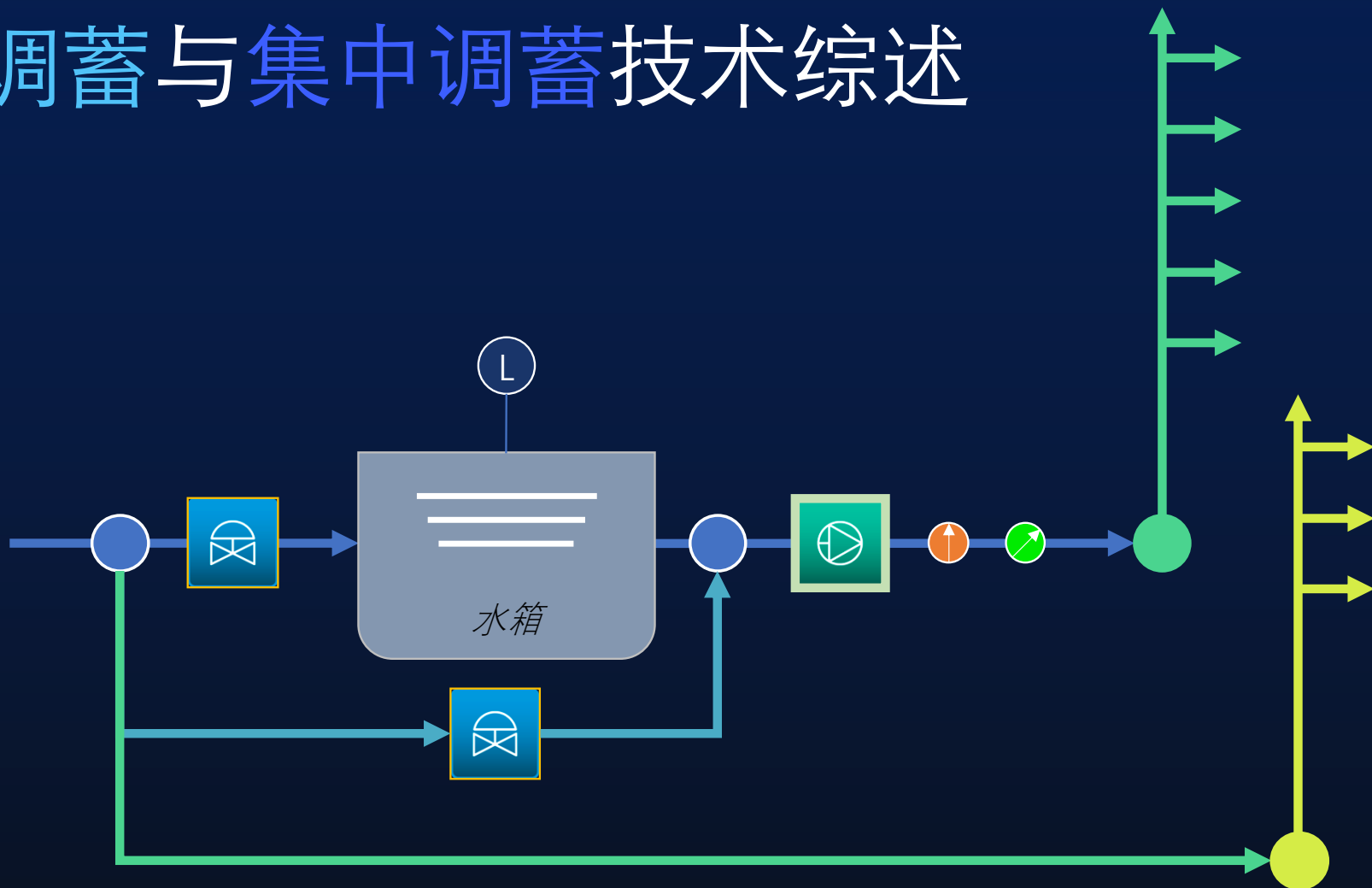


凯泉洞见：
高质量供水模式之二次加压与调蓄供水
高质量输配水模式

剖析二次加压与调蓄供水系统 构建高效卫生高品质供水模式 ～供水系统末端调蓄与集中调蓄技术综述

凯泉：
善水之道，以利万物



1. 二供泵房结构形式及场景分析
2. 善水之道，以利万物
3. 高质量供水模式

PART. 1

第一部分



二供水房结构形式及问题分析

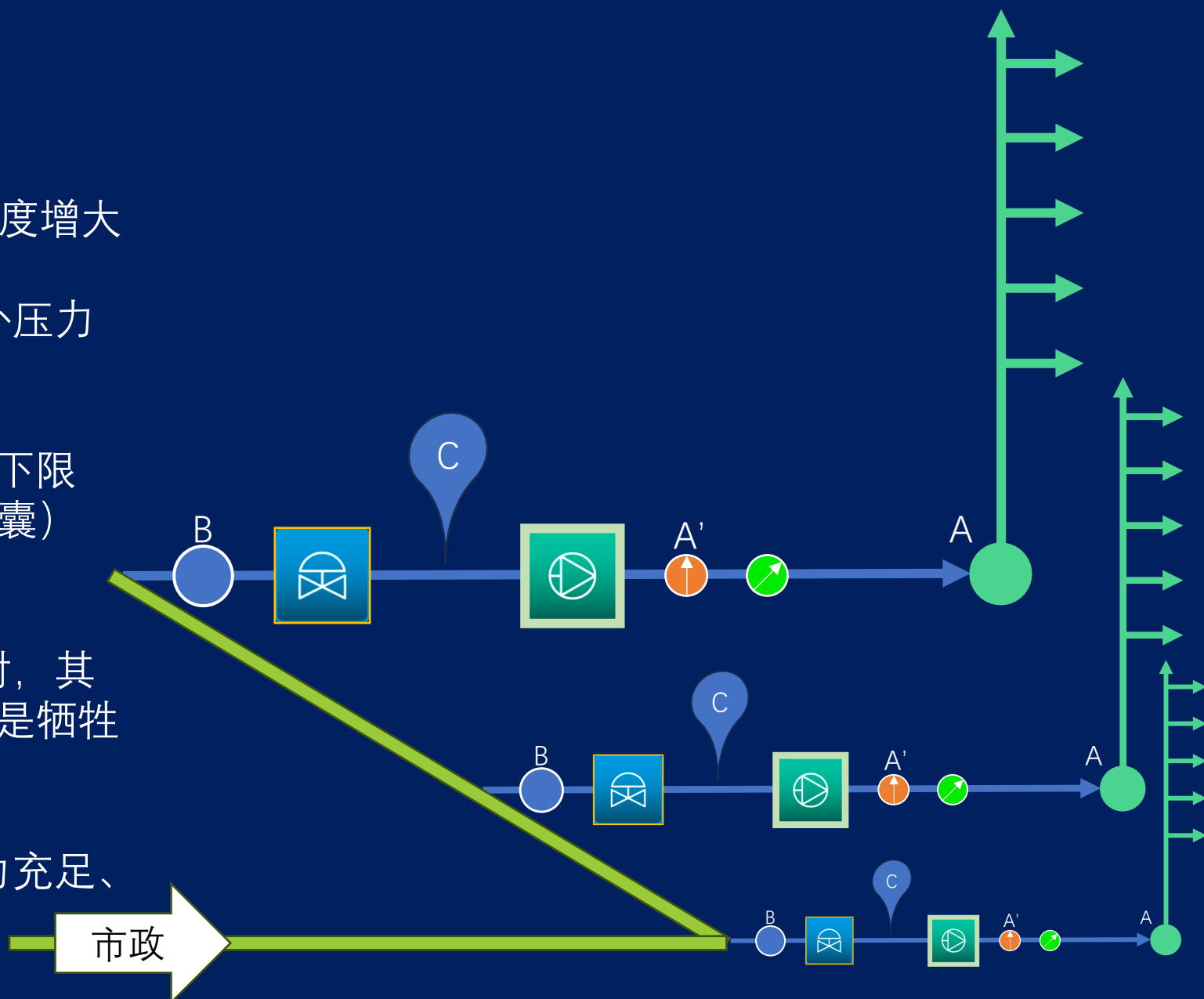
叠压供水

当A点需求增大，即用户端阀门开启度增大
A'处压力下降
变频恒压系统会提高泵组转速以弥补压力
下降

从而使得B点压力下降，有可能越过下限
C处稳流罐内部设弹性元件（压缩气囊）
会瞬时有限度地改善B点压力下降

当在控制系统中设置转速限制功能时，其
可以限制B点压力下降幅度，但必然是牺牲
了用户需求。

叠压供水模式可适用当市政管网压力充足、
管径足够的场景，



叠压供水“特别处置”

部分厂家在水泵出口处增设到设备入口处的回流管

在当稳流罐不能及时工作以缓解负压时，水泵出口的高压水可弥补大流量抽吸带来的负压损害。

夜间小流量时，水泵转速未能实时调整，回流管可适度缓解“闷打”问题；

还有更常见的是稳流罐作为摆设！完全不起稳流作用！或者是因为气囊失去弹性，或者是空气阀失灵。



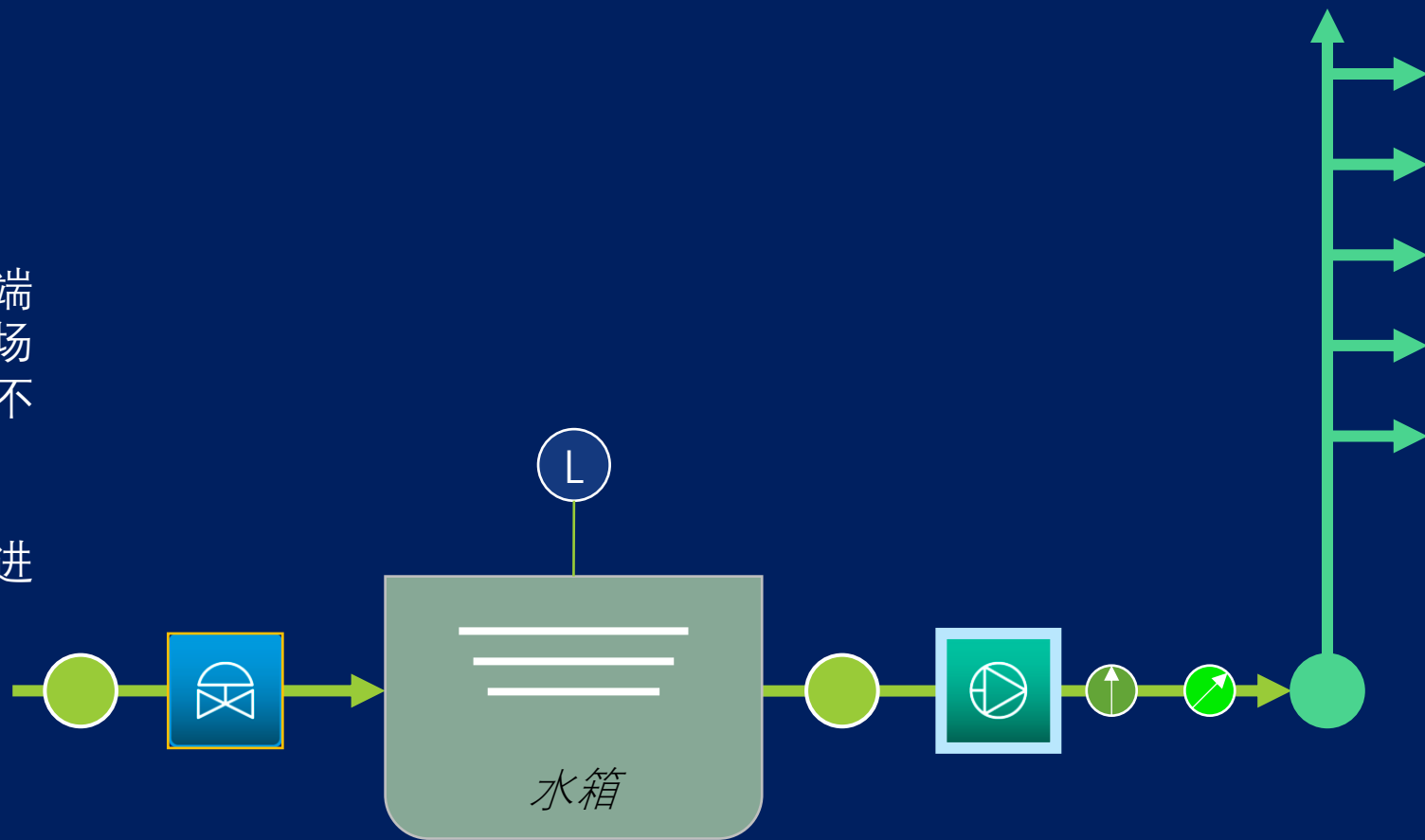
箱式供水

当市政管网压力不足、管径不足、泵房后端瞬时峰值用量过大、泵房前端用水集中等场景下，改用箱式供水结构以平衡前端来水不足和后端瞬时高峰问题；

一种常见的做法是以遥控浮球阀控制水箱进水，此举会导致水箱液位常态化维持高位，完全无法利用水箱的调蓄容积；

遥控浮球阀的启闭开度随水位变化而波动，这种波动带来了管网压力波动和冲击；

管网上的漏损水平一方面取决于承压绝对值，另一方面取决于压力波动幅度。



遥控浮球阀工作时的实况视频



泵站上游4公里处的压力表示数变化



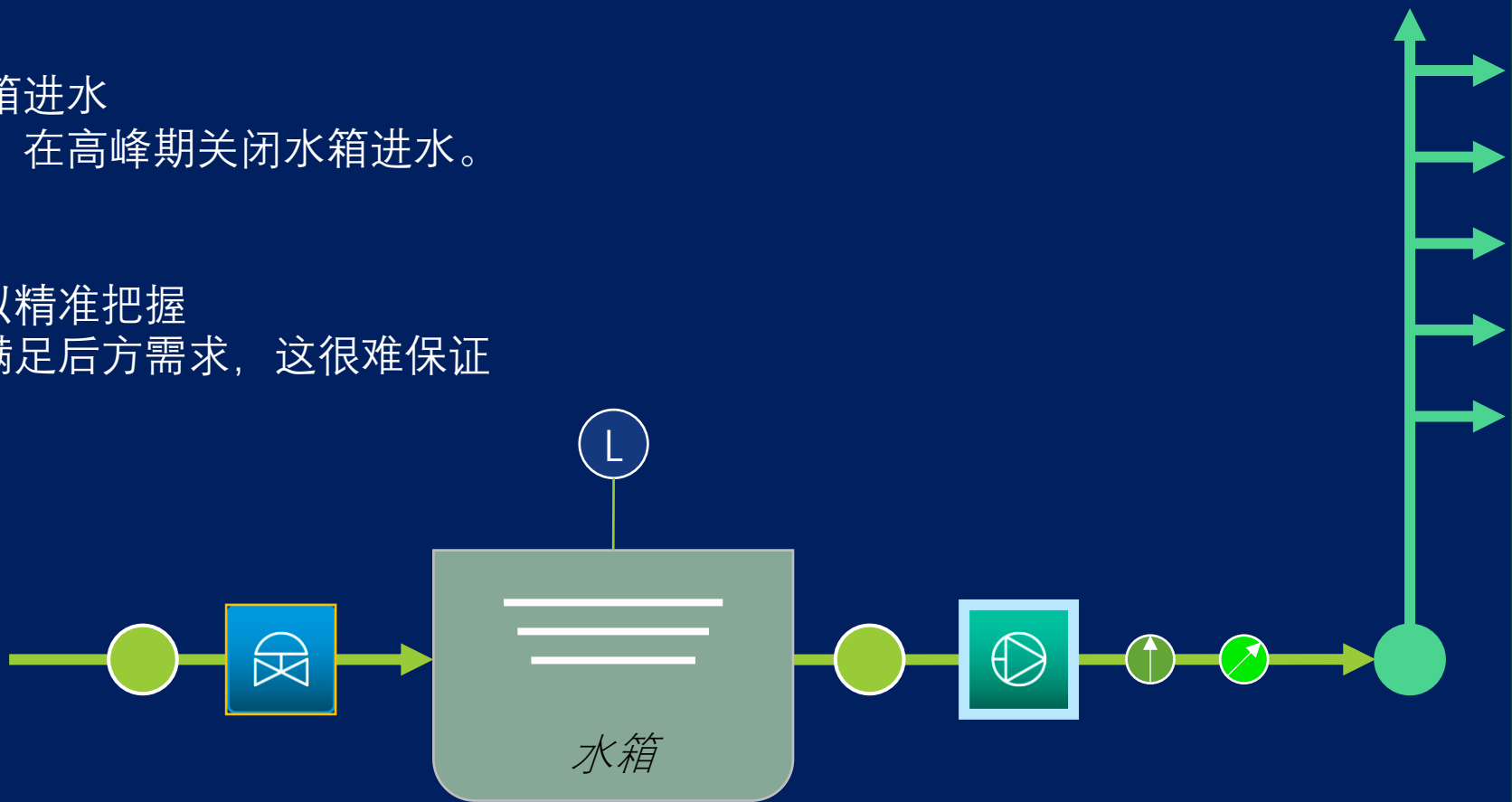
水箱入口处的浮球阀启闭随水箱液位波动而变化

箱式供水

另一种应用方式是以开关阀控制水箱进水
其逻辑预先在全网低谷期蓄满水箱，在高峰期关闭水箱进水。

该逻辑的缺陷是：

- 1 高峰期的时间点每天有变化，难以精准把握
- 2 关闭进水后，要求水箱储量必须满足后方需求，这很难保证

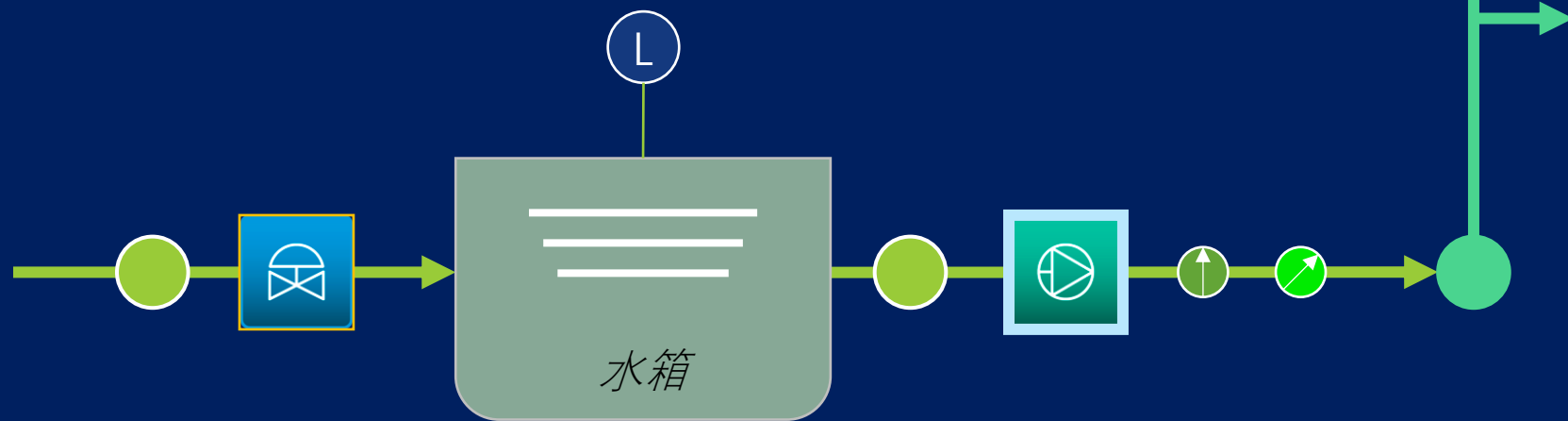


- 3 峰期究竟持续多长时间，是个不确定的因素；
- 4 在谷期蓄满水箱操作中，究竟以多快的速度执行蓄水？
- 5 蓄满水后，预期的峰期时间点还未来临，水箱水位下降，被迫重新蓄水；
- 6 在调度视角看，成百上千座水箱如何有序蓄水？
- 7 所谓的排队式轮流进水，如何指挥排队？

箱式供水

以开关阀控制水箱进水方式下，设置水箱的意义被定义为：当下游大流量用水时，泵房入口并不产生大流量，大流量取自水箱，从而避免入口处负压。

但当采用开关式进水策略时，箱入阀门全部开启，其产生的流量比用户峰期用量大3倍左右；
即：水箱非但不能起到稳流作用，还加剧了流量波动！
这种波动若是发生在用水密集时期，则直供区用户就会感受到欠压或压力波动，从而引发大量投诉。



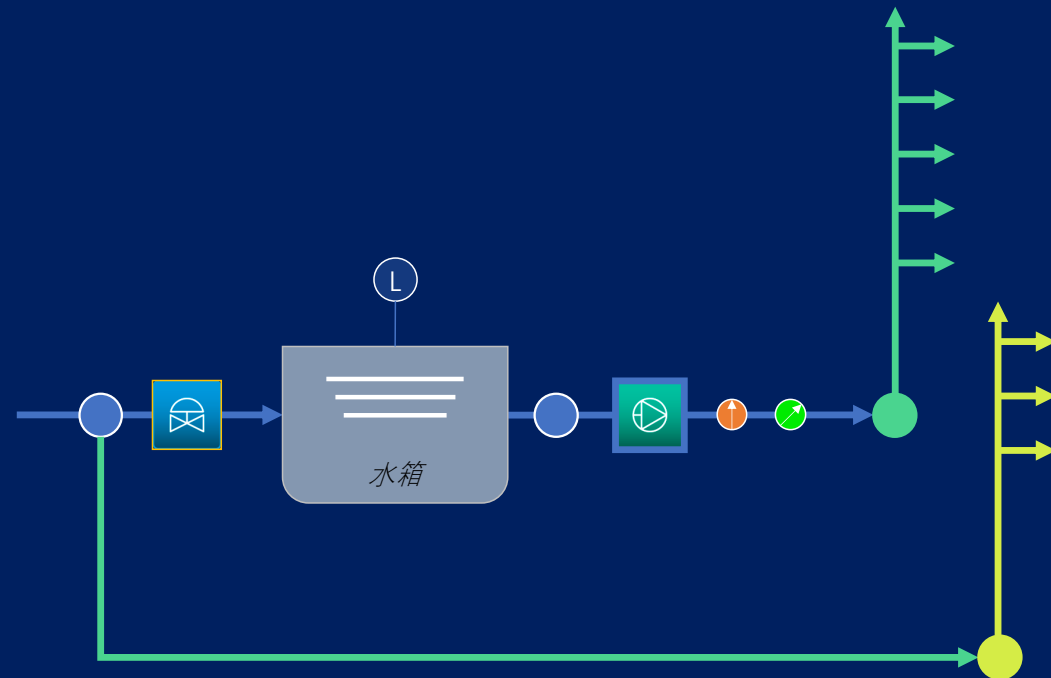
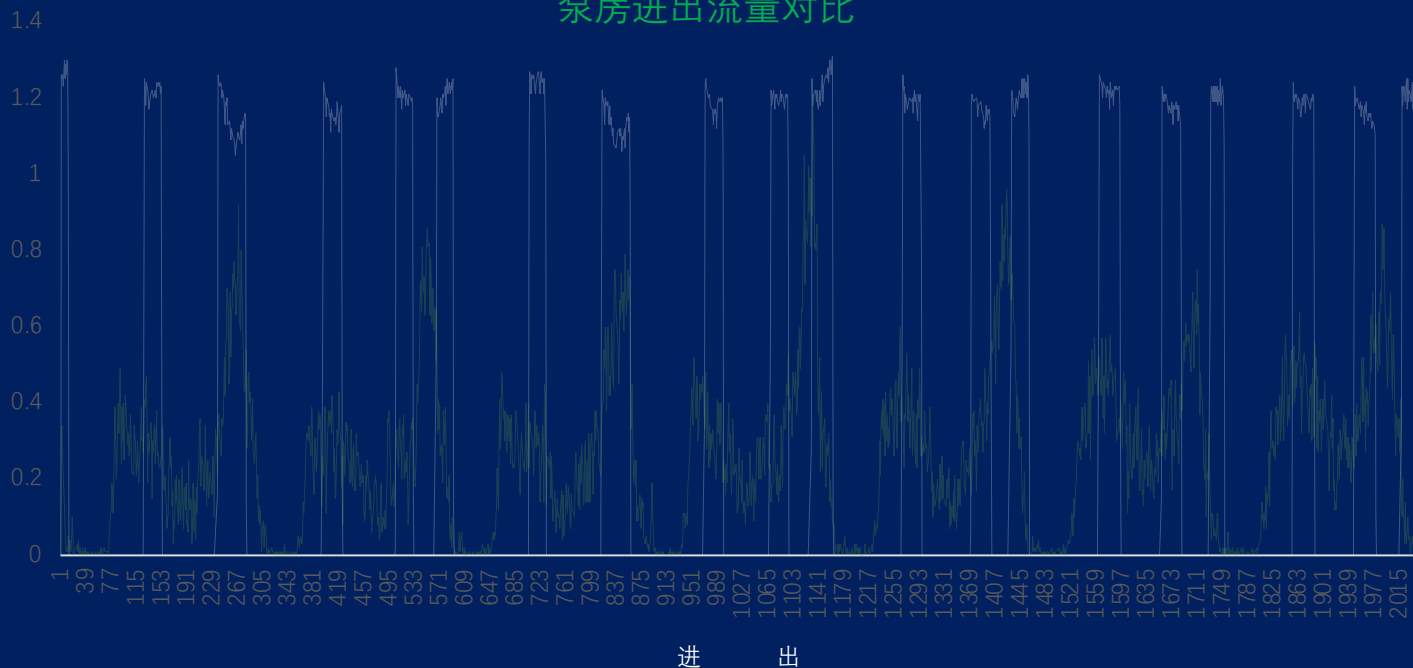
在试图减小入口阀门开度进而避免大流量进水的努力中，会遭遇到水箱液位、进水时间点、流量限制等条件之间的逻辑不自洽。

大面积箱式结构进水失控时带来的重要问题

当水箱蓄满水之后，用以满足后方加压区用水需求，，但当水位稍有下降时，不恰当的器件或控制逻辑都会产生新的进水，如此则引发加压区和直供区的抢水问题。

如图，实测某箱式泵房进、出水流量表现
泵房入口瞬时流量大大高于加压区瞬时用量需求
其导致了直供区压力间歇性不足。
大量箱式泵房均以此逻辑运行，则会导致片区级压力不足

泵房进出流量对比



关于水箱容积设计过程及运行控制过程的困惑

大部分设计院/业主不掌握水箱容积测算的数学方法！

既有规范中的描述为水箱容积可按后端总用量的10%~20%进行设计，这种描述所对应的意义是峰期水量占总用量的比例是在10~20%之间。

然而实际工况是变化的，节假日、气温与季节变迁、住宅的入住率都会影响峰期用水量。

鉴于设置水箱的目的为平衡峰谷用量带给管网的压力冲击问题，则可以用差分方程法求解水箱液位变化，在运行期，可采取动态纠偏的方法来应对下游用量的变化过程中的随机因素

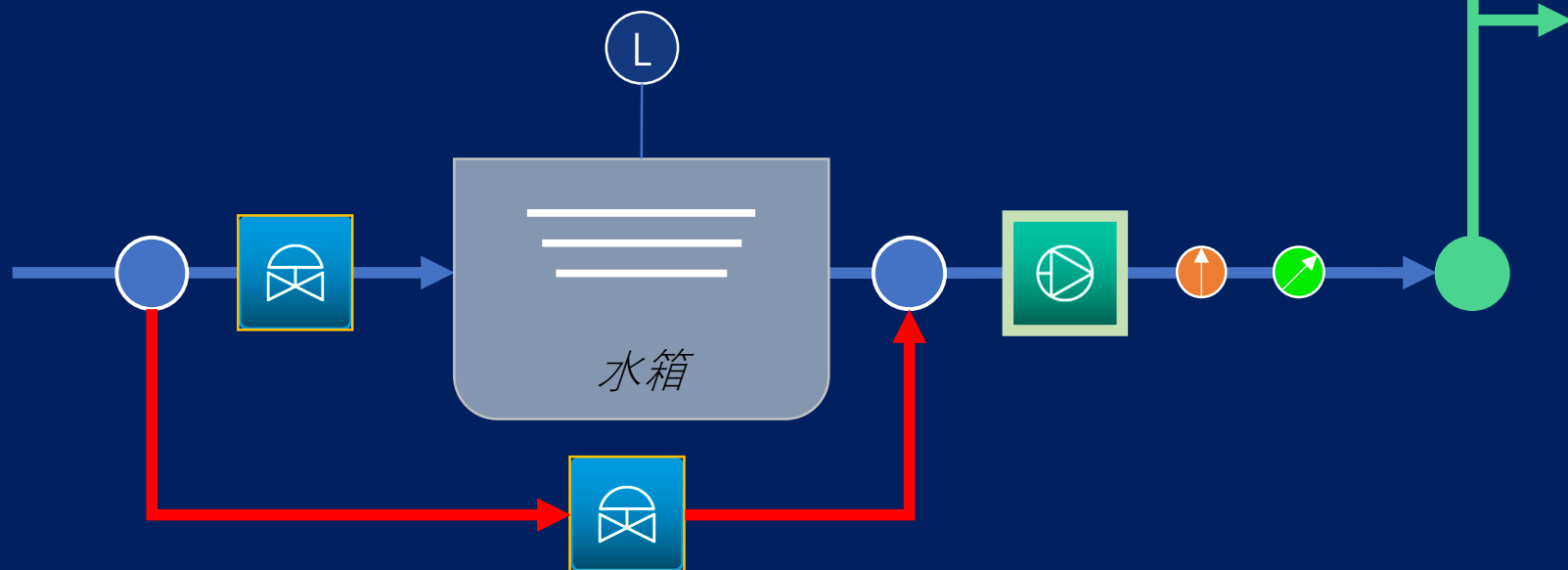
$$h_{(k+1)} = h_{(k)} + \frac{T}{A} [Q_{i(k)} - Q_{o(k)}] + \omega_{(k)}$$

新水位 = 旧水位 + 进出流量差/水箱底面积 + 随机因素

关于箱式结构在供水过程中的能耗问题

在水箱后的用户处于小用量时期，为了避免从水箱取水带来因无法利用市政余压而产生的能耗过高问题，设立专门管道，从市政入口处直接取水（图中红色管道），进而实现余压利用；当定义小用量为峰期用量与谷期用量平均值时，这种方式可保证大约有50%的水量经由叠压供出。

在叠压直供回路的启用逻辑中，若考量的不是流量大小，而是压力充沛程度，则又有可能会导致水箱中的储水未能及时供出，进而产生水龄问题。



关于箱式结构在供水过程中的水龄问题

水龄有两个概念：

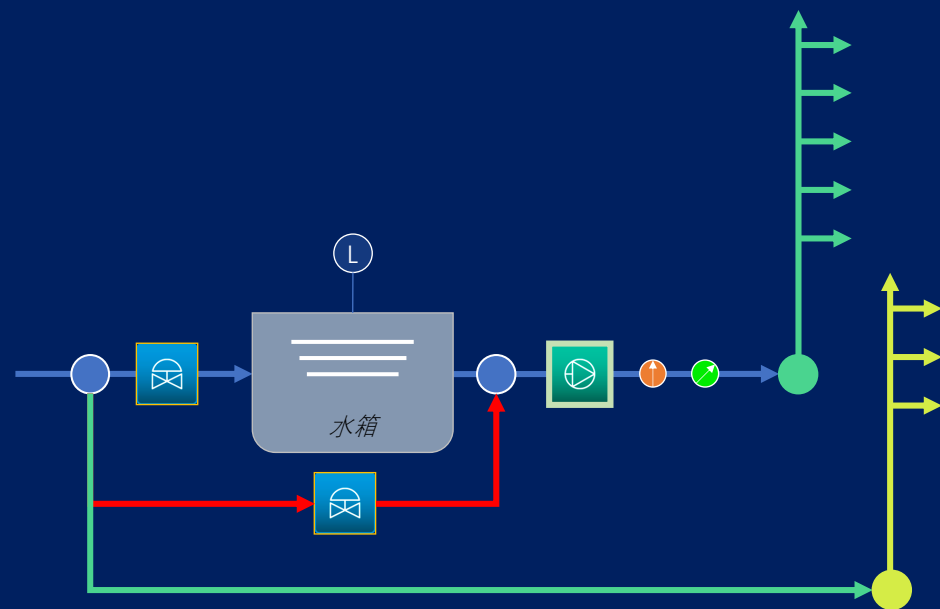
1 是水体在管网中滞留的时间，一般不超过1星期。由管道布设和用户用量在供水范围内的空间分布特征有关。往往在管道维护中通过消防栓实现过期水体排放或者设置中途加氯点。

2 是水体在水箱中的滞留时间，要求不超过24小时。因为24小时是用户用水的强周期，而其它如6小时、12小时等等说法都是不了解用水的强周期性特征产生的错误说法。

在二供泵房设计中，为了在小流量时期充分利用市政余压以便降低水泵扬程，在泵房入口处直接配置叠压管道至水泵入口。如此一来，则当市政余压较高时，就没有机会从水箱抽水，进而导致水箱水体水龄变长。

部分用户发现了此问题之后，直接摒弃叠压回路，从而导致泵房能耗大幅上升！

解决思路是按下游用量起伏的小流量区间来启用叠压供水，摒弃监视入口处压力的启用逻辑。

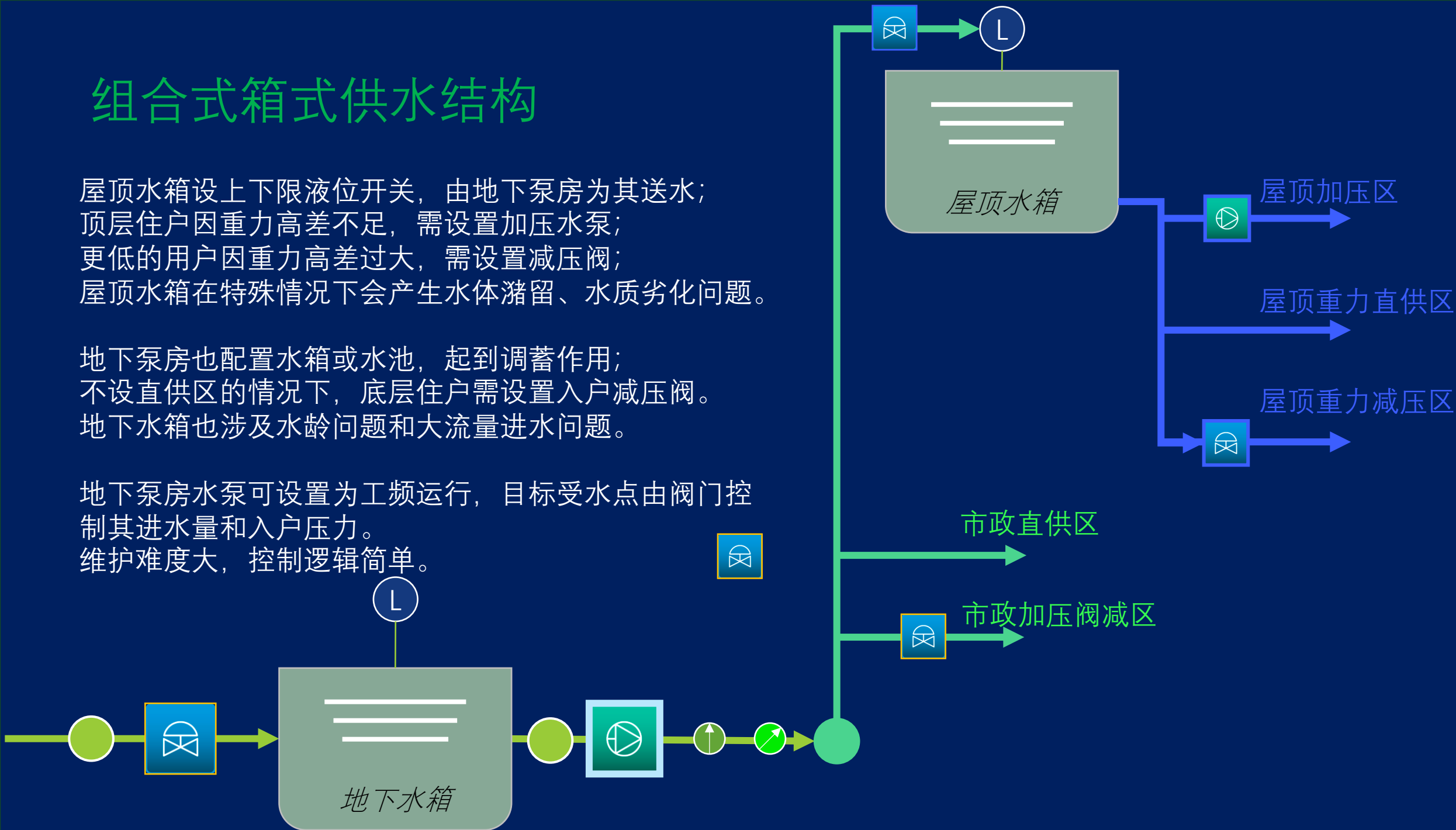


组合式箱式供水结构

屋顶水箱设上下限液位开关，由地下泵房为其送水；
顶层住户因重力高差不足，需设置加压水泵；
更低的用户因重力高差过大，需设置减压阀；
屋顶水箱在特殊情况下会产生水体滞留、水质劣化问题。

地下泵房也配置水箱或水池，起到调蓄作用；
不设直供区的情况下，底层住户需设置入户减压阀。
地下水箱也涉及水龄问题和大流量进水问题。

地下泵房水泵可设置为工频运行，目标受水点由阀门控制其进水量和入户压力。
维护难度大，控制逻辑简单。



小结

早期应用的箱式供水设备/泵房/泵站 均未能妥善解决水箱入口阀门的控制问题！
部分城市因为人口密集、基础设施老旧/管径不足，直供区投诉尤为明显，水厂送水泵房无法进一步提高供水压力

城市包括：西x、武x、长x、海x、贵x、连x、温x、苏x

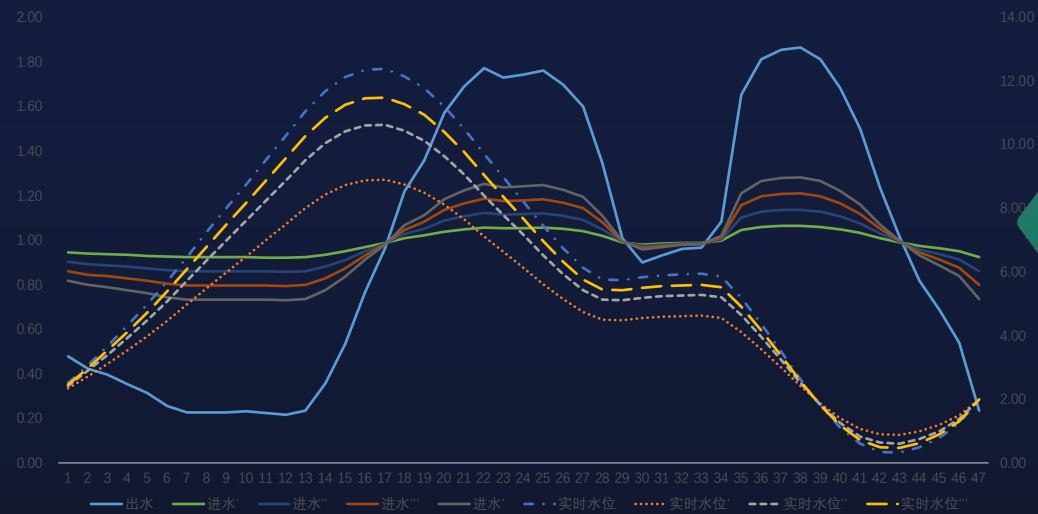
政府/行业主管部门开始意识到二供泵房中的水箱运行控制问题，并修改“二次供水”为“二次加压与调蓄供水”，末端泵房应和管网中途调蓄泵站一起助力实现压力和流量的时空均衡！

水司在逐步接管二供泵房时，除了要解决这些问题，还有迫切希望及时、实时掌控泵房运行动态工况的需求
大量（中等规模城市平均2000座）泵房的数据监视、报警处理成为既有调度管理人员不可承受的负担！

泵房运行控制智能化及管理平台建设应运而生。
但是，大部分平台建设只能满足看见的需求，而无法助力处置的需求！

PART. 2

第二部分

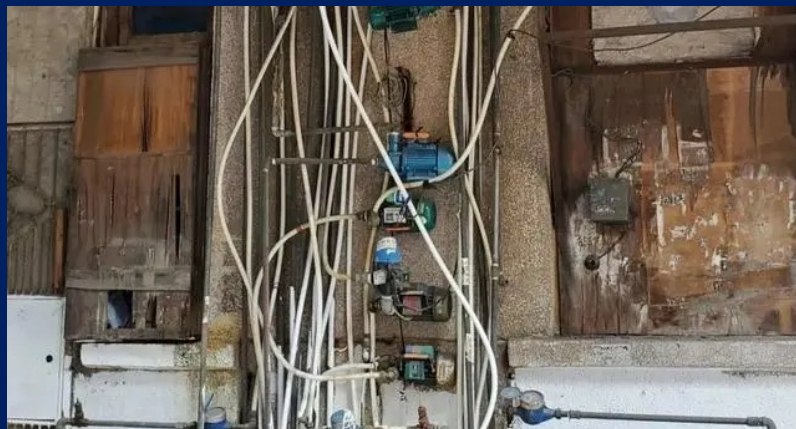


善水之道，以利万物
Empower Water, Empower Future

增加水厂/源头压力大都不可行

大量的“水泵阵”昭示了从源头加压的解决方案受限于各种因素，唯有从二供设备及其在供水网络中的所处环境着手，科学规划和应用调蓄措施。

老旧小区供水改造要改造的根本内容是什么？



凯泉洞见

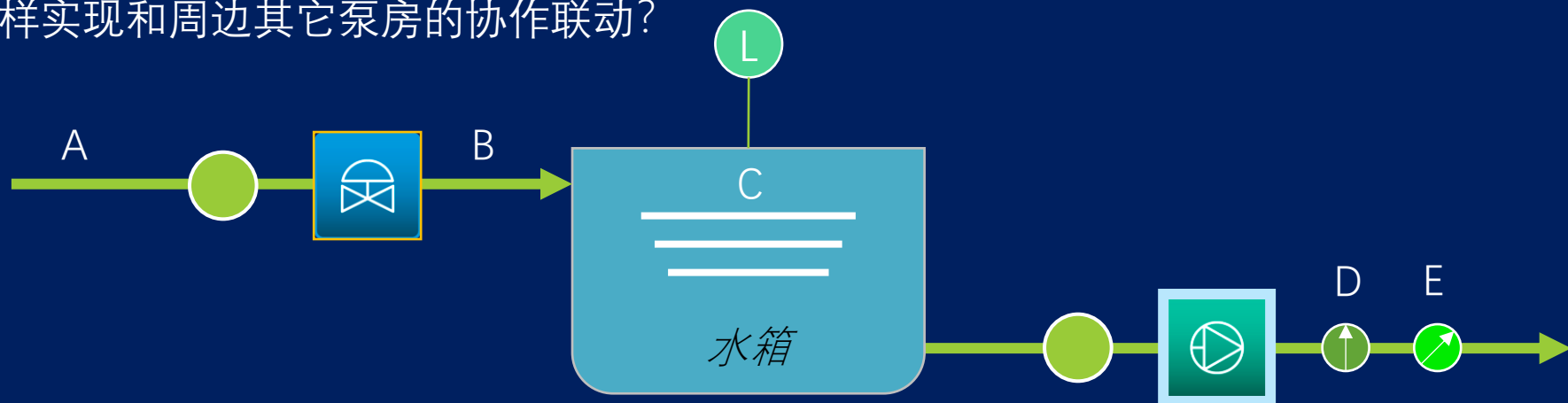
市政管道承压水平受限、上游管径不足、压力常态化不足、压力间歇性不足、下游用户瞬时用量过大……，凡此种场景下，为下游用户加压过程中均应配置水箱/水池。

凡是带水箱的泵站，都应实现调蓄化运行，所谓以稳定的供给满足变化的需求。这关乎到配置水箱的目的和意义。

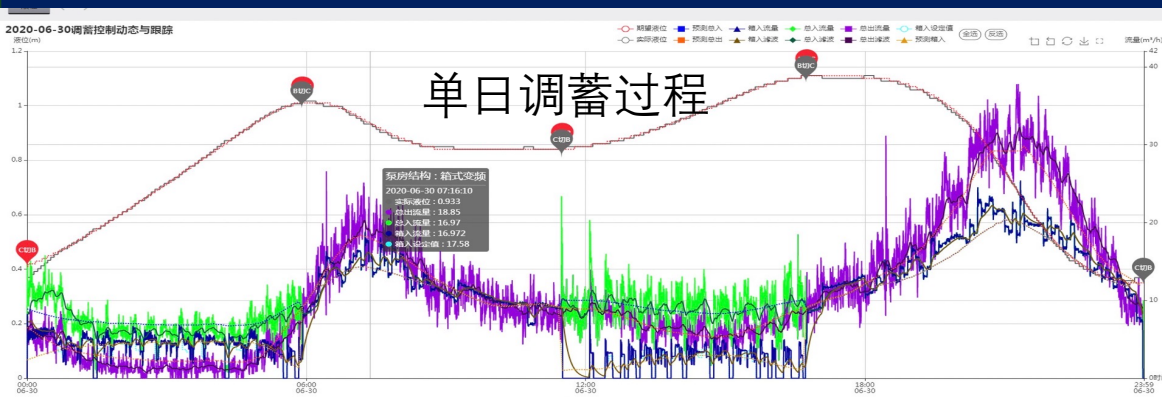
配置水箱就涉及到用量形态预测、静态容积测算、动态储水控制、实时进水控制、水龄控制、能耗挖潜等技术细节。

箱式泵房/泵站智能化运行模式的要义

- A 进站管道的最大允许抽吸流量测算 = 多大的抽吸量会导致其压力下降到允许值?
- B 入箱阀门的选型及控制模式应该是怎样?
- C1 水箱的容积应该设计为多大?
- C2 任意时刻, 水箱的实时水位应该为多少?
- C3 在下游用水量较小或较大时, 设计容积和调蓄目标失配时, 水位控制应如何进行?
- D 水泵出口压力应如何给定为合理的水平?
- E 后端用量如何预测得到?
- F 怎样控制能耗?
- G 怎样实现和周边其它泵房的协作联动?



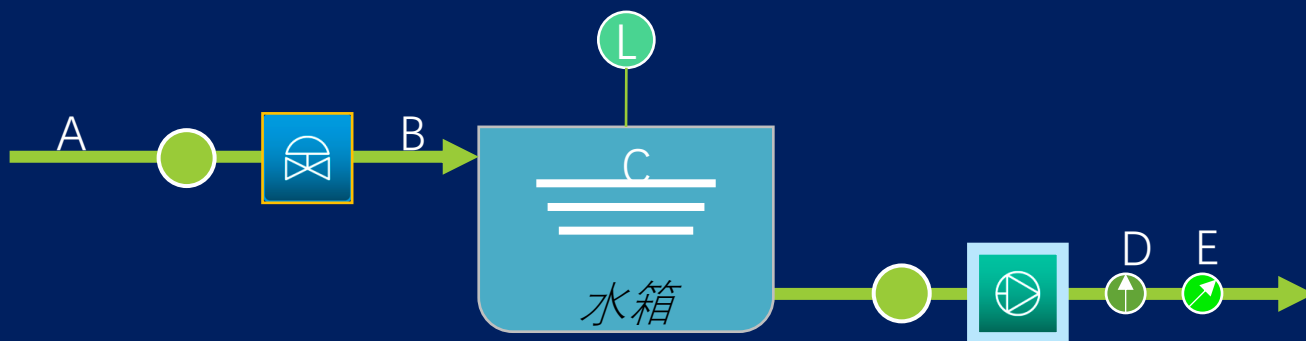
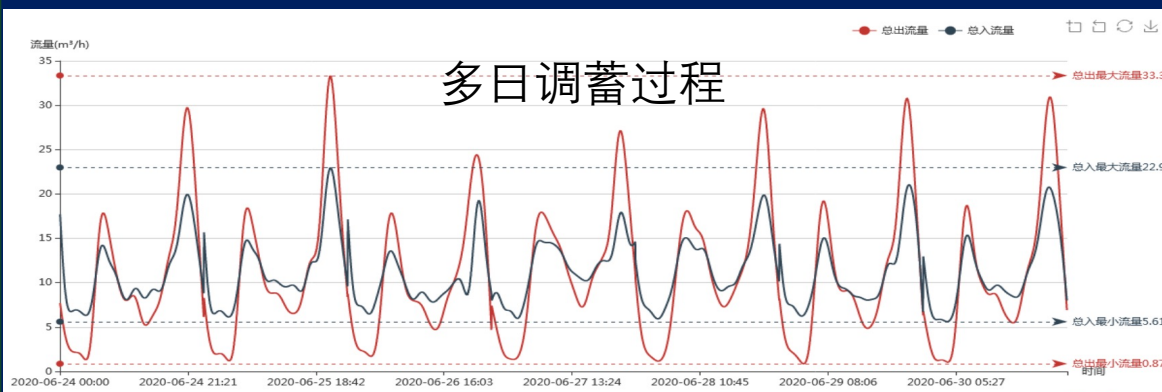
A: 箱式泵房/泵站入口处的最大允许流量



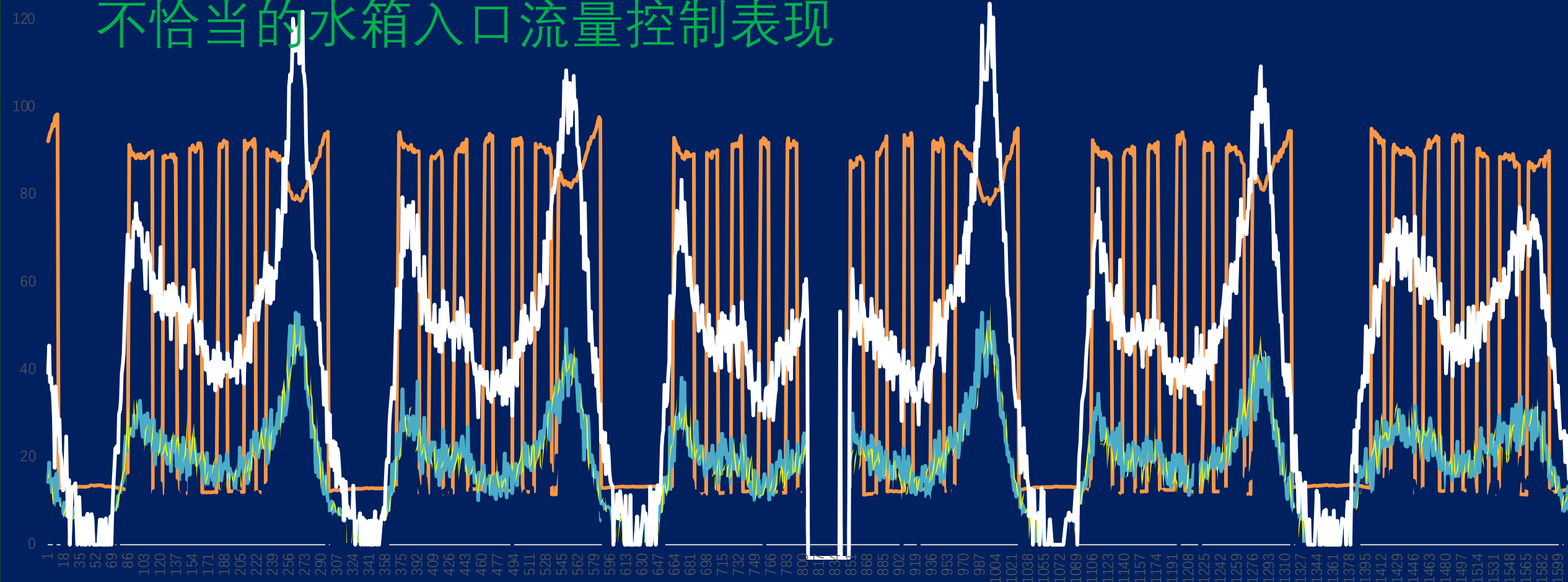
因为泵房出口E处的流量因用户用水行为而变化，这种变化体现了该处用户的用水特征。若为居民用水，该处一般会表现为早晚两个用水高峰，如左图紫色曲线所示。

在预知该区域日总用量Day of Flow的前提下，则泵房入口A点处的最大/最小流量为 $\text{Day of Flow}/24\text{h}$ ，同时，水箱的调蓄容积必须足够充分。

调蓄容积可用差分方程求解。



不恰当的水箱入口流量控制表现



如图

白色曲线为泵房多路出口流量总和，体现了该区域用户的用水起伏

黄色曲线为该泵房入口流量形态，表现出间歇性进水特征，从而引发泵房入口处压力间歇性大幅波动。

泵房入口流量的波动是引发一系列问题的根源，在图中看出，泵房入口瞬时流量在除了晚高峰之外的时段里都大于用户需求。即水箱非但未能起到稳流调蓄作用，反而加剧了流量波动。

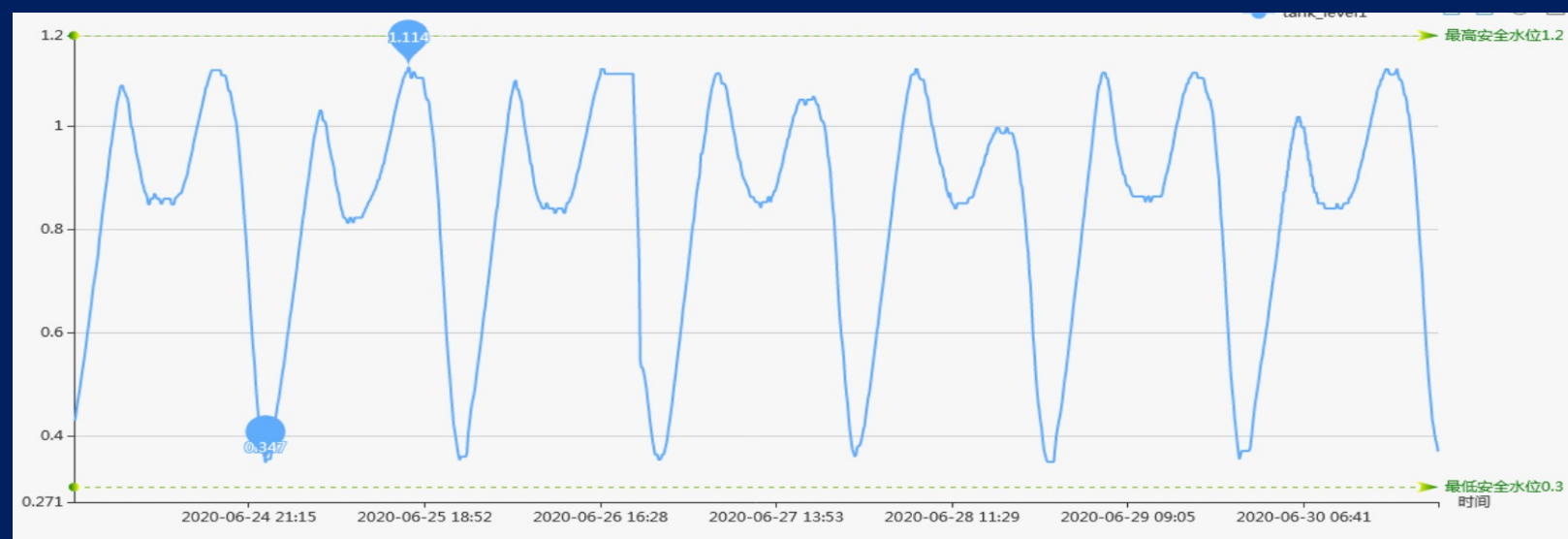
B 水箱入口控制阀门的选型

为了根据下游用量的变化来实现对水箱入口流量的控制，显然应配置流量调节阀。

但：
并不宜根据流量来输出阀门调节指令，水位的变化梯度才是实现阀门闭环控制的参考变量，

因为：
水位的变化梯度是流量的直接体现，同时它关乎水泵的安全运行和水箱溢流防止。

如图：
通过既定的液位规划结果控制调流阀后形成的水位结果



阀门的选型和流量控制带来入口压力的不良表现



泵房入口压力经常性下探到0，引起直供区欠压投诉频频；

起伏的压力还会使得入户流量计量失准，水表空转、反转；

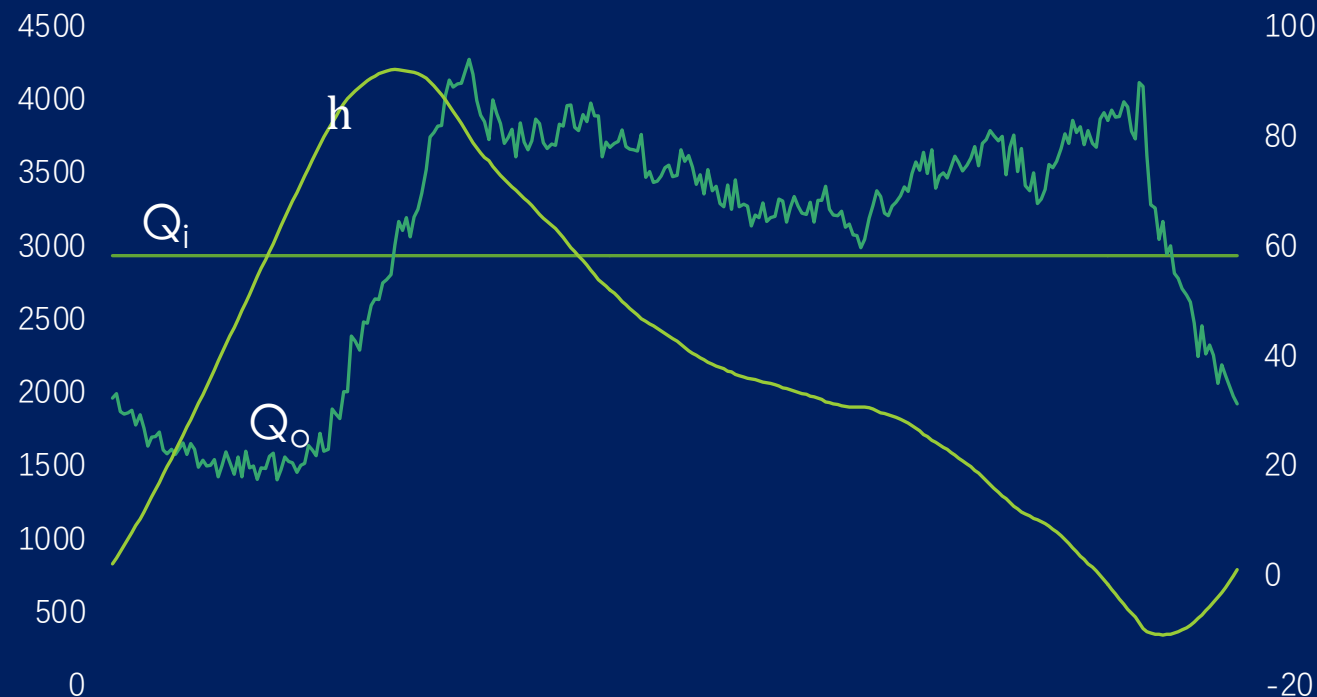
C1 用差分方程求解必须的水箱调蓄容积

$$h_{(k+1)} = h_{(k)} + \frac{T}{A} [Q_{i(k)} - Q_{o(k)}] + \omega_{(k)}$$

h : 水箱水位;
 k : 控制间隔;
 T : 间隔时长;
 A : 水箱底面积;
 Q_i : 水箱入口流量;
 Q_o : 水箱出口流量
 ω : 随机因素

根据质量守恒定律, 单位时间间隔 T 内, 进出水箱的流量差 $Q_i - Q_o$ 将引发水位变化;

一个供水周期结束后, 最大水位和最小水位的差值与底面积的乘积就是最小所需水箱调蓄容积。



显然, 过大的水箱容积没有必要, 因为注满一个较大容积的水箱, 所需的流量和时间都超出了调蓄动作的意义; 根据差分方程的细节, 还可以看出, 后端用量 Q_o 的起伏性直接影响了所需的水箱容积, 也就是时变系数越大, 则实现调蓄稳流所需的容积就越大;

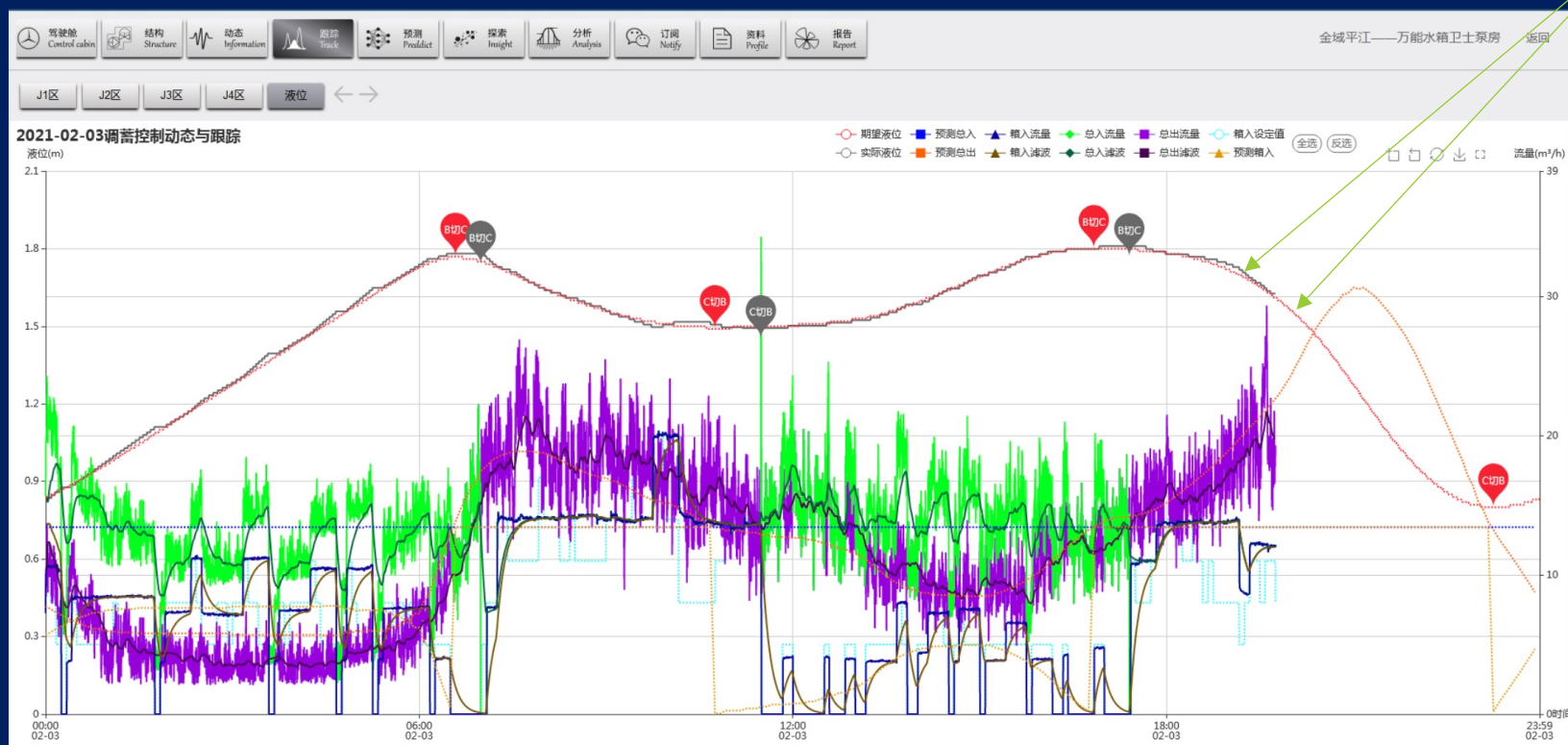
C2 任意时刻水箱的水位应该为多少？

黑线：实际控制的液位结果
红线：预先规划的液位结果

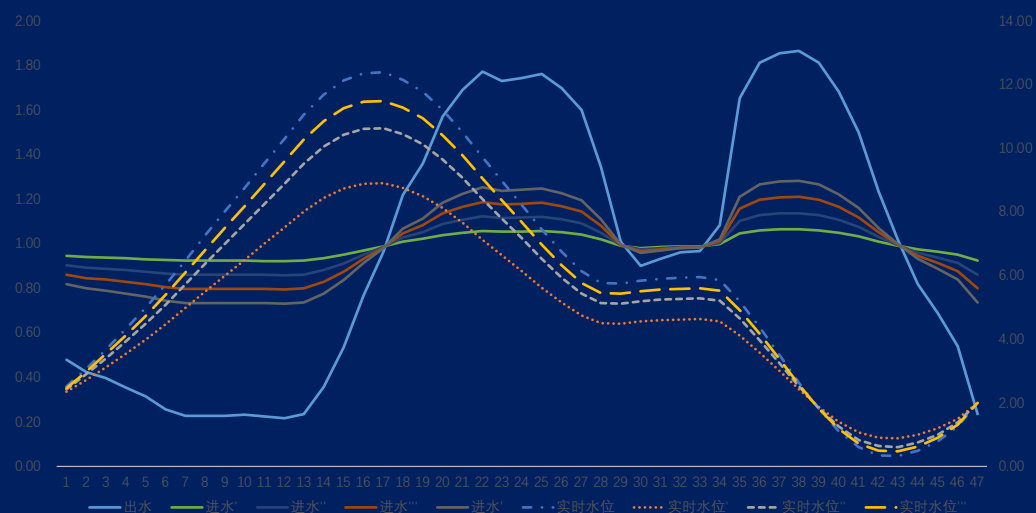
在泵房调蓄运行过程中，预先规划水箱液位在整个供水周期内的表现；

控制调节阀以恰当的流量弥补从水箱流出的流量；

根据对水箱出口流量的监测结果，评估其和预测流量的差异，即考察随机因素的影响，进一步修正预先的液位规划结果。



C3 既定的较小的水箱容积何以实现最佳的调蓄效果？



通常无法获得泵房下游用户的精确用水曲线特征，则引用某些规范，设计水箱容积为下游总用量的10 ~ 20%之间；

但在时变系数较大的场景中，20%的水箱容积不足以完全实现稳流供给。

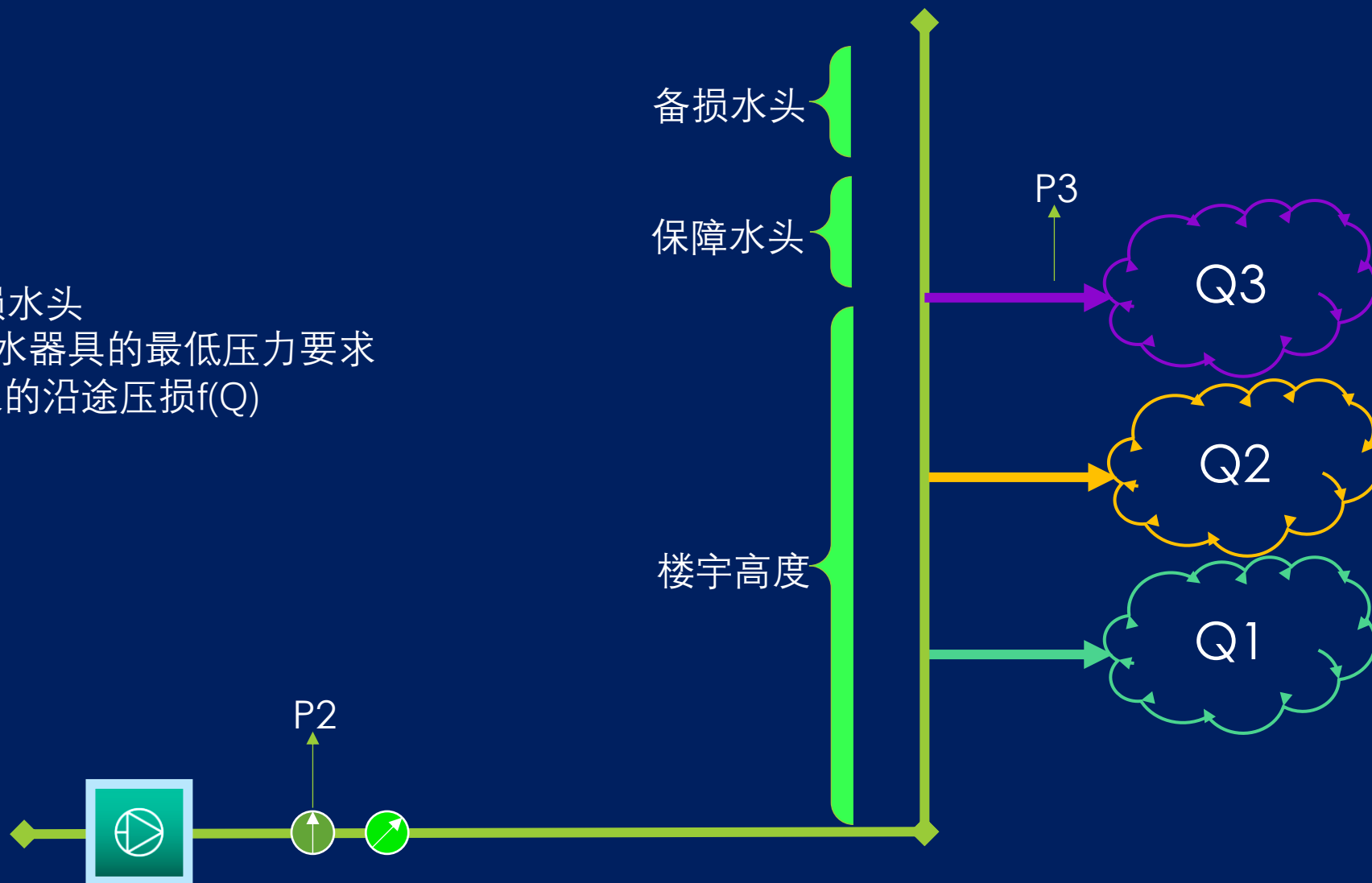
既要充分利用既有较小的水箱容积实现对下游起伏用量的满足，又要保证供给端最接近平稳的起伏（形态抑制）。

此时可利用欠容积调蓄规划方法来实现最大程度的稳流控制。

即求解 $Q_i(t)$ 函数的数值解，使得其积分总和为定值，同时方差最小。

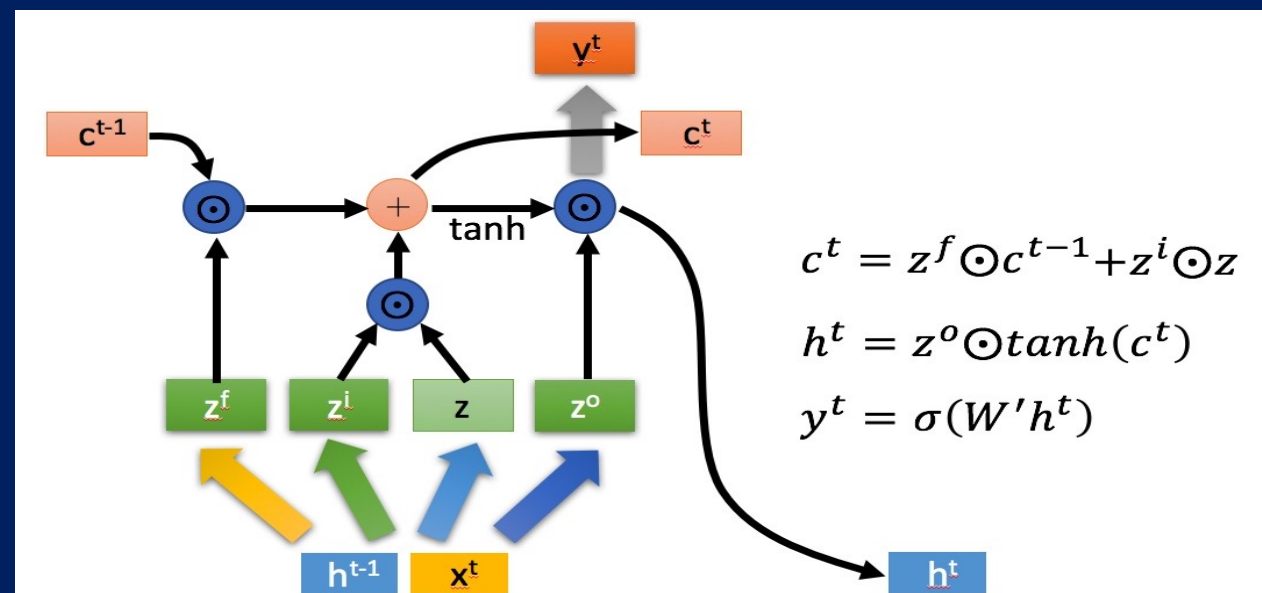
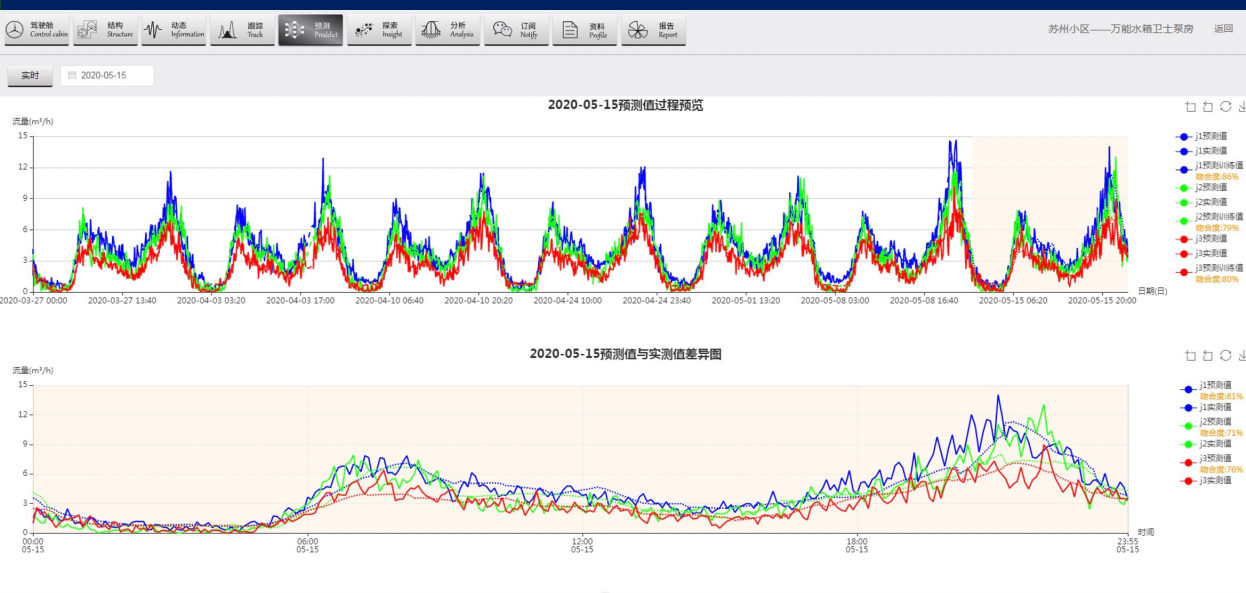
D 水泵出口压力应如何给定为合理的水平？

$P_2 = \text{楼高} + \text{保障水头} + \text{备损水头}$
保障水头 = 10米，大多数用水器具的最低压力要求
备损水头 = ……米，流量带来的沿途压损 $f(Q)$
 $f(Q)$ 是一个随机变量



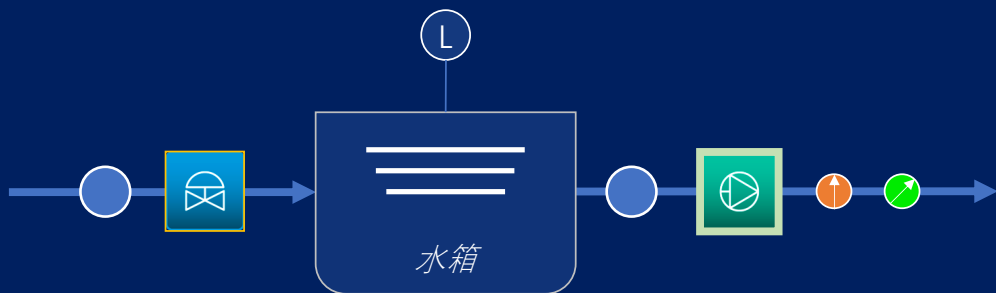
E 用量形态预测

LSTM，长短时记忆神经网络，是一种用以预测时间序列信息的算法框架；
时间序列：默认泵房日常用量是一个随时间变化的可预测随机序列

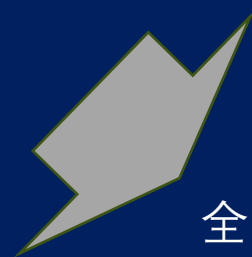
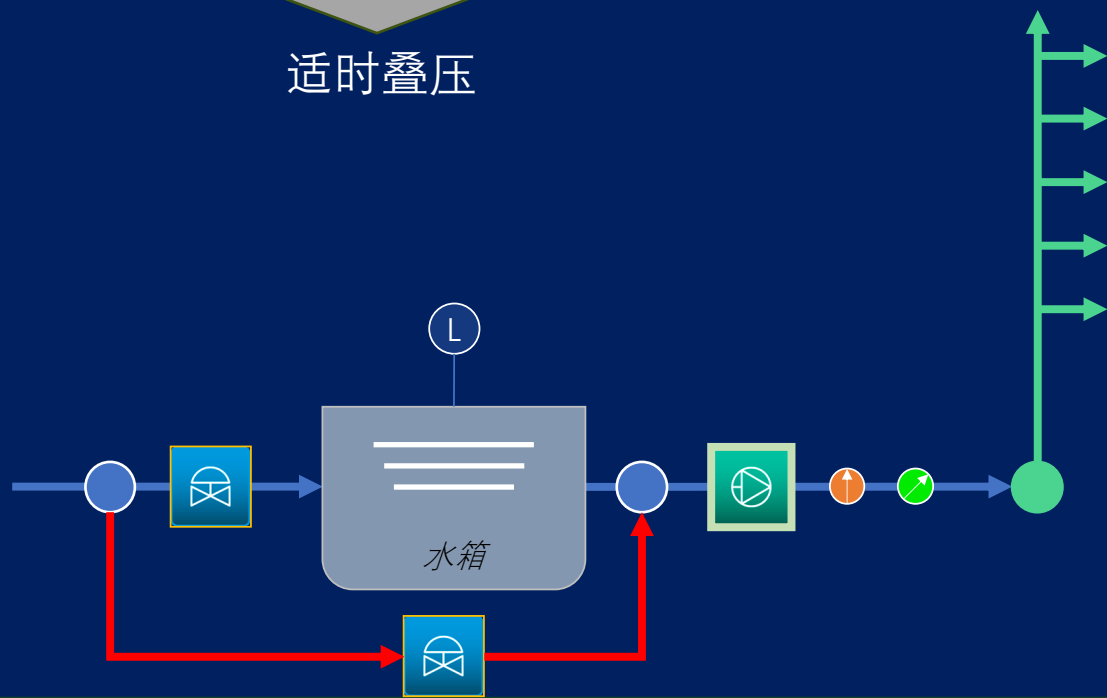


归纳泵房历史用量，可输出次日用量预测值
根据预测值制定泵房智能控制运行计划（每天）

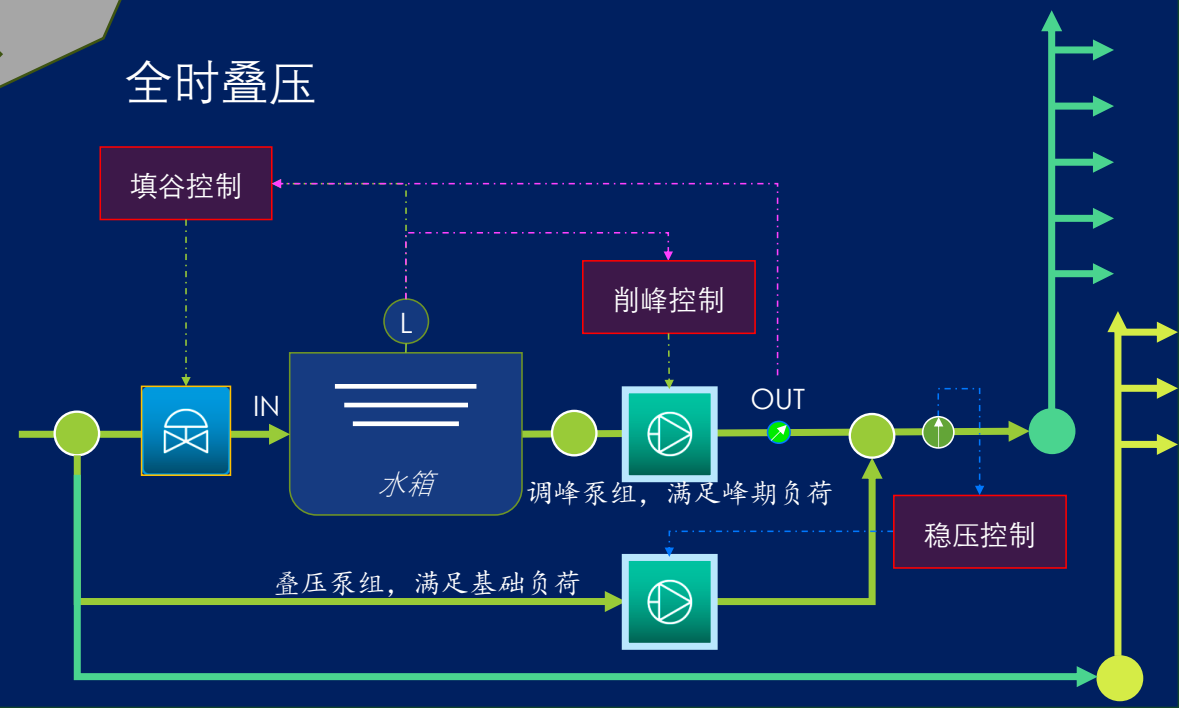
F 从结构形式优化角度开展泵房能耗节约



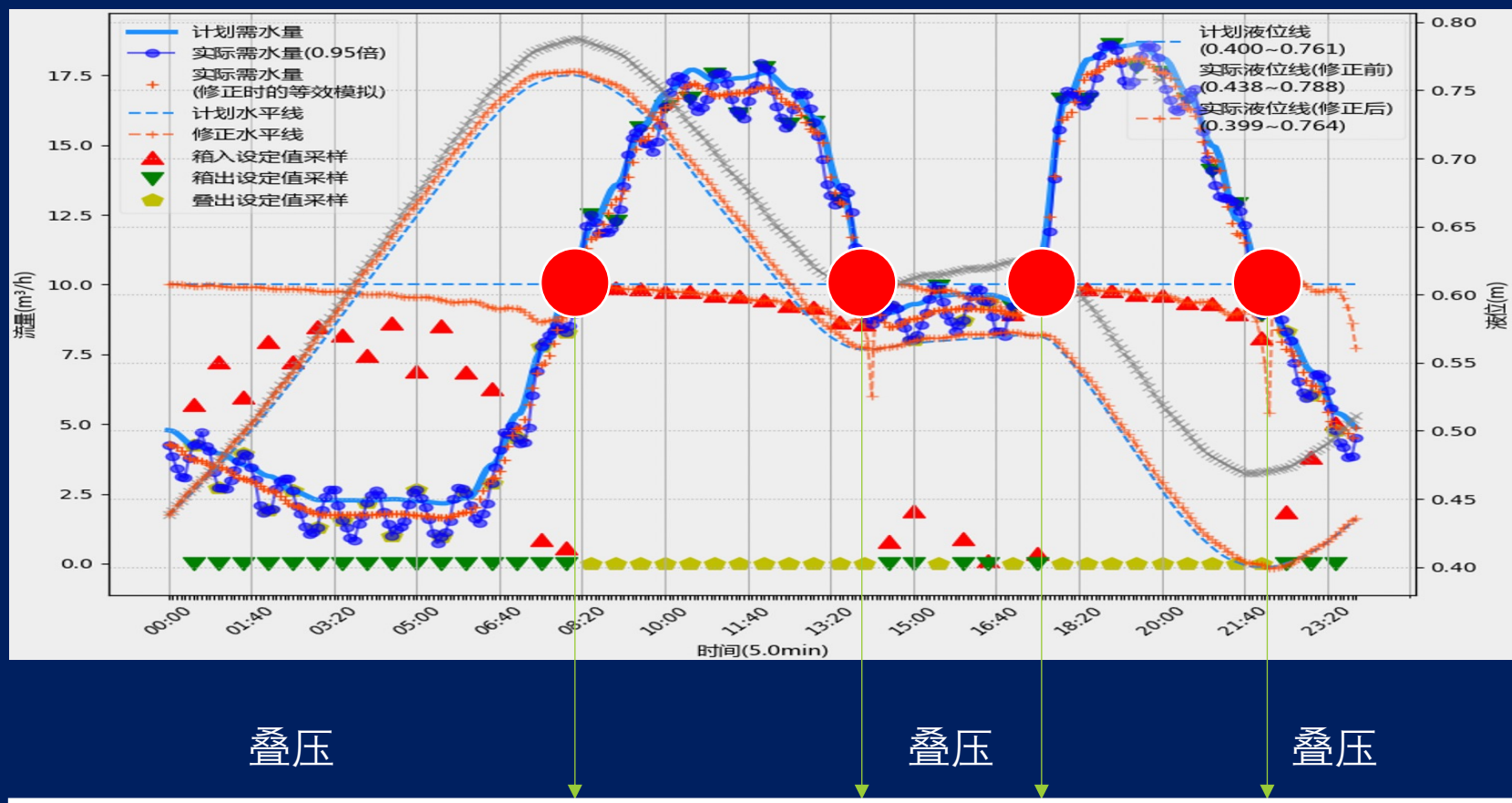
适时叠压



全时叠压



F 适时叠压模式的控制逻辑



F 全时叠压模式的控制逻辑

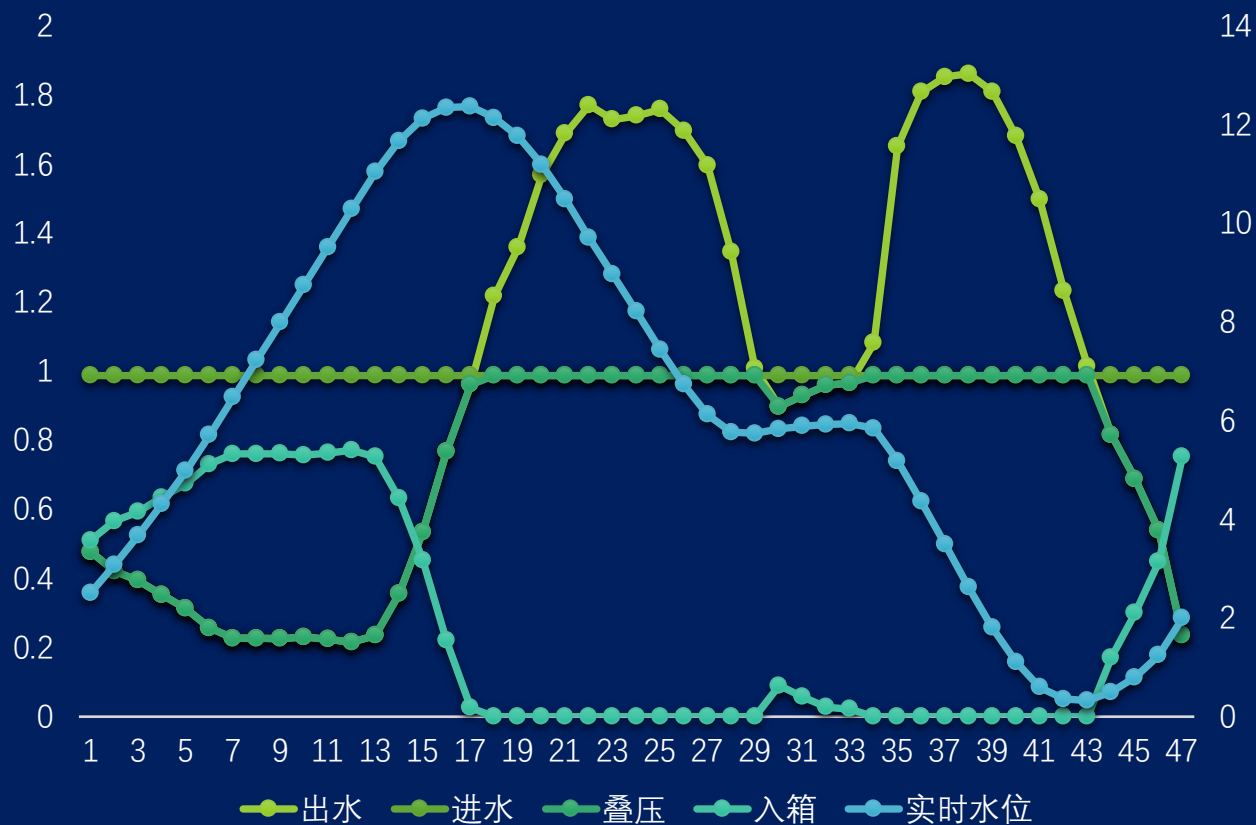
稳压控制：叠压泵组全时段利用管网余压，实现最大化节能；

削峰控制：调峰泵组在峰期抽取水箱，使得水位下降，和叠压泵组流量叠加后满足用户峰期需求并实现水箱水龄不超过24小时；

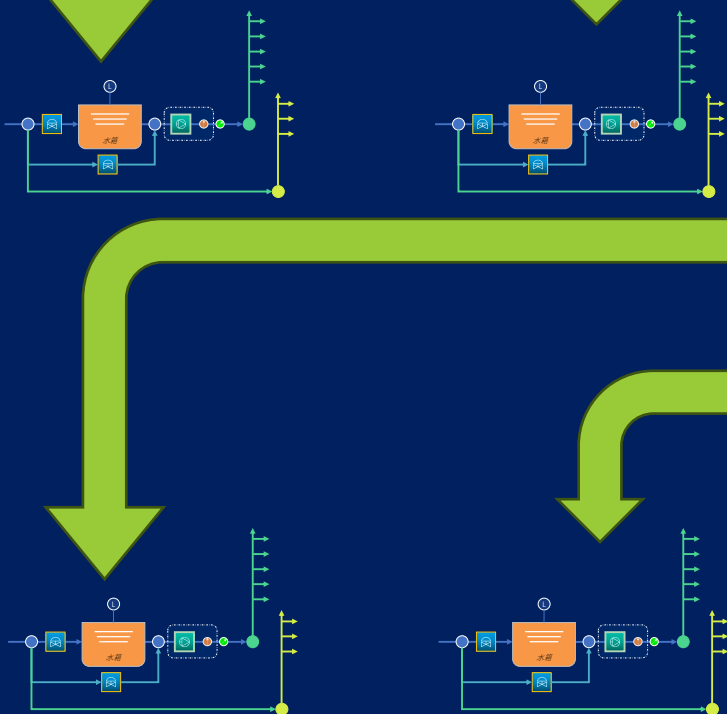
填谷控制：水箱入口调节阀按既定规划水位控制水箱蓄水；

各部件综合作用后，泵站入口保持流量稳定，出口匹配用户需求，水箱水位从最低到最高再回到最低以实现水龄控制。

80%的用水量经叠压加压而出，充分利用管网剩余压力，实现泵房能耗节俭20%+



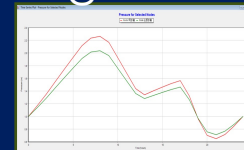
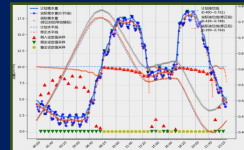
G 实现片区级泵房蓄水 水操作过程协作运行



智能网联泵站云控系统

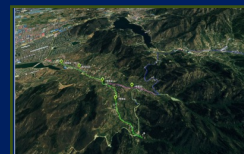
Intelligent and Connected Pumpstations Cloud Control System

Dynamic water usage information



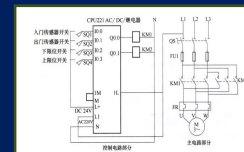
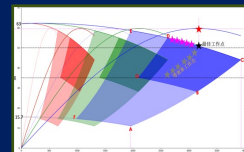
水力信息

Static water distribution system



地理信息

Predictive Cruise and Kalman filter Control

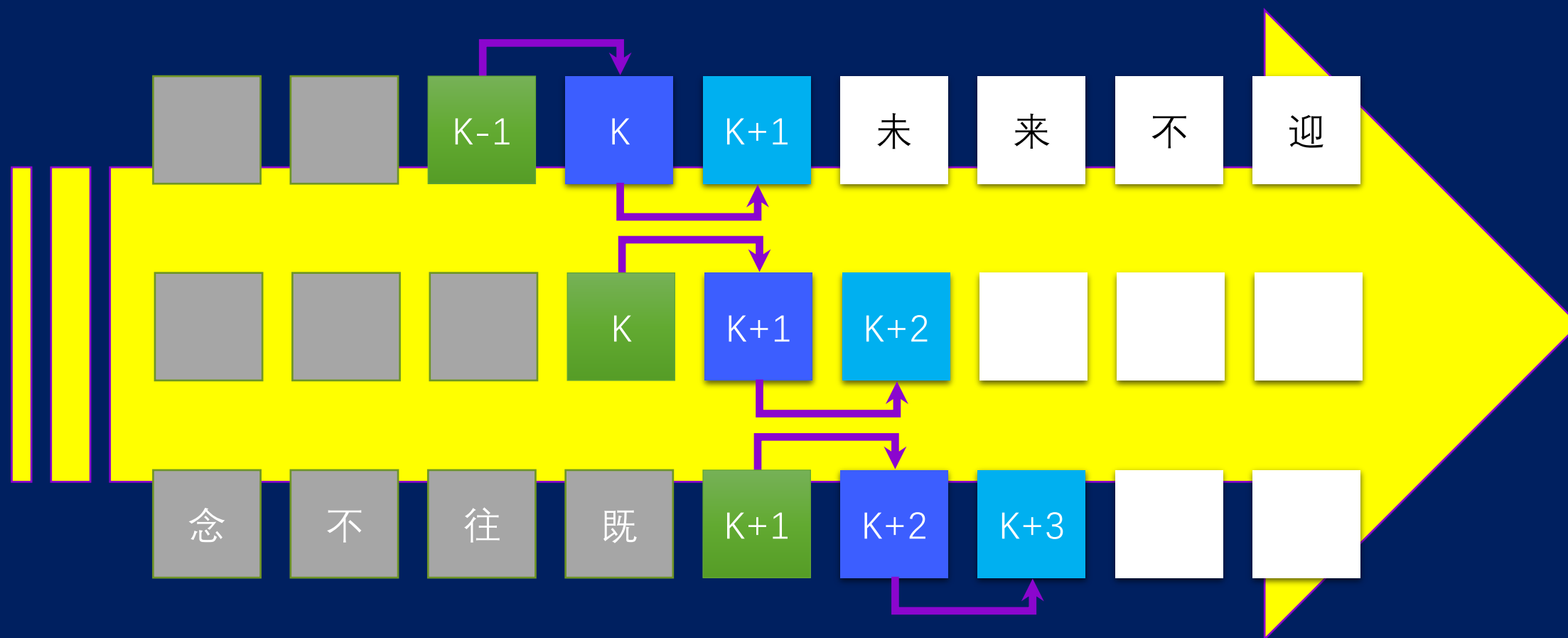


边缘计算

基于卡尔曼滤波方法的预测巡航控制/动态纠偏

G 采用预测性巡航控制方法实现运行方案秒级调整和更新

Predictive Cruise and Kalman filter Control



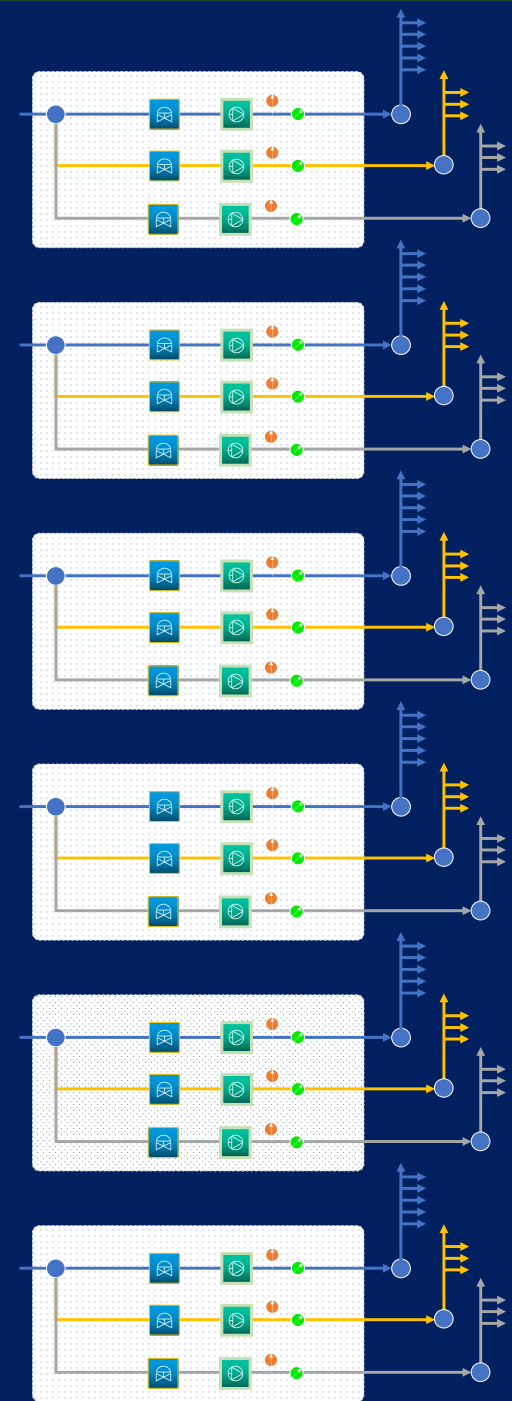
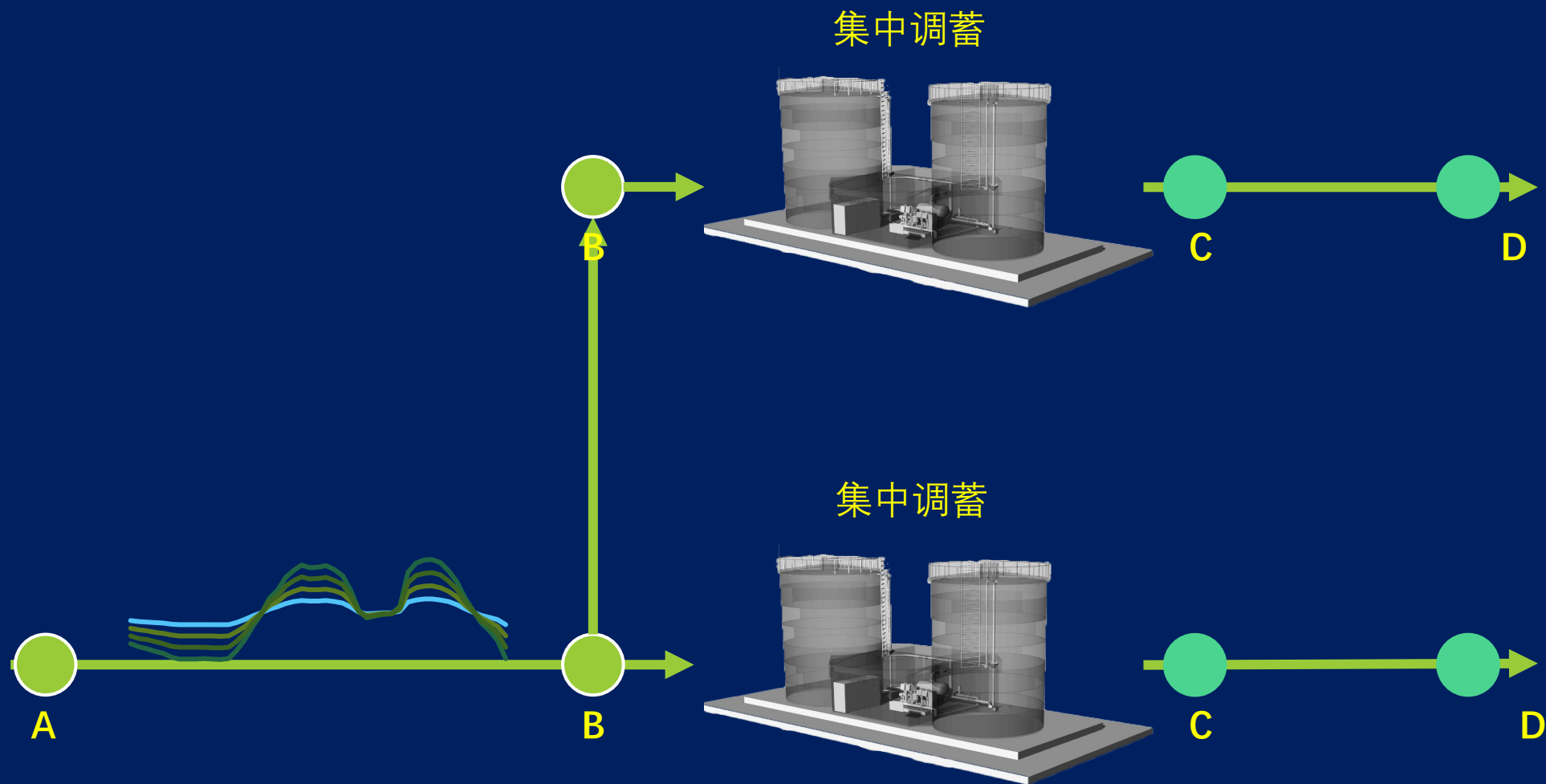
PART. 3

第三部分

高质量供水模式

High Performance Water Supply Mode

集中调蓄，末梢叠压，水箱消减，水龄受控

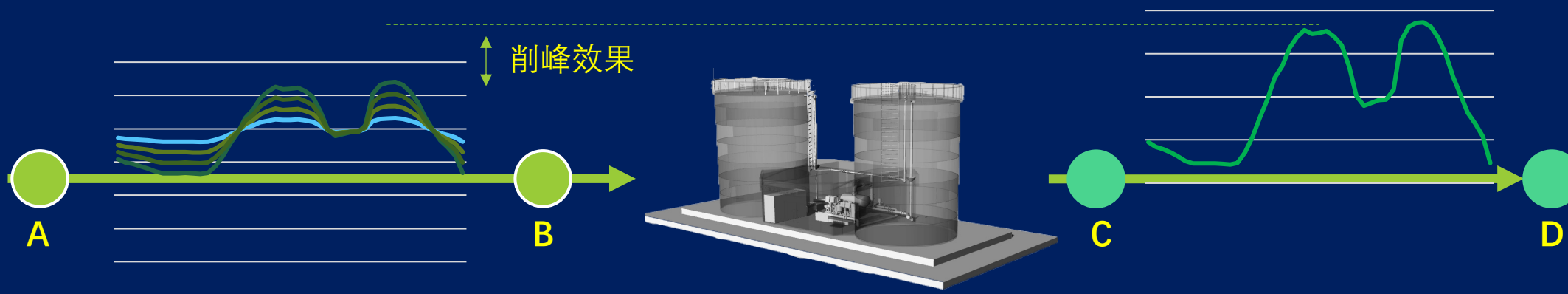


叠压泵站和调蓄泵站的应用区别



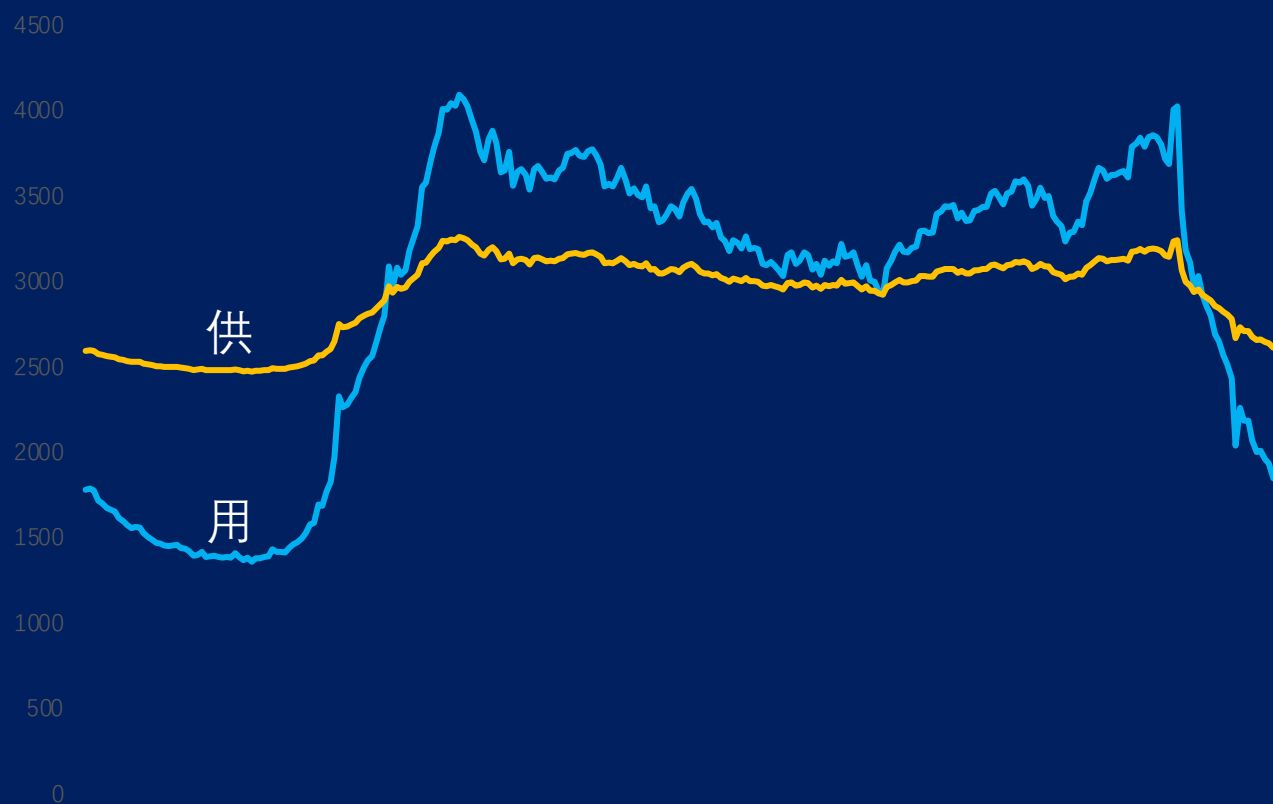
由于水的不可压缩性，叠压泵站上下游管道上的流量起伏形态是一样的

添加水箱之后，通过水箱作用，使得上游流量形态趋于平稳
趋于平稳的两种策略：1 稳流（自律）；2 错峰（协同）



实现供水管网源头降压、局部增压、集中调蓄后，……

- 均衡取水流量，
- 弥合供需矛盾，
- 稳定输水工况，
- 减少沿程阻力，
- 降低承压水平，
- 缓解背景漏失，
- 消减末端水箱，



善水之道 以利万物

EMPOWER WATER, EMPOWER FUTURE

THANK YOU

凯泉智能供水，
助力绿水青山。