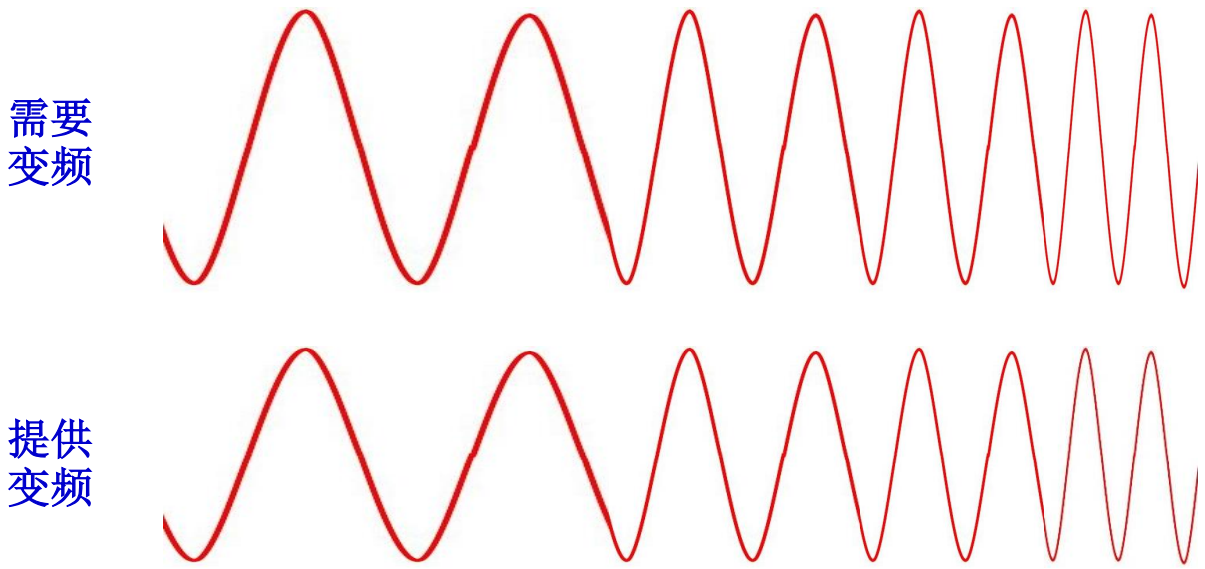
这种起动方式的调整和操作比较复杂，需要单独的励磁电源。全部是可逆式机组的抽水蓄能电站采用这种方法时，电站的最后一台机组不能自行起动，还需配置其他起动方式。

所以，背靠背起动方式广泛用于变频起动方式的后备。

（2）静止变频器起动

静止变频器起动是近年来得到广泛应用的一种同步起动方式。

它利用可控硅变频装置（SFC-static frequency conveyter）将输出频率由零到额定值的交流电，将待起动的抽水机组同步的启动。

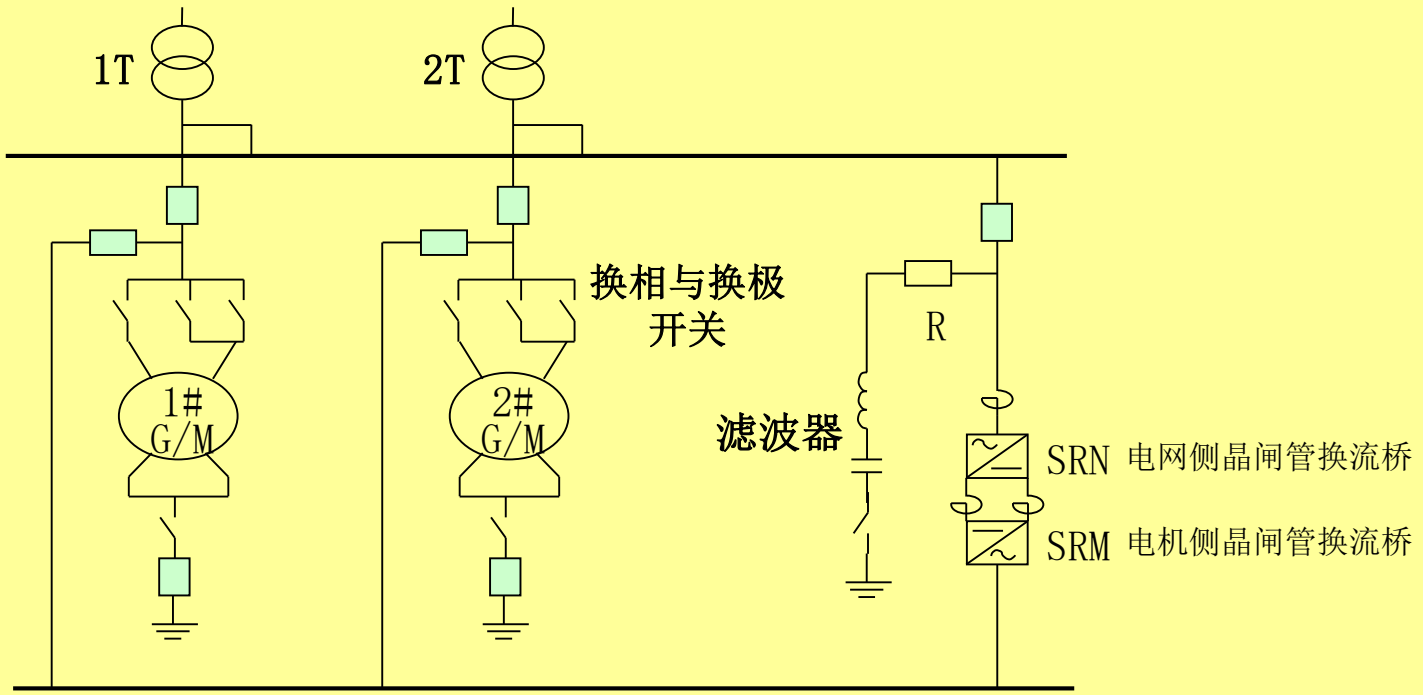


为了减少可控硅变频装置的功率，这种起动方式要求转轮在空气中起动。

在抽水蓄能电站一次主接线中，*SFC*系统电源一般取自2台主变低压侧（从电网受电），利用可控硅变频装置产生从零到额定频率值的变频电源，经启动母线送入可逆机组的定子中，与机组励磁系统、充气压水系统等相配合，使机组启动并网，把下水库的水抽到上水库中。



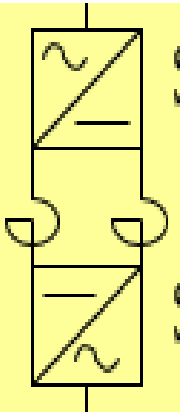
SFC的典型一次接线如下图所示：



可控硅变频装置由两组三相桥式可控硅（两组可控硅之间有滤波电抗器）组成，其中一组用于整流，一组用于逆变（产生负序电流）。其工作原理是先将从电网获得的定压定额交流电整流为可变电压的直流电，经平波电抗器滤波后再将直流电逆变为频率可调、适合同步电机启动的交流电。

可控硅变频装置通过转速信号器和位置传感器输出转速信号和位置信号，并由变频控制装置调整可控硅导通角，以此进行转速和整流控制。

对于由三相桥式可控硅组成的可控硅变频装置，相对于整流而言，逆变是他的逆过程，整流装置在满足一定条件下可以作为逆变装置用，即同一套电路，既可以工作在整流状态，也可以工作在逆变状态，这样的电路统称为变流装置或变频电路



- 变流装置如果工作在逆变状态，其交流侧接在交流电网上，电网成为负载，在运行中将直流电能转换为交流电能并送回到电网中去，这样的逆变称为“有源逆变”，例如发电机励磁装置的“快速灭磁”。
- 如果逆变状态下的变流装置，其交流侧接至交流负载，在运行中将直流电能变换为某一频率或可调频率的交流电能供给负载，这样的逆变则称为“无源逆变” （可控硅变频装置）

变频起动的优点：

①变频器都是静止元件，维修方便，维护工作量小，工作可靠性高，设备布置比较灵活，每台机组可公用一套。

②静态变频器具有无级变速、启动平稳、反应速度快的特点，且具有很强的自诊断能力。

目前，变频起动已经成为可逆式机组水泵工况（抽水、抽水调相 ）起动的主要方式，并采用背靠背同步起动方式作为后备起动方式。

变频起动的缺点：

①设备造价高（其所需控制设备比较复杂，元件质量要求高），且随其容量增大而造价迅速增加，一般为机组主设备投资的35%~40%。变频起动的设备容量约为被起动设备容量的 5%~8%；

② 起动时间较长，约为3~10min 。

（3）半同步起动

半同步起动是介于同步起动和异步起动之间的一种起动方式。

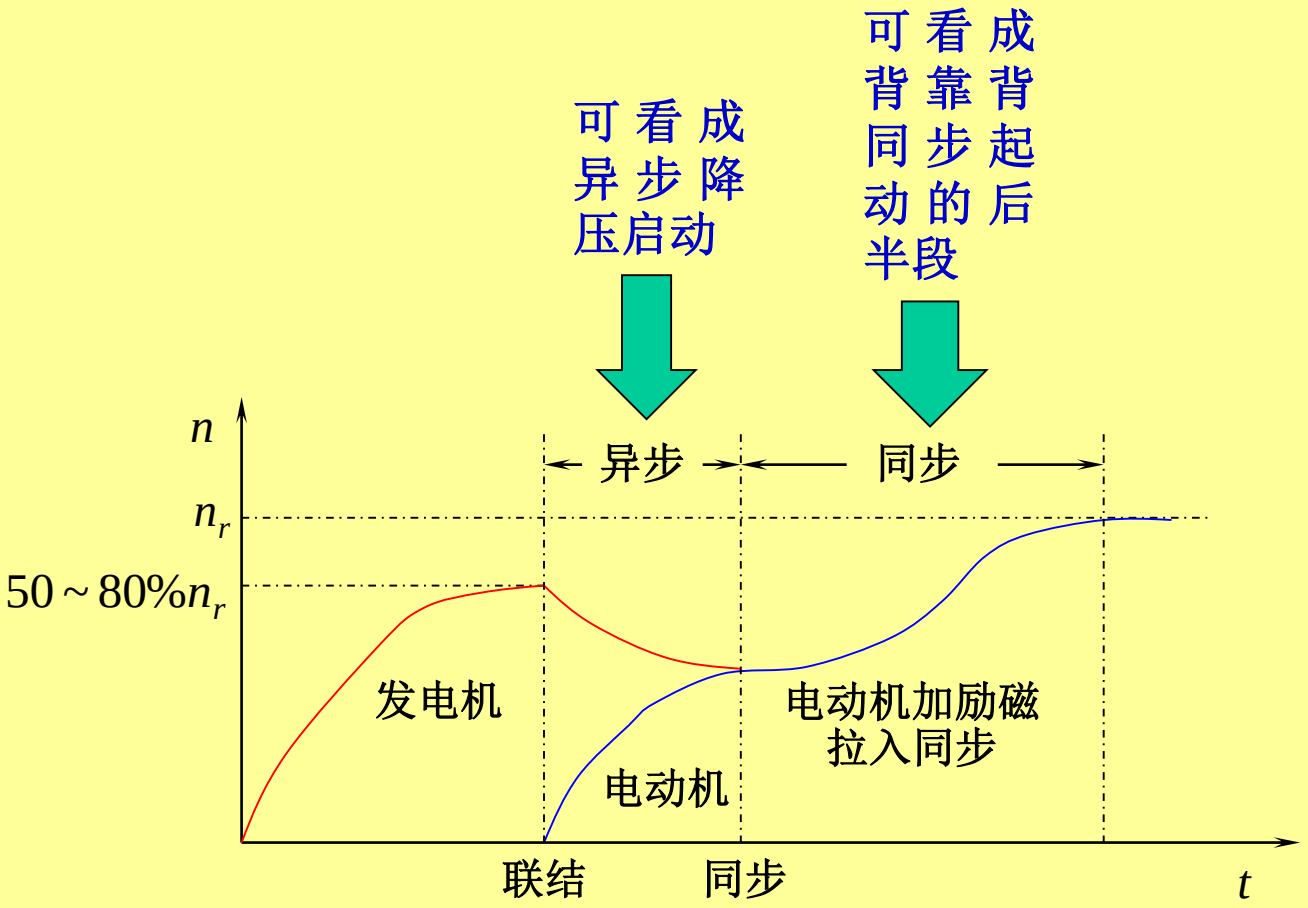
Step1：半同步起动是先将一台作牵引用的发电机在无励磁的情况下升速到额定转速的**50%~80%**；

Step2：给发电机加上励磁，发电机电压随之上升到额定电压的**60%~70%**；

Step3：将该电压加在待起动的抽水机组上，产生异步转矩（阻尼作用），使它以感应电动势方式起动并加速；

Step4：与此同时，发电机减速；

Step5：当两台机组的转速接近时，给被起动机组加励磁，使之与发电机同步，电动机在发电机驱动下，同步加速到额定转速。

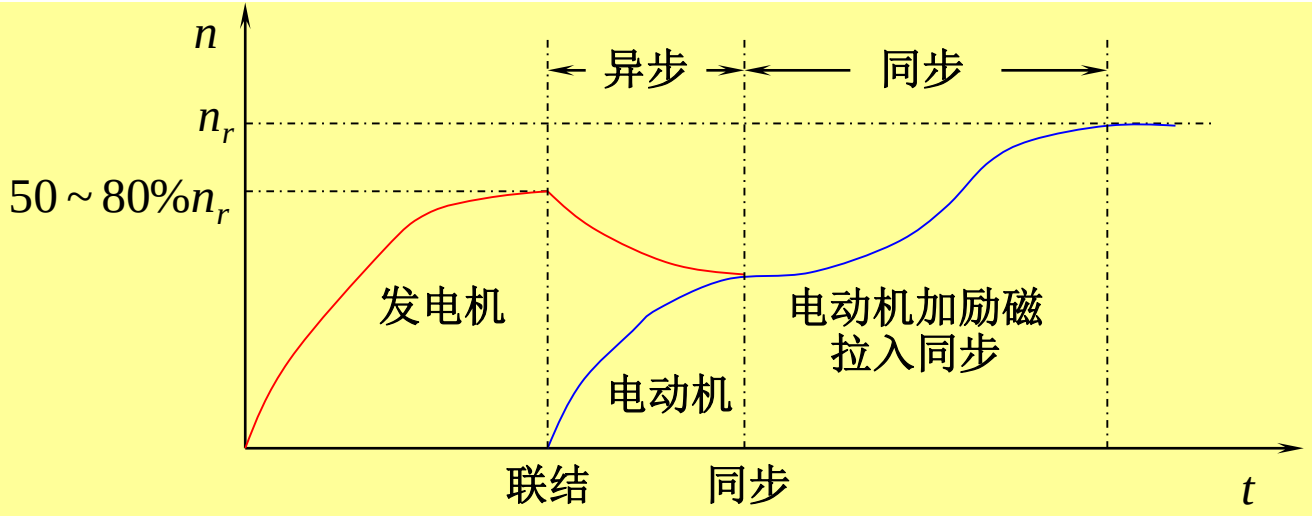

可看成
异步降
压启动
可看成背
靠步起
同步后
背的
同段
动半
n
异步
同步
n_r
50～80%n_r
发电机
电动机加励磁
拉入同步
电动机
联结
同步
t

半同步起动方式不需专门的起动装置，但要求起动发电机的容量大于待起动电动机容量的80%。起动时间为 3~5min 。

半同步起动方式由于不从系统受电，对系统无干扰，亦不需独立的励磁电源。多台机组相继起动无需停机（下降到额定转速的50%~80%）和重新开机，操作迅速。

其缺点与背靠背方式一样，需通过试验确定加速过程和投励时间，而且最后一台机组不能自行起动。

半同步起动方式一般适用于装有常规水电机组的混合式抽水蓄能电站。



7.5　可逆式机组水泵工况的起动方式的选择

各种起动方式的比较如下表所示：

启动方式	单机容量	启动时间	所需设备	控制特性
异步	中，小型机组	0.5～2min	降压设备	简单
同步(背靠背)	各种容量机组	2～4min	发电机、励磁设备、母线及开关	复杂
半同步	各种容量机组	3～5min	发电机、母线及开关	复杂
变频	大型机组	3～10min	变频装置、励磁设备、母线及开关	复杂

7.6 静止变频装置在可逆式机组中的应用

相对常规水电机组而言，可逆式机组工况较多，主要有静止、发电、发电调相、抽水、抽水调相、黑启动等，其中抽水（水泵）工况是最重要的工况之一。因此，可逆式机组水泵工况的启动方式选择、结构组成及运行维护显得十分重要。

由于变频启动方式及其所采用的变频装置（SFC）具有无级变速、启动平稳、可靠性高等特点，机组启动过程对系统不会有任何冲击，对机组结构没有特殊要求，可以多台机组共用一套，经济上可取等优点，所以广泛用于可逆式机组水泵工况及抽水调相工况的启动。

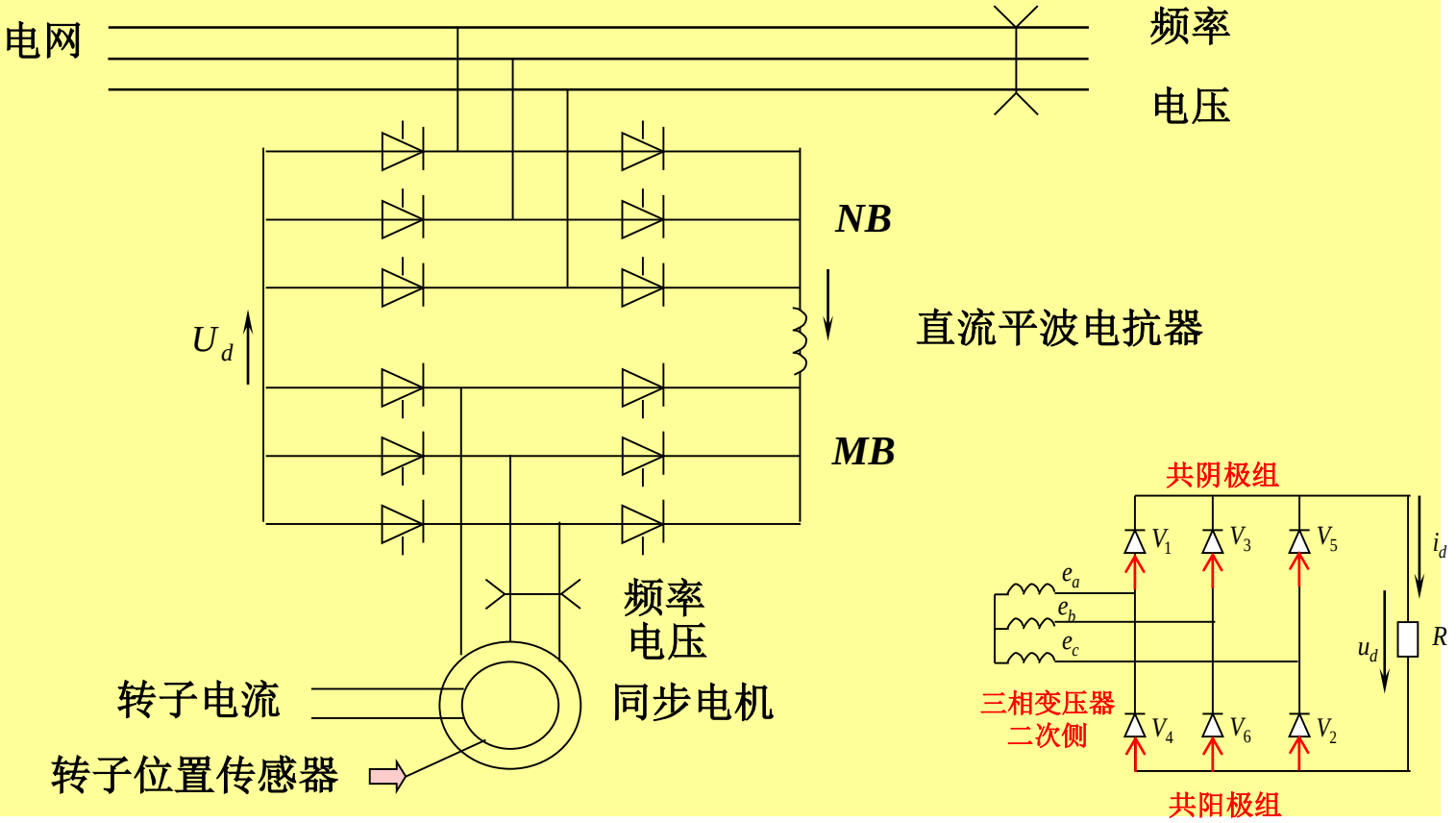
据国内外统计，在大型抽水蓄能电站中SFC装置的数量与机组台数的关系如下表所示：

机组台数 (n)	SFC装置的数量(m)
$n \le 4$	$m = 1$
$4 < n \le 6$	$m = 1$ 或 2
$n > 6$	$m = 2$

1、SFC的基本工作原理

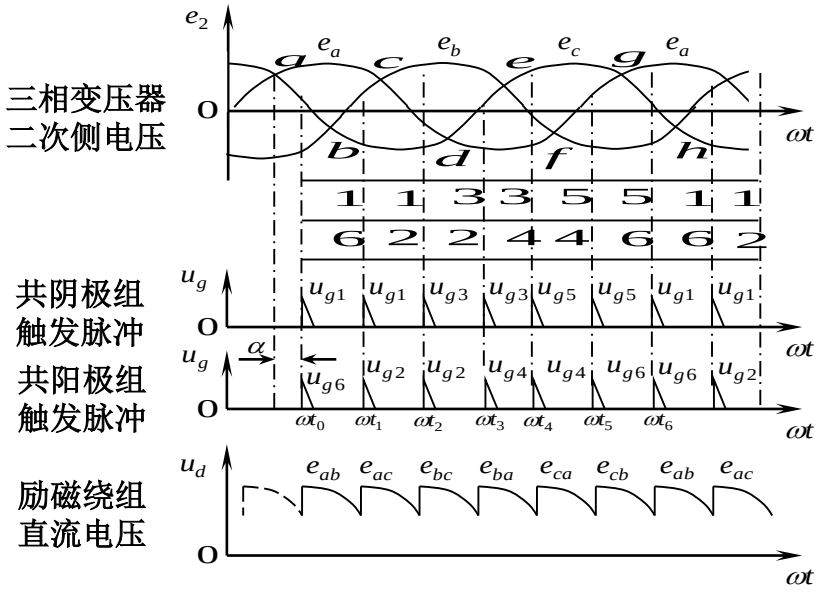
SFC是利用可控硅变频装置产生从零到额定频率值的变频电源，同步地将机组拖动起来。

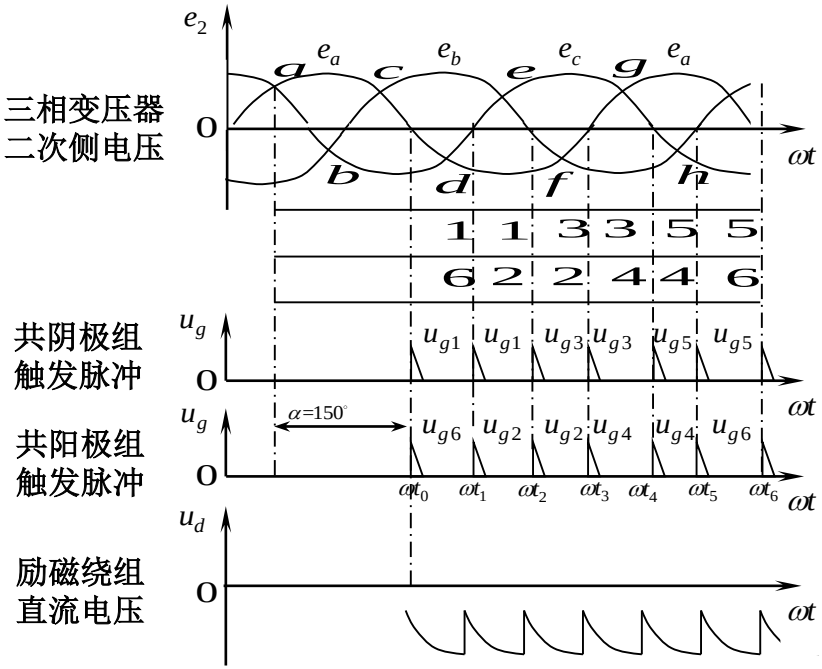
SFC主要由电网侧可控硅桥（NB）、机组侧可控硅桥（MB）以及直流平波电抗器组成。



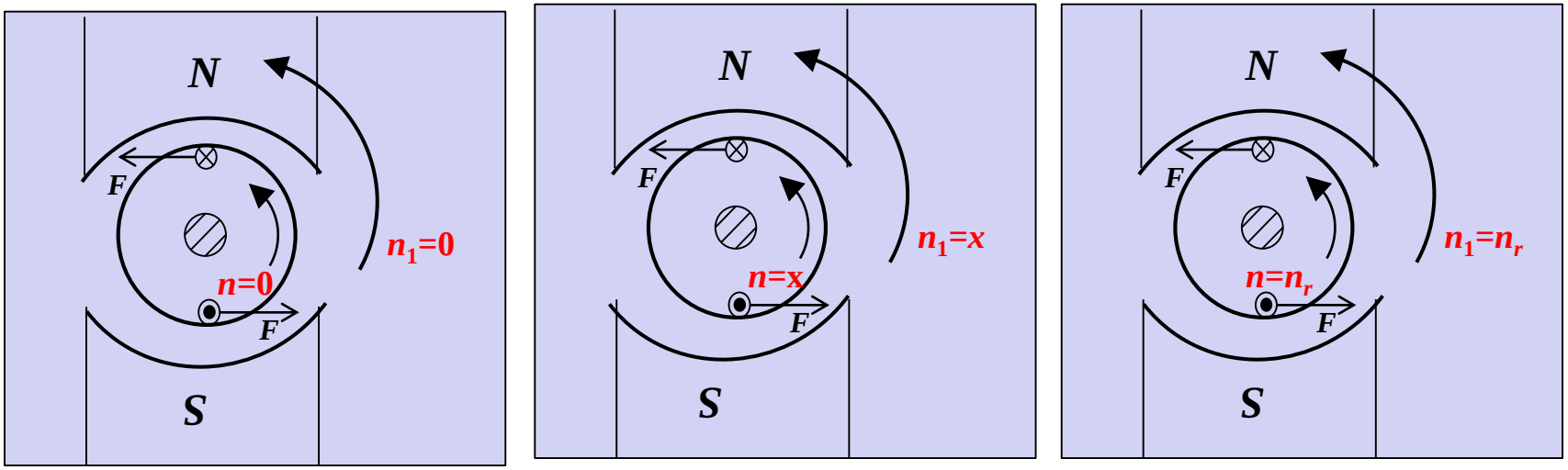
直流电压 U_d 的大小和方向由闭环控制装置监控：

- 当U_d 为正时，它是一个整流器，由电网和机组输入的交流电经整流后，以直流电的形式送入直流过渡回路；
- 当U_d 为负时，它是一个逆变器，由直流过渡回路输入的直流电经逆变后，以相应频率的交流电的形式送入电网（有源逆变）或机组（无源逆变）。





在实际应用中，被拖动机组的机端电压与其转速成正比，在开始启动时，机组处于静止状态，其端电压为零，所以SFC运行时分为两个阶段：低速运行阶段和高速运行阶段。



公式:F=BIL,所受磁场力与这三个量有关:导线垂直的磁场的大小、导线中电流的大小、导线的长度。B与电流大小和距离有关。

2、SFC的组成

SFC一般由输入单元、变频单元、输出单元、控制单元、保护单元及辅助单元等部分组成。其中：

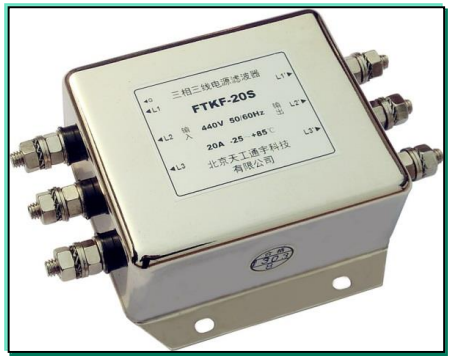
- **输入单元**

包括输入开关、输入变、限流电抗器、滤波器、滤波器开关及避雷器等；

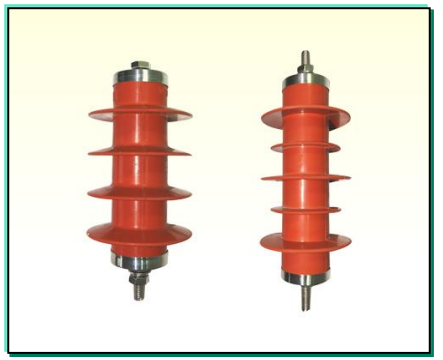
限流电抗器



滤波器



避雷器

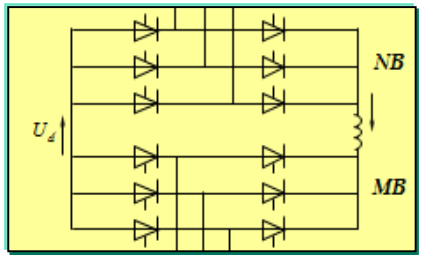


- **变频单元**

由电网侧可控硅桥（NB）、机组侧可控硅桥（MB）和两组平波电抗器组成，是SFC的主要工作单元；

可控硅桥





平波电抗器



- **输出单元**

  包括输出开关、输出电抗器、避雷器、电压互感器和电流互感器；

- **控制单元**

  包括PLC（可编程逻辑控制器）、测量单元和脉冲单元；

- **保护单元**

  包括输入变保护、变频单元保护和冷却水回路保护等；

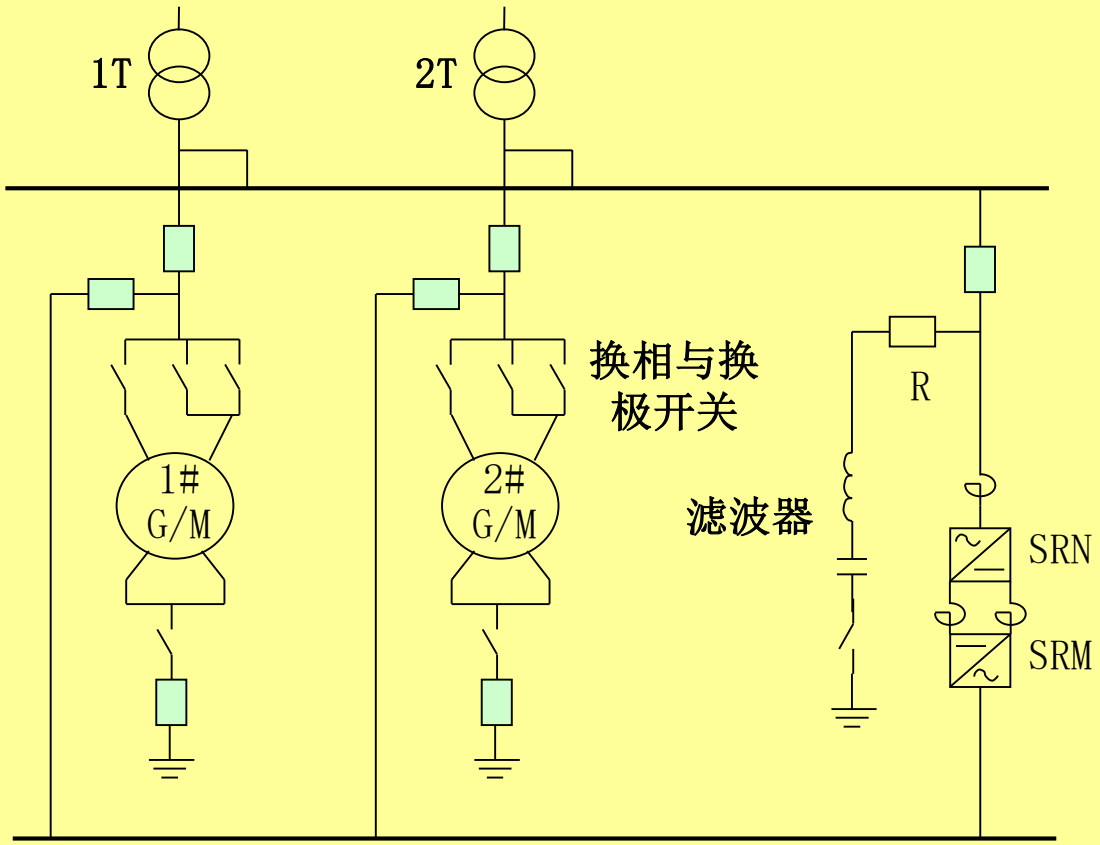
- **辅助单元**

  包括SFC冷却单元（内冷却水回路、外冷却水回路、空气冷却回路）、输入变冷却单元及其他辅助设备。

3、SFC的启动过程

SFC的启动程序可分为以下5个过程：





（1）SFC辅助设备启动过程

A. 电站监控系统向SFC发出“辅助设备启动”命令；

B. SFC启动辅助设备（输入变压器油泵、冷却水水泵、整流桥风扇、逆变桥风扇）

C. SFC合上滤波器开关。

（2）SFC准备过程

A. 监控系统打开SFC外部冷却水排水阀，外部冷却水进入SFC冷却系统；

B. 在SFC自动控制台上输入待启动的机组断路器编号，SFC进入备用状态。

C. 当监控系统发出合闸命令时，由SFC合上与待启动机组联结的断路器。

（3）SFC启动过程

Step1：电站监控系统向励磁调节器发出“启动励磁”信号，励磁系统向发电/电动机提供一个恒定的励磁；

Step2：电站监控系统向SFC发出“启动机组”信号， SFC解除脉冲闭锁，建立变频电源回路，发电/电动机启动；

Step3： SFC控制变频电源的频率，机组转速逐步上升；

Step4：当机组转速上升到90%额定转速时，向电站监控系统发出“启动同期”命令，SFC将测得的电网频率作为频率基准值，并据此调节机组的转速；

Step5：当机组满足同期条件时，由电站监控系统将发电/电动机断路器合上，机组与电网联结；

Step6：当并网完成后，SFC立即将调节器闭锁，以防止在电网、发电/电动机和SFC之间形成电流环；

Step7：当SFC的启动电流为零时，SFC断开与机组间的输出断路器，发电/电动机启动过程结束。

（4）SFC备用过程

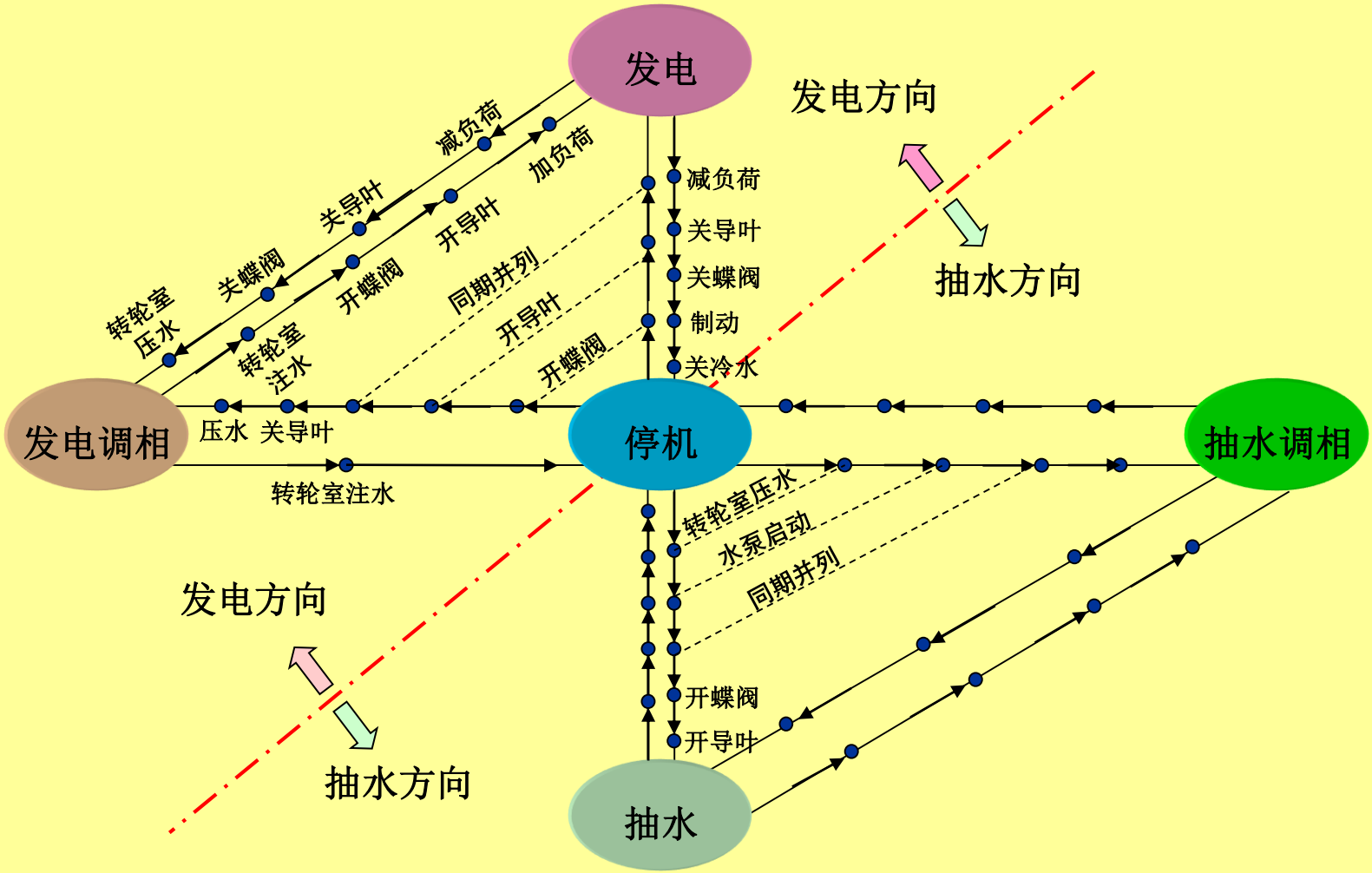
- SFC的输入断路器在合闸位置；
- 滤波器开关在合闸或分闸位置；
- 输入变压器油泵、冷却单元去离子水泵、整流桥风扇及逆变桥风扇都处于运行状态。

（5）SFC辅助设备停止过程

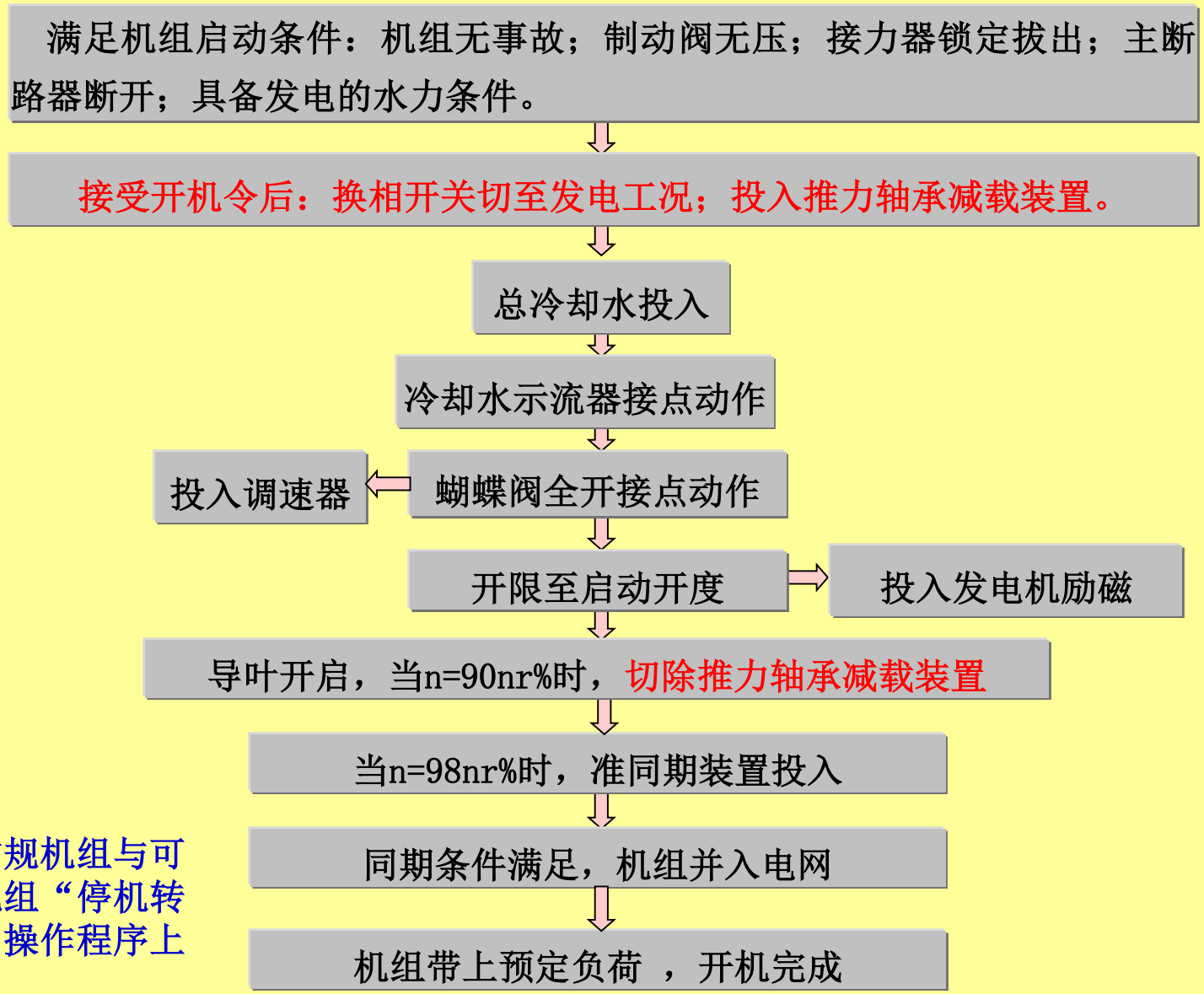
电站监控系统向SFC发出“辅助设备停止”命令，SFC断开输入断路器。在5min后，SFC将输入变油泵、冷却单元去离子水泵、整流桥风扇及逆变桥风扇停下，并向电站监控系统发“辅助设备停止过程完成”信号。

7.7 可逆式机组工况转换过程的操作程序

可逆式机组具有五种基本工况，即：停机、发电、发电方向调相、抽水和抽水方向调相。

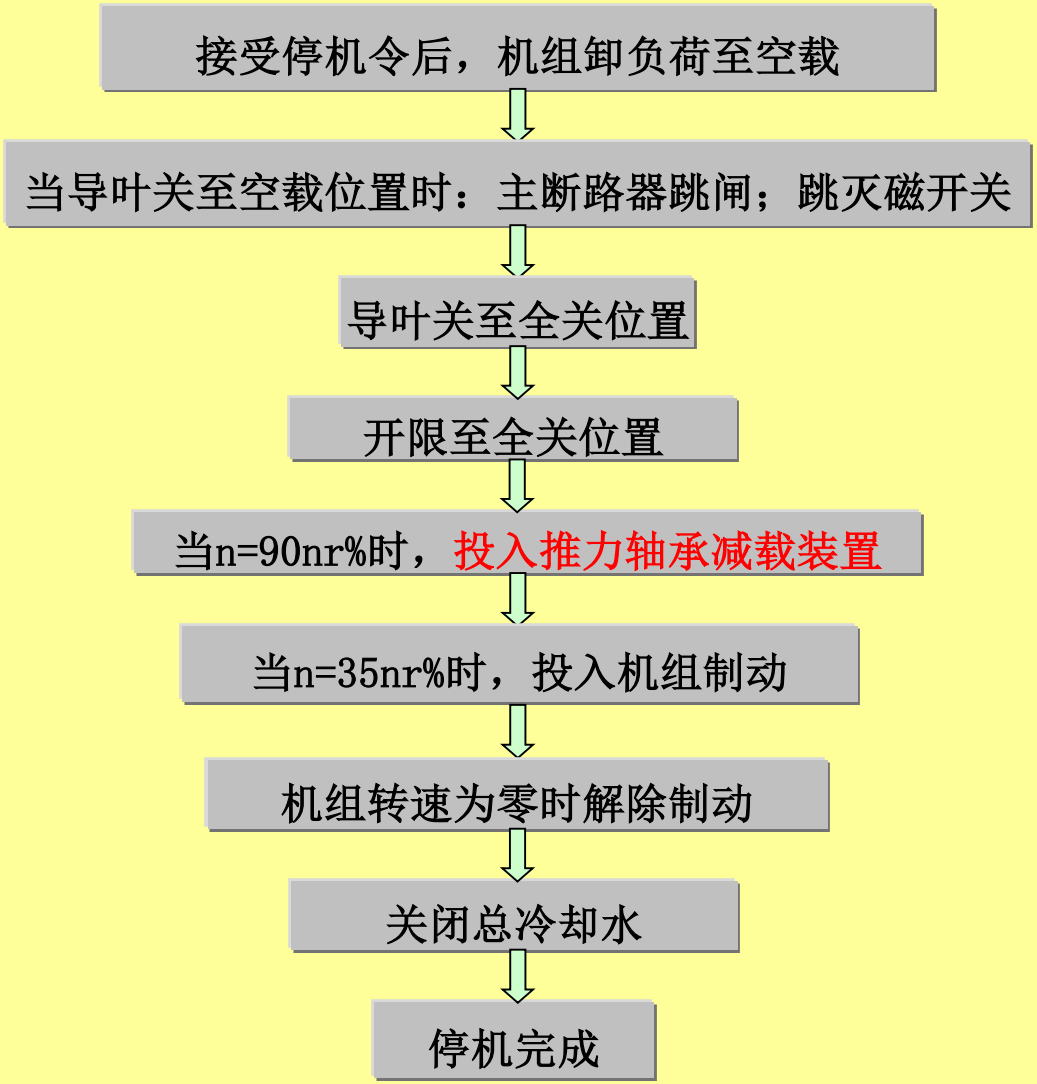


一、停机转发电



简述常规机组与可逆式机组“停机转发电”操作程序上的异同。

二、发电转停机


接受停机令后，机组卸负荷至空载
当导叶关至空载位置时：主断路器跳闸；跳灭磁开关
导叶关至全关位置
开限至全关位置
当n=90nr%时，投入推力轴承减载装置
当n=35nr%时，投入机组制动
机组转速为零时解除制动
关闭总冷却水
停机完成

三、停机转抽水

满足机组启动条件：机组无事故；制动阀无压；接力器锁定拔出；主断路器断开；具备抽水的水力条件。

接受抽水指令后：换相开关切至抽水工况。

总冷却水投入

转轮室压水

水泵启动控制（变频启动或背靠背启动）

同期条件满足，机组并入电网

解除转轮室压水

转轮室注水

转轮室造压：关闭转轮室排气阀

导叶开到抽水位置

抽水调相

作业：

1、简述可逆式机组的特点。

2、简述可逆式机组的启动方式有哪些。

3、简述异步启动的工作原理；

4、简述背靠背起动过程和特点；

5、简述半同步起动过程和特点；

6、简述SFC启动过程；

7、简述常规机组与可逆式机组“停机转发电”操作程序上的异同。

The End