



2016年石家庄智慧供热与系统计量控制技术交流

当前先进供热技术展望

智能供热运行管理调控策略实用技术

李德英

北京建筑大学

北京市“供热、供燃气、通风及空调工程”实验室

2016.4.6



主要内容

- 1 供热技术发展现状
- 2 供热输配系统调控策略
- 3 供热计量运行管理调节控制实用技术
- 4 供热系统监管平台网络技术应用



一、 供热技术发展现状

1 供热技术发展

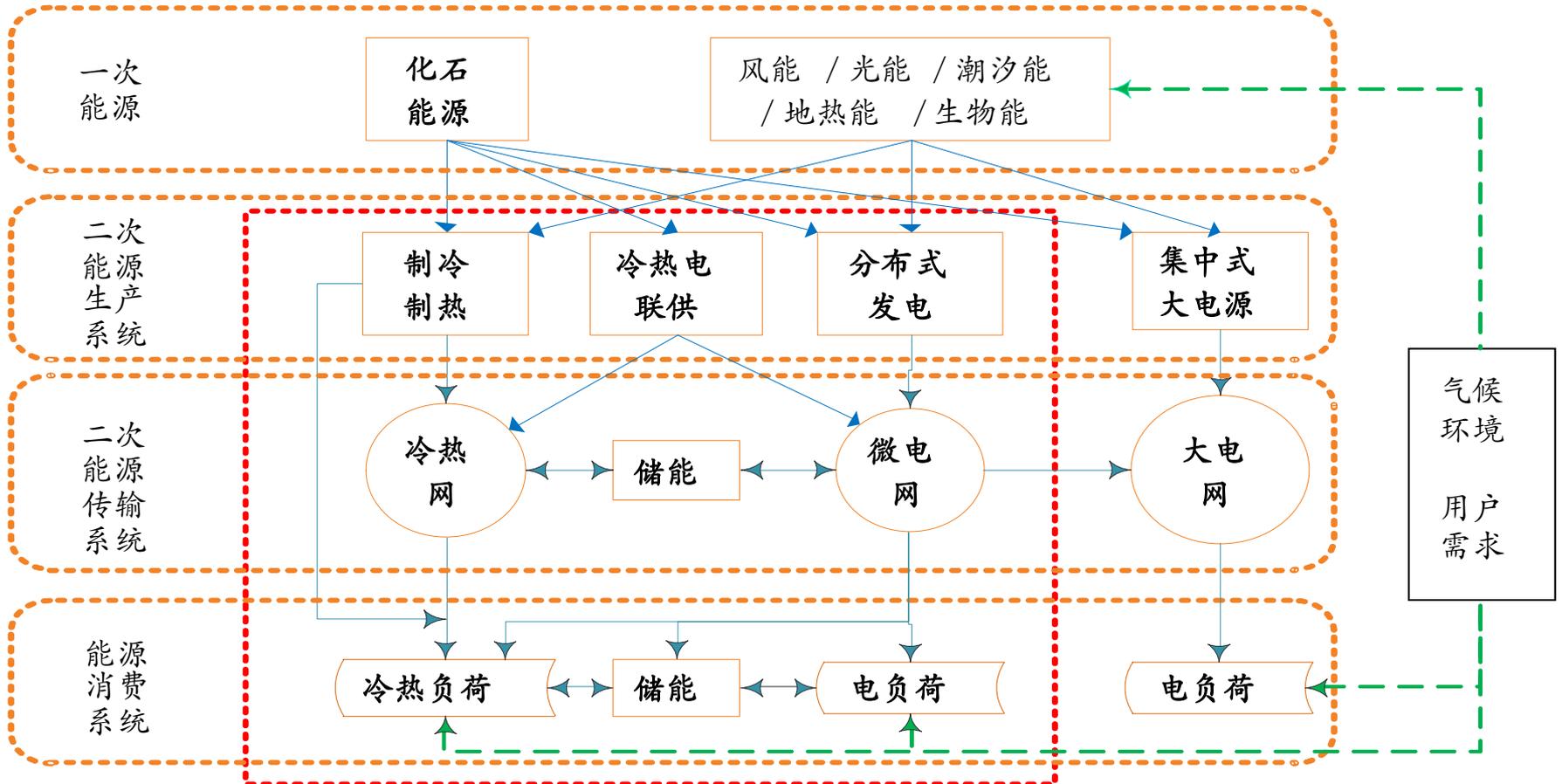
- ◇ 随着信息技术的进步，物联网，大数据，云计算的技术成熟，使得供热发展速度加快。
- ◇ 未来的供热，不仅仅是由热源、热网及热用户组成的物理网络的问题，而是与信息技术紧密联系在一起的新型供热网
- ◇ 供热技术的进步不仅仅是源、网、用户的进步，而且包含了信息技术的进步，这些进步相互影响、相互制约



2. 供热技术进步

(1) 能源网

能源转换--能源网是一个复杂的网络系统，从一次能源到冷、热、电负荷等能源消费终端。





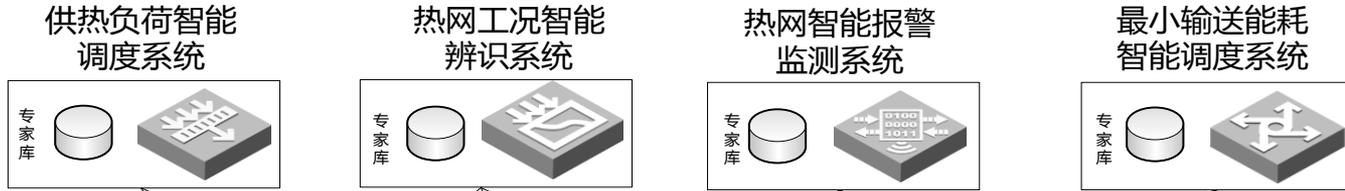
(2) 智能供热

- ◇ 由通信网、互联网、物联网组合在一起所形成的人与物、物与物互联，实现信息化、远程管理控制和智能化的全新网络。
- ◇ 智能供热是以由供热网与信息网组成的新型网络为基础。
- ◇ 对热网全景信息的获取，利用数据挖掘和辨识等技术处理信息，通过智能决策支持系统，为运行管理人员提供决策支持，
- ◇ 形成在保证室内舒适度的前提下，降低供热能耗的闭环运行模式的供热方式。



(2) 智能供热

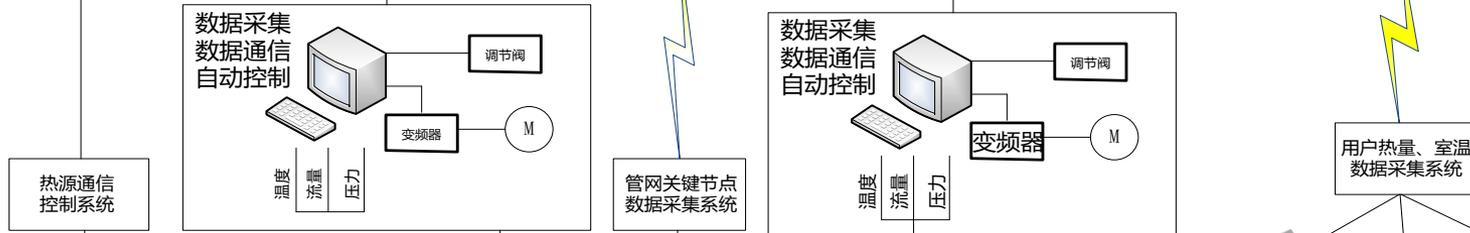
热网智能决策网



热网信息物连网



互联网



热网物理设备网



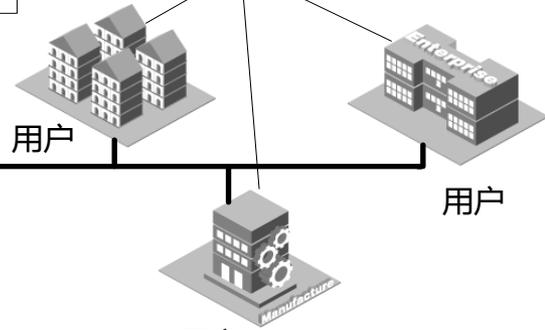
热源



热力首站



热力站



用户

用户

用户



3 我国供热系统现状

- 1 热力失调，冷热不均，效果差
- 2 系统水力失调，大流量小温差
- 3 设备匹配问题：设计负荷大，效率低，浪费严重
- 4 系统运行调控策略不清，自控程度低
- 5 系统能耗高，单位面积热电消耗；能效低：热效率和输送效率。



4 供热输配系统能耗问题

1. 水力失调，各用户流量分配不合理，过度供热能量损失20%以上，（单位面积能耗为 $0.5\text{GJ}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ）。
2. 大流量小温差运行（ $5\sim 15^\circ\text{C}$ 不等），循环水泵与系统不匹配（电机功率 $5\sim 8\text{kW}/\text{万平米}$ ）。
3. 分布变频变流量输配调控依据不明确（压差调节、气候补偿），实际是变频定流量运行。
4. 输送效率低耗电输热比大（ $0.0093\sim 0.0212$ ），节流损失大（阀门损失 $10\sim 30\%$ ）。
5. 水泵运行效率低（效率 $< 50\%$ ）。
6. 输送能耗高， $3\sim 5\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ 。



二、供热输配系统调控策略

- 流量调节依据（水力平衡—流量分配）：系统流量合理分配，循环水泵加装变频调速控制装，随热负荷的变化调节流量。
- 热量调节依据（热力平衡—热量分配）：由传统的质调节（调温度）改变为随气候变化和用户需求的热量调节法，即总量控制、量化管理。



1 输配系统改造措施

- a) 平衡调节(安装静态或动态调节阀), 解决水力失调, 使系统流量合理分配。
- b) 选择更换合适的循环水泵与管网系统匹配(1kW/万平米)。
- c) 变流量运行(总量变频控制技术)。
- d) 对一次管网进行分布式变频系统改造(多泵系统)。
- e) 使输送能耗降到 $0.5-1\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ 。



2 管网平衡调节

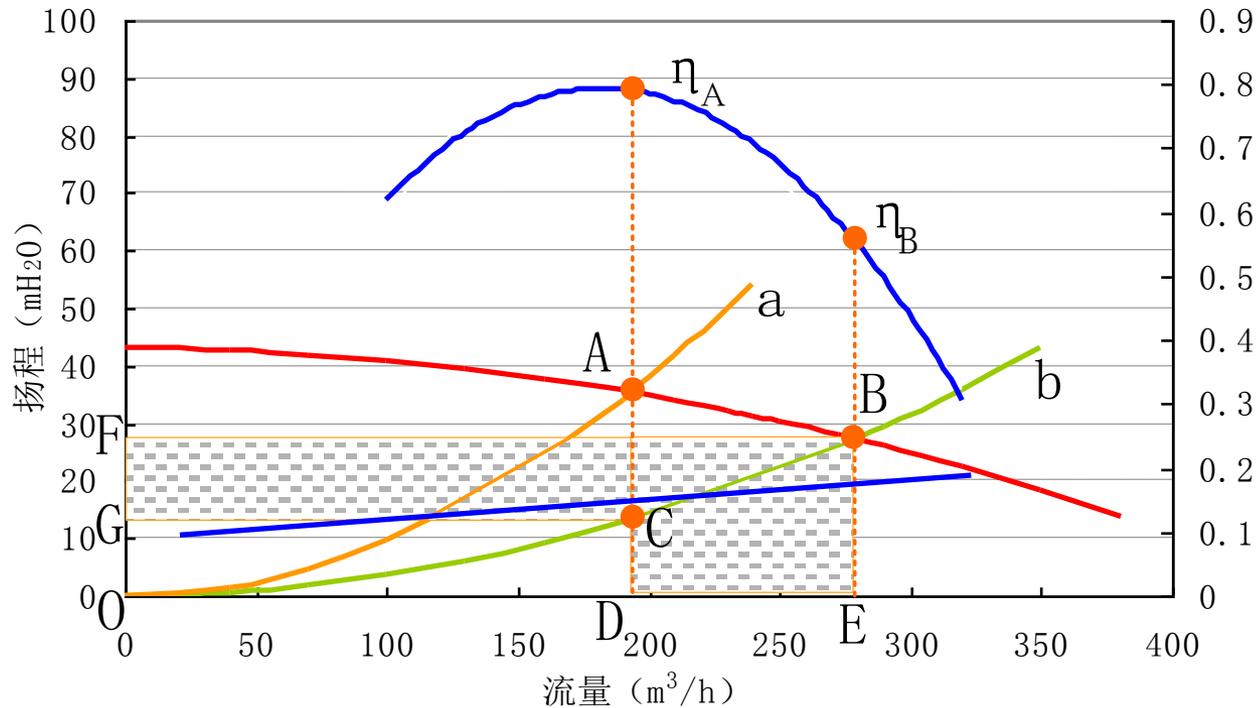
■ 二次管网调节措施(热力调节法)

- 各用户入口安装调节阀，温度计和压力表等。
- 采用**等温降调节法**：在热力稳定状态下各用户温差和总供回水温差的偏差 $<2^{\circ}\text{C}$ 。
- 调节顺序有近到远，先大后小（用户）。反复多次，直到满足上述条件。
- 特别注意自立式调节阀的使用条件。

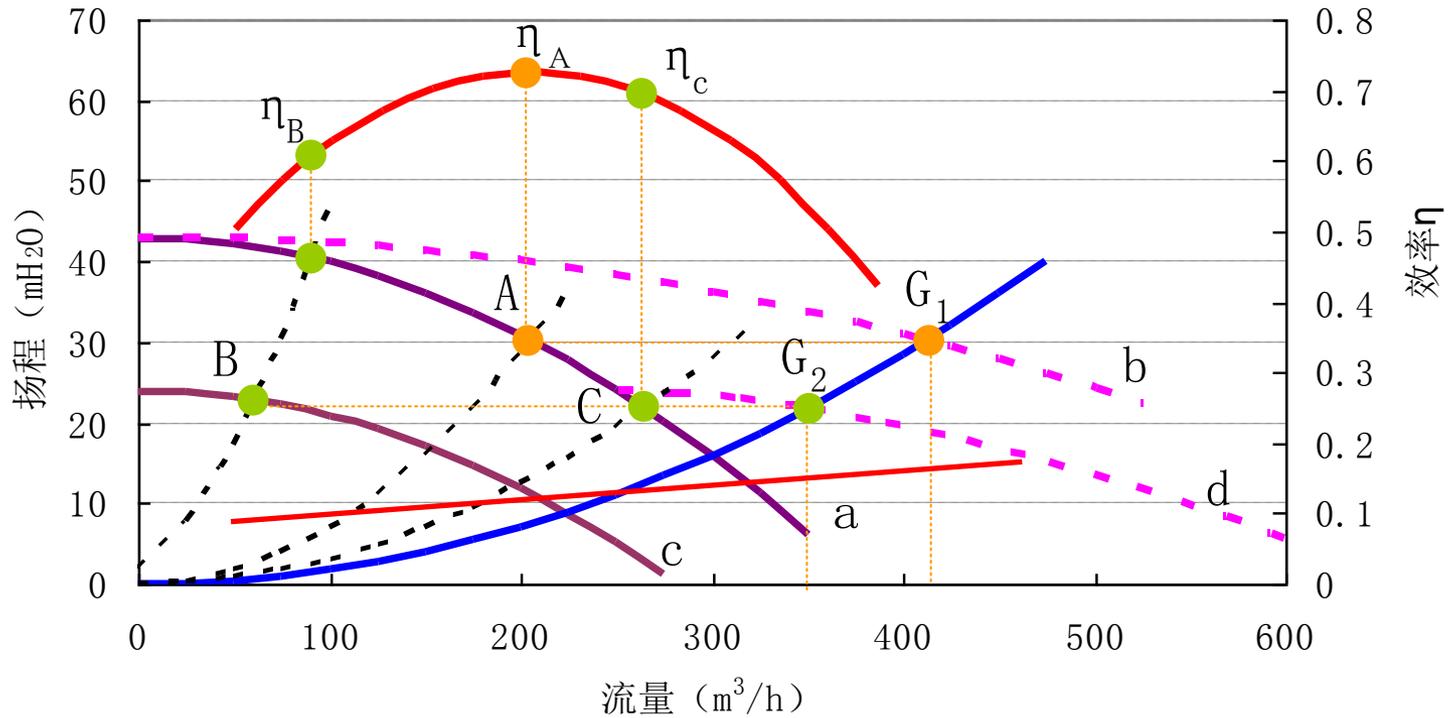


3 选择匹配循环水泵

单台水泵运行工作点分析



多台水泵并联运行工作点分析



- 额定转速下单台水泵特性曲线
- 一拖二情况下变速泵特性曲线
- 管网特性曲线
- - - 水泵等效率曲线
- 水泵在额定转速下效率曲线
- - - 额定转速下2台水泵并联特性曲线
- - - 一拖二情况下水泵并联特性曲线
- - - 水泵等效率曲线
- - - 水泵等效率曲线



4 循环水泵轴功率与效率计算

- 水泵的流量、扬程、轴功率和效率满足：
- $P = \alpha HG / (\eta_{\text{泵}})$
- $P = 2.73HG / \eta$ ，其中 H 为扬程，m； G 为流量， m^3/h ； η 为泵的效率； P 为轴功率，kW。
- 泵的轴功率 $P = \rho gGH / 1000 \eta$ (kW)
- 效率为：（ $g=9.81$ ， ρ 为密度）

$$\eta_{\text{泵}} = \frac{G \times H \times 9.81 \times 1000}{P \times 1000 \times 3600} = 0.00273 \frac{G \times H}{P}$$

循环水泵效率测试

测试流量G、扬程H和轴功率P.



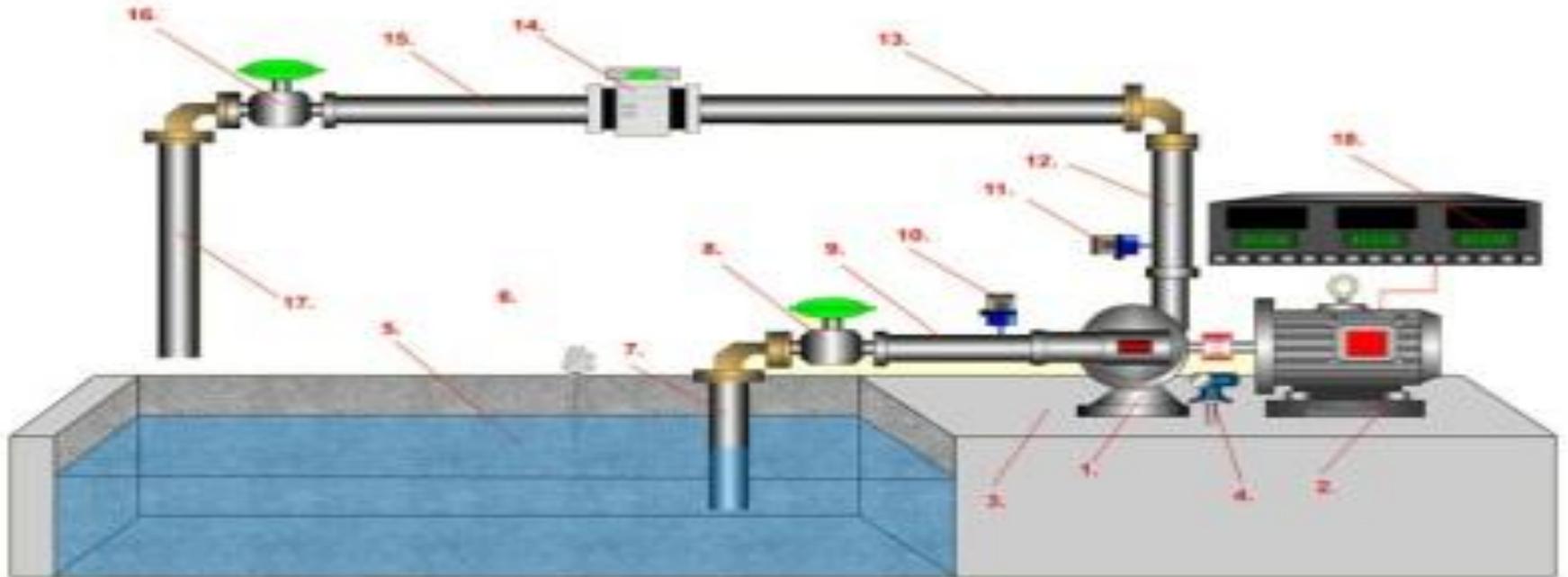
$$\eta_{\text{泵}} = \frac{G \times H \times 9.81 \times 1000}{P \times 1000 \times 3600} = 0.00273 \frac{G \times H}{P}$$

循环水泵效率测试

- 1. 试验泵
- 2. 试验电机
- 3. 试验平台
- 4. 转速传感器
- 5. 试验水池
- 6. 温度传感器

- 7. 入口入水管
- 8. 入口调节阀门
- 9. 入口测压管
- 10. 入口压力传感器
- 11. 出口压力传感器
- 12. 出口测压管

- 13. 流量计前直管段
- 14. 流量计
- 15. 流量计后直管段
- 16. 出口调节阀门
- 17. 出口直管段
- 18. 电参数测量仪





变流量运行分析

- 循环水总流量变频技术
- 水泵的流量、扬程和电功率满足：

$$\frac{G}{G_1} = \frac{n}{n_1} \quad \frac{H}{H_1} = \left(\frac{n}{n_1}\right)^2 \quad \frac{P}{P_1} = \left(\frac{n}{n_1}\right)^3$$

即
$$\frac{G}{G_m} = \left(\frac{H}{H_m}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{P}{P_m}\right)^{\frac{1}{3}} = \frac{n}{n_m}$$

- 扬程与流量：($H \propto G^2$)
- 电功率与流量：($P \propto G^3$)



水泵变流量运行功耗分析

$$\frac{G}{G_m} = \left(\frac{H}{H_m} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{P}{P_m} \right)^{\frac{1}{3}} = \frac{n}{n_m}$$

- 如水泵的流量变为70%，
- 则
- 扬程为49%； ($H \propto G^2$)
- 电功率为34.8%。 ($P \propto G^3$)



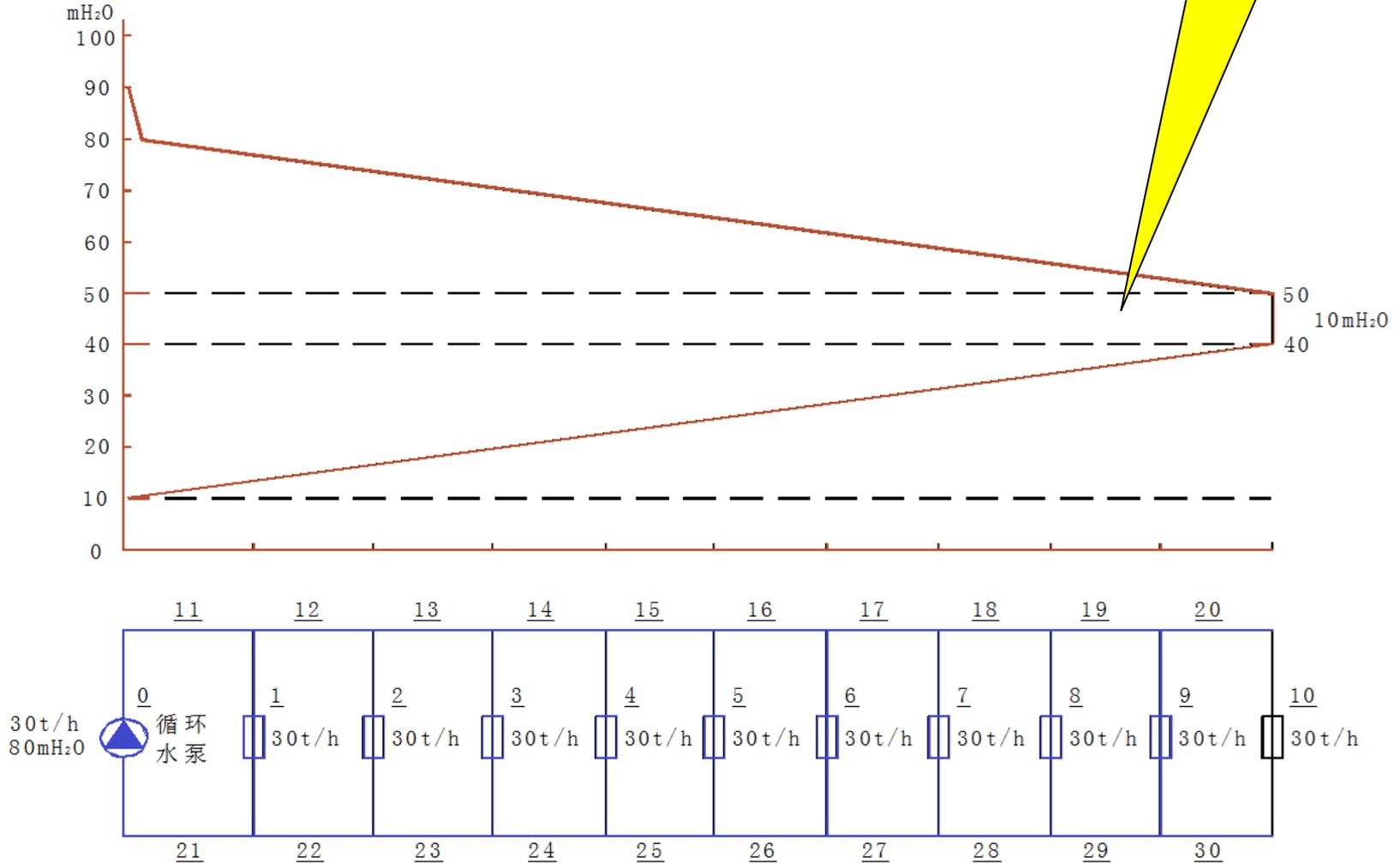
5 分布变频输配系统调控方法

- 分布式变频系统就是在热源设置一次主循环泵克服热源阻力；在各个换热站内设置二次泵，克服换热站内一次侧阻力和本站与热源之间阻力之和。
- 循环水泵加装变频调速控制装置（由气候补偿器调节的变频控制器，使二次泵可以达到按照需求从系统中取热量的目的），使热源随热负荷的变化调节流量。
- 利用自动控制技术将调节方式由质调节变为动态变流量调节，最大限度的减少能耗。



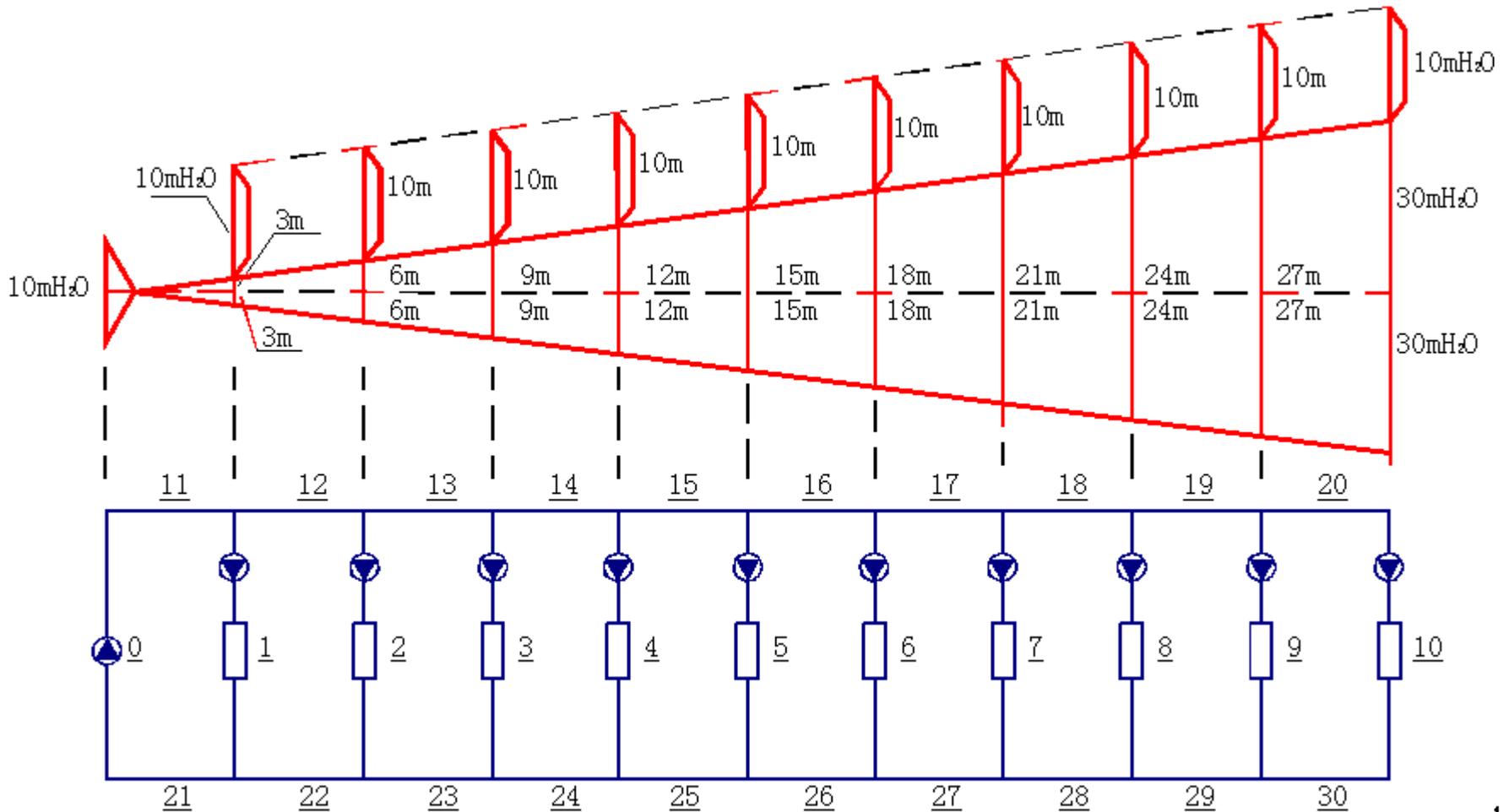
1) 传统设计方法及其能耗分析

用户真正需要的能量



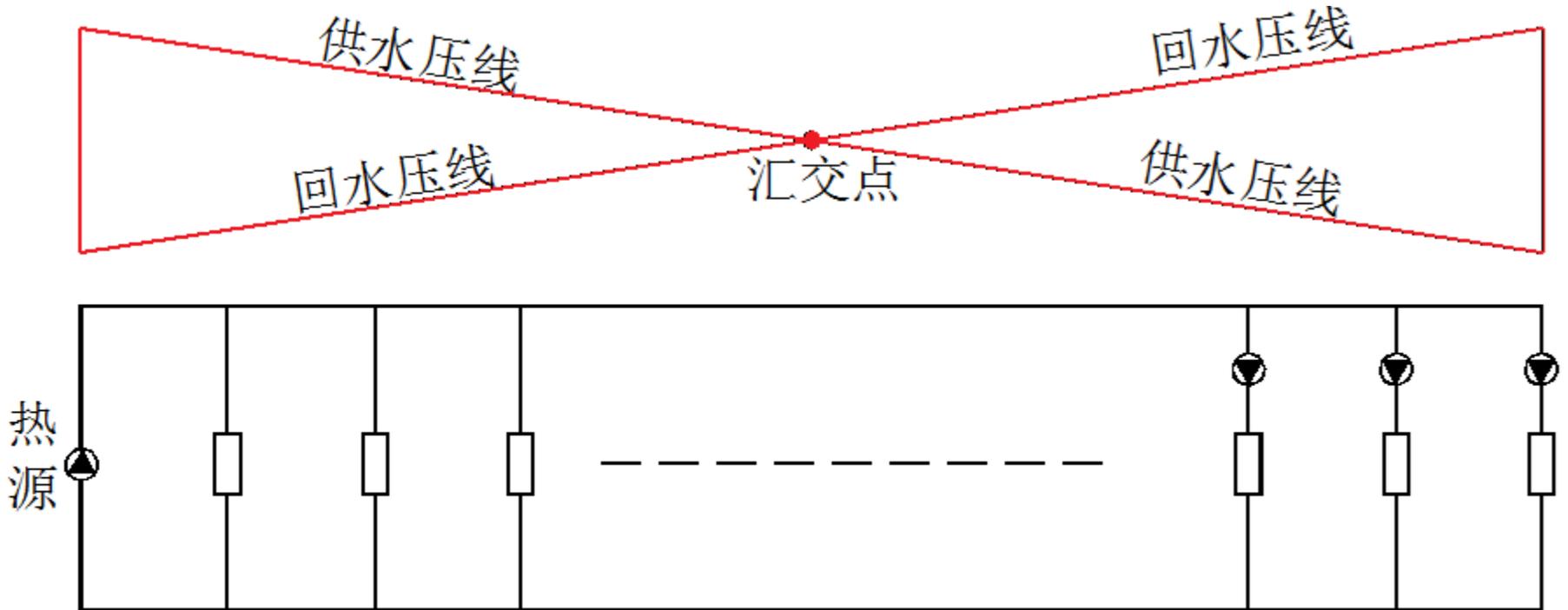


2) 分布变频输配系统 (供水管加泵)



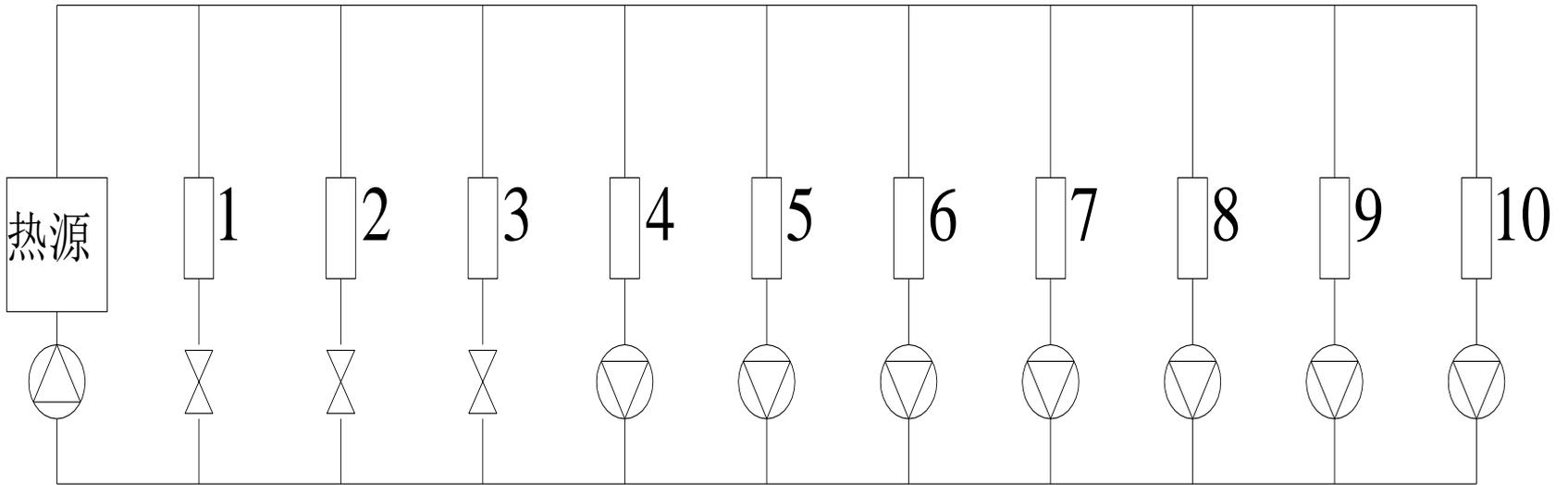


3) 分布变流量输配系统零压差点控制



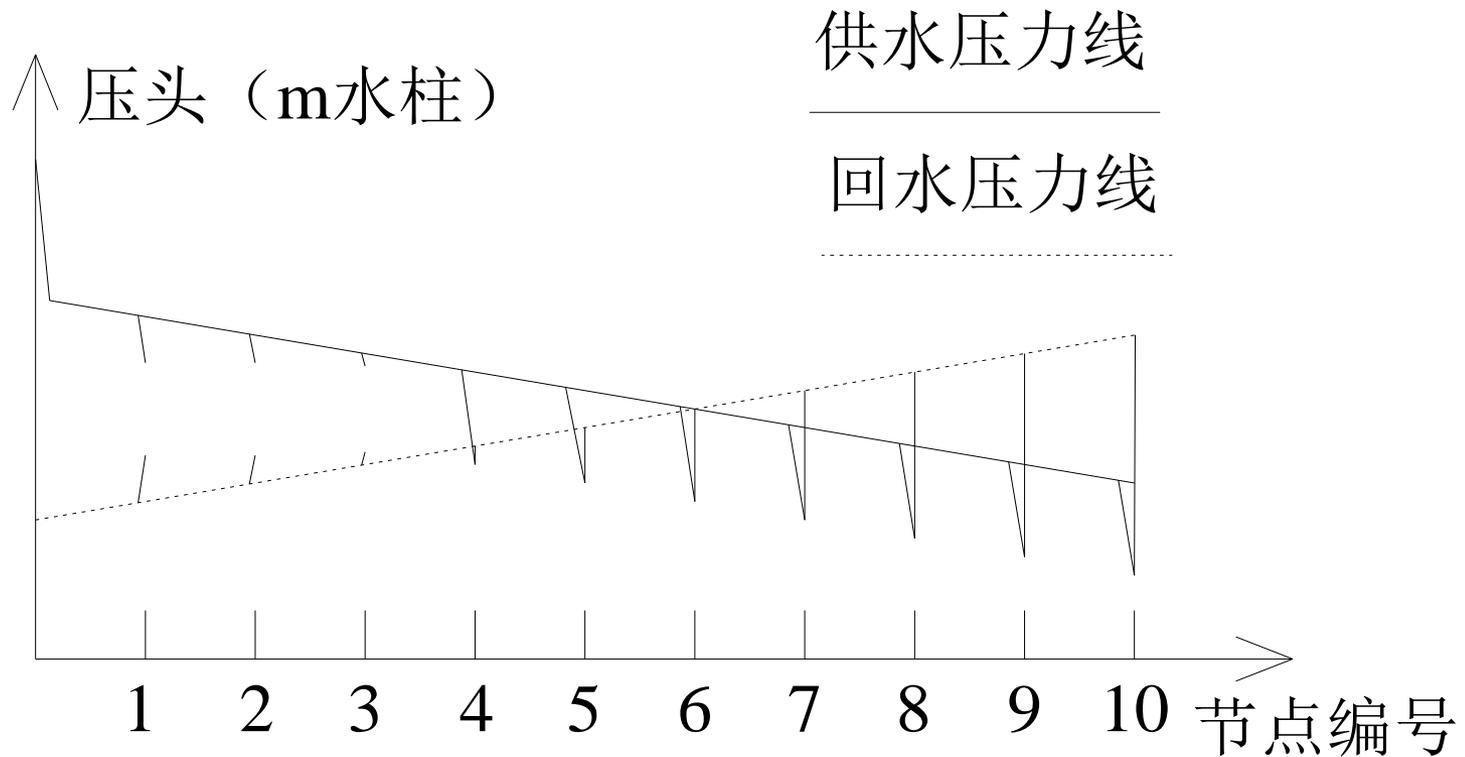


4) 分布变流量输配系统（回水管加泵）





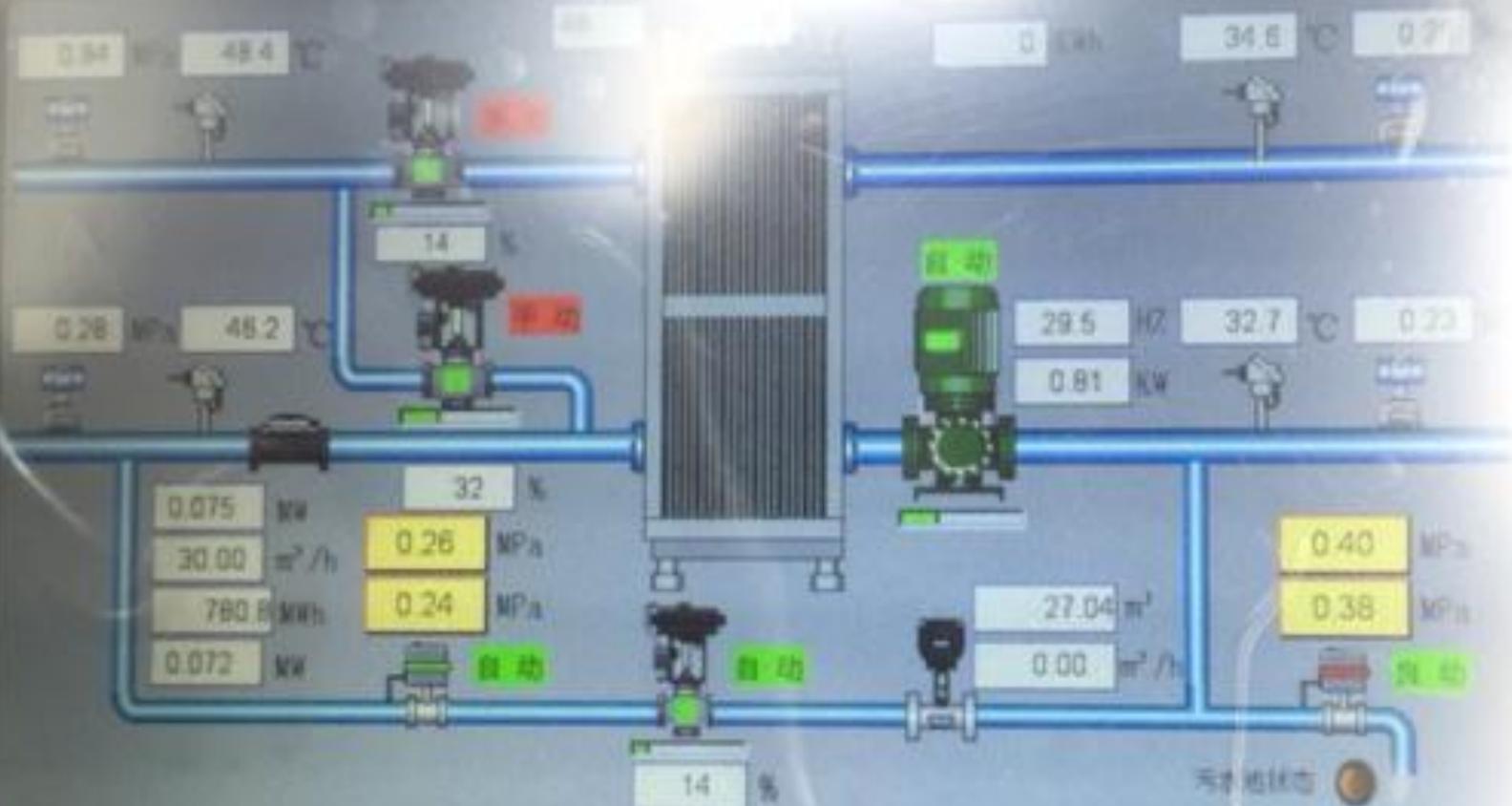
5) 分布变流量输配系统水压图





6) 分布变流量输配系统应用分析

- 从图中管网、和用户的流量压力匹配来说，既能满足用户的资用压头和所需流量，又能实现设定的流量分配，节能20~30%。
- 虽然满足了用户所需水力工况，但是根据基本回路法，越往用户末端，水泵的扬程越大。提供给用户入口和出口端的压力也就越大。
- 水泵的选择计算和运行调控要求高。
- 不可以和动态平衡阀同时使用！



用户登录

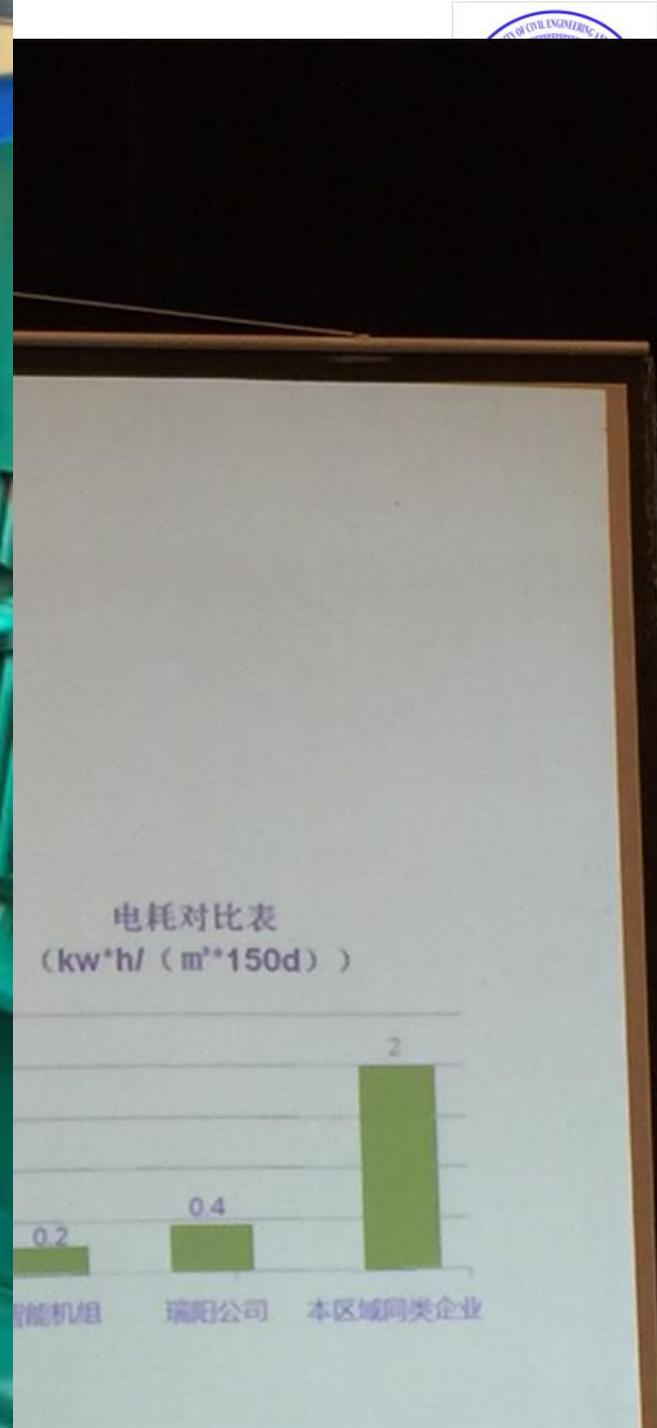
参数设定

主画面

一次侧

补水系统

实时监控





三、供热计量运行管理调节控制实用技术

在供暖期间，根据室外气象条件和用户需要，采用监测系统按需供热。

即根据气象台站预报的室外日平均温度，来控制热负荷和供热量。

$$Q = f(t_w) \quad \text{MW} \quad \Sigma Q = \int_{t_1}^{t_2} Q dt \quad \text{MJ}$$

随着科学技术的发展和供热市场的需求，我国热量计量仪表和自动控制产品逐步形成了市场，从而为供暖系统实现供热调节量化管理提供了可靠保证，解决了供暖调节问题。



供热系统热量计量

■ 供热监测参数

- **温度监测：**
- 供回水温度、室内外温度。
- **流量监测：**
- 总流量测量、分户流量测量。
- **热量计量：**
- 通过测量供回水和热水流量来计算得到，即
- **瞬时热量：** $Q = cG(t_g - t_h)$ MW
- **累计热量：** $\Sigma Q = \int_{t1}^{t2} Q dt$ MJ



热量调节法

在供暖期间，根据室外气象条件和用户需要，采用信息监控系统按需供热。

• 供热依据：

• 热负荷 $Q = f(t_w)$ W

• 供热量 $\Sigma Q = \int_{t_1}^{t_2} Q dt$ MJ

• 根据气象台站预报的室外日平均温度，来控制热负荷和供热量。



实例分析一

- 某供暖系统采暖面积为 $A=60000\text{m}^2$ ，使用两台热水锅炉（SHW4.2/1.3/130-W）。
- 室外采暖计算温度为 -15°C ，室内采暖计算温度为 18°C 。
- 设计供回水温度为 $95/70^\circ\text{C}$ 。
- 试绘制在下列条件的供热调节曲线。
- 优化设备匹配，管网平衡调节，流量合理分配。

供热调节运行参数表

t_w (°C)	t_g (°C)	t_h (°C)	Q_h (MW)	Q_G (MW)	Q_Z (MJ)	B_J (t)	T (h)
5	62.7	48.7	1.42	2.62	122688	7.4	13
4	65.4	50.3	1.53	2.82	132192	7.98	13
3	68	51.9	1.64	3.02	140169	8.55	13
2	70.6	53.4	1.75	3.23	151200	9.13	13
1	73.2	54.9	1.85	3.41	159840	9.65	13
0	75.7	56.3	1.96	3.61	169344	10.22	13
-1	71.8	54.1	2.07	3.31	178848	10.79	15
-2	74	55.4	2.18	3.48	188352	11.37	15
-3	76.2	56.6	2.29	3.66	197856	11.94	15
-4	78.4	57.8	2.4	3.84	207360	12.52	15
-5	80.5	59.1	2.51	4.01	216864	13.09	15
-6	74	55.4	2.62	3.49	226368	13.66	18
-7	75.8	56.4	2.73	3.64	235872	14.24	18
-8	77.6	57.4	2.84	3.78	245376	14.81	18
-9	79.4	58.4	2.95	3.93	254880	15.39	18
-10	81.2	59.4	3.05	4.06	263520	15.91	18
-11	75.6	56.3	3.16	3.61	273024	16.48	21
-12	77.1	57.1	3.27	3.73	282528	17.06	21
-13	78.7	58	3.38	3.86	292032	17.63	21
-14	80.2	58.9	3.49	3.98	301536	18.2	21
-15	81.7	59.7	3.6	4.11	311040	18.78	21



实例分析二

- 某供暖系统采暖面积为 $A=25$ 万 m^2 ，使用瑞士Hoval燃气锅炉：3X7MW，2X4.5MW。
- 室外采暖计算温度为 $-9^{\circ}C$ ，室内采暖计算温度为 $18-22^{\circ}C$ 。
- 锅炉房根据建筑所需实行量化管理供热。考虑管网的热损失，热源设计工况下供热指标按照 $50W/m^2$ 。该系统供热量随室外温度的变化关系如下表所示，量化管理运行供热调节参数表。
- **前提：设备匹配、流量分配合理！**

供热调节运行参数表



室外温度 (°C)	热负荷 (MW)	热负荷 (t/h)	供热量 (GJ/d)	耗气量 (m ³ /d)	运行时间 (h)	锅炉运行台 数及出力
5	6.0	8.6	520.0	17190.3	24	1台 7MW
4	6.5	9.3	560.0	18512.6	24	1台 7MW
3	6.9	9.9	600.0	19835.0	24	1台 7MW
2	7.4	10.6	640.0	21157.3	24	2台 4.5MW
1	7.9	11.2	680.0	22479.6	24	2台 4.5MW
0	8.3	11.9	720.0	23801.9	24	2台 4.5MW
-1	8.8	12.6	760.0	25124.3	24	2台 4.5MW
-2	9.3	13.2	800.0	26446.6	24	7MW+4.5MW
-3	9.7	13.9	840.0	27768.9	24	7MW+4.5MW
-4	10.2	14.6	880.0	29091.3	24	7MW+4.5MW
-5	10.6	15.2	920.0	30413.6	24	7MW+4.5MW
-6	11.1	15.9	960.0	31735.9	24	7MW+4.5MW
-7	11.6	16.5	1000.0	33058.3	24	7MW+4.5MW
-8	12.0	17.2	1040.0	34380.6	24	2台 7MW
-9	12.5	17.9	1080.0	35702.9	24	2台 7MW

供热调节运行参数表

室外温度 (°C)	热负荷 (MW)	热负荷 (t/h)	供热量 (GJ/d)	耗气量 (m ³ /d)	运行时间 (h)	锅炉运行台 数及出力
5	6.0	8.6	520.0	17190.3	24	1台 7MW
4	6.5	9.3	560.0	18512.6	24	1台 7MW
3	6.9	9.9	600.0	19835.0	24	1台 7MW
2	7.4	10.6	640.0	21157.3	24	2台 4.5MW
1	7.9	11.2	680.0	22479.6	24	2台 4.5MW
0	8.3	11.9	720.0	23801.9	24	2台 4.5MW
-1	8.8	12.6	760.0	25124.3	24	2台 4.5MW
-2	9.3	13.2	800.0	26446.6	24	7MW+4.5MW
-3	9.7	13.9	840.0	27768.9	24	7MW+4.5MW
-4	10.2	14.6	880.0	29091.3	24	7MW+4.5MW
-5	10.6	15.2	920.0	30413.6	24	7MW+4.5MW
-6	11.1	15.9	960.0	31735.9	24	7MW+4.5MW
-7	11.6	16.5	1000.0	33058.3	24	7MW+4.5MW
-8	12.0	17.2	1040.0	34380.6	24	2台 7MW
-9	12.5	17.9	1080.0	35702.9	24	2台 7MW

供热调节运行参数表

室外温度 (°C)	热负荷 (MW)	热负荷 (t/h)	供热量 (GJ/d)	耗气量 (m ³ /d)	运行时间 (h)	锅炉运行台 数及出力
5	6.0	8.6	520.0	17190.3	24	1台 7MW
4	6.5	9.3	560.0	18512.6	24	1台 7MW
3	6.9	9.9	600.0	19835.0	24	1台 7MW
2	7.4	10.6	640.0	21157.3	24	2台 4.5MW
1	7.9	11.2	680.0	22479.6	24	2台 4.5MW
0	8.3	11.9	720.0	23801.9	24	2台 4.5MW

1 °C时热负荷: $12.5(20-1)/(20+9)=7.90\text{MW}$, 每天供热量: $1080(20-1)/(20+9)=680\text{GJ}$

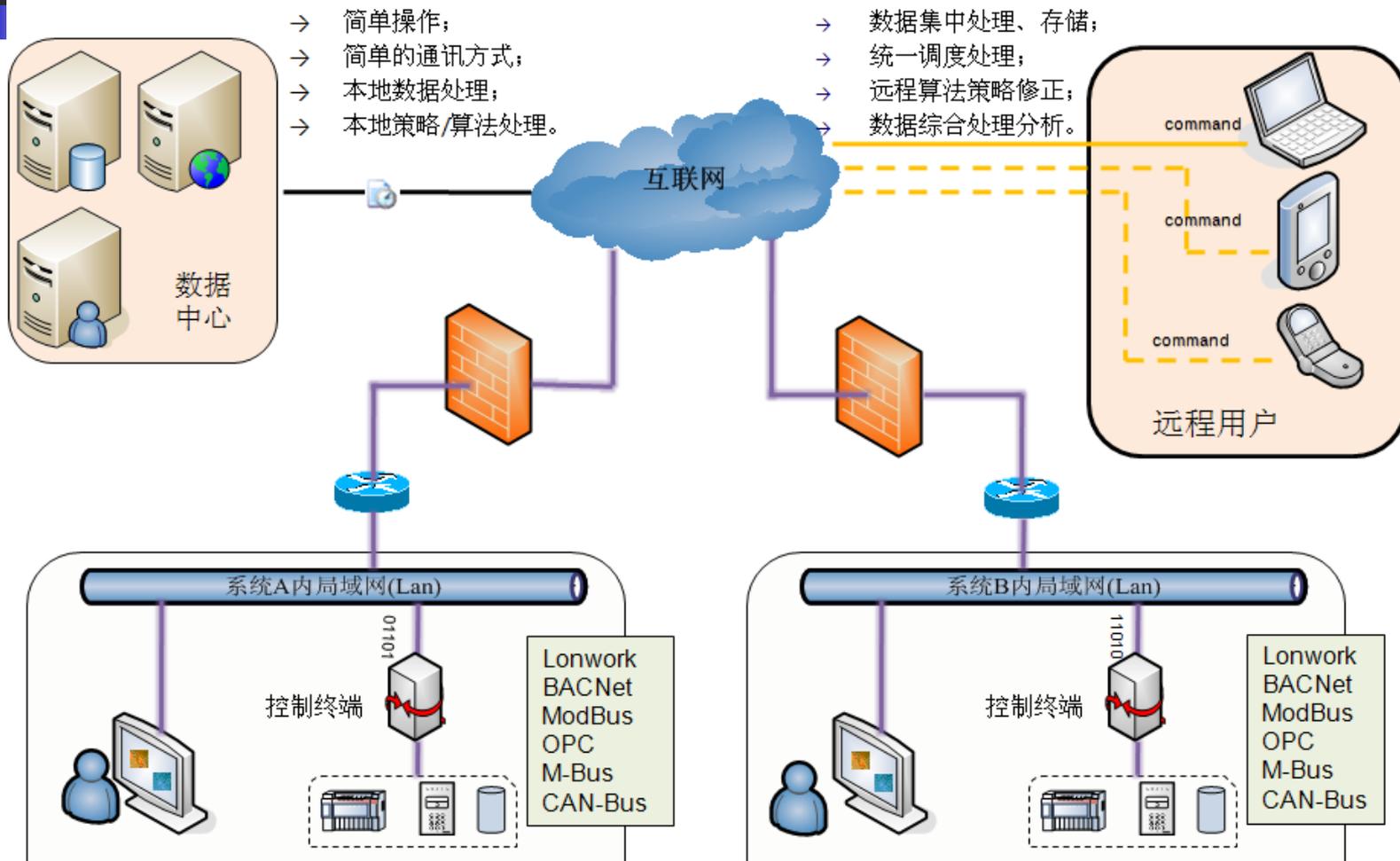
0 °C时热负荷: $12.5(20+0)/(20+9)=8.3\text{MW}$, 每天供热量: $1080(20+0)/(20+9)=720\text{GJ}$

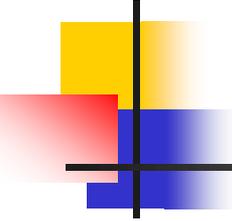
-3	9.7	13.9	840.0	27768.9	24	7MW+4.5MW
-4	10.2	14.6	880.0	29091.3	24	7MW+4.5MW
-5	10.6	15.2	920.0	30413.6	24	7MW+4.5MW
-6	11.1	15.9	960.0	31735.9	24	7MW+4.5MW
-7	11.6	16.5	1000.0	33058.3	24	7MW+4.5MW
-8	12.0	17.2	1040.0	34380.6	24	2台 7MW

-7 °C时热负荷: $12.5(20+7)/(20+9)=11.6\text{MW}$, 每天供热量: $1080(20+7)/(20+9)=1000\text{GJ}$

-8 °C时热负荷: $12.5(20+8)/(20+9)=12.0\text{MW}$, 每天供热量: $1080(20+8)/(20+9)=1040\text{GJ}$

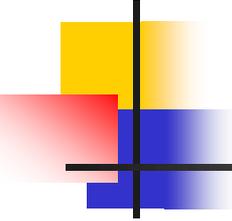
四、供热系统监管平台网络技术应用





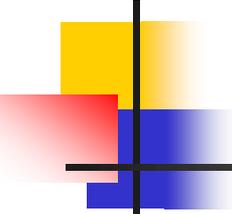
供热计量重在运行管理

- 对已经完成供热计量改造的系统只是具备了供热计量的基本条件，切实抓好供热计量运行管理工作是下一步的工作重点。实施供热计量需要实行源头总量控制“按需供热、量化管理”和分户分楼调节才能达到用户要求和节能的目的，问题是这些技术工作由谁来做？显然要求企业（或物业）管理者和从业人员掌握必要的专业知识和操作技能，否则供热计量技术无法实施。这将是制约供热改革、热量计量、按热收费的最大障碍。



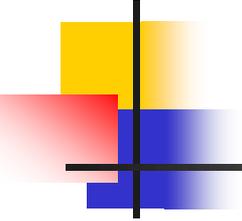
供热节能合同能源管理

- 我国供热行业、企业急需大力培养和接纳这方面的专业技术人才，供热计量改革才有可能按计划推进，最终企业受益，且把实惠留给老百姓。
- 实行能源管理师制度或合同能源管理模式是一个切实可行的管理办法。



参考文献

- 1 《供热计量技术规程》 国家行业标准(JGJ173-2009)。
- 2“集中供热，分户计量”离我们有多远？访谈录，暖通空调资讯网，2006年3月。中国空调制冷网--新闻频道--综合信息
- 3建筑节能，重在贯彻落实。访谈录，《中国建设信息(供热制冷专刊)》 2005年07期。
- 4供热改革要稳定当先——访谈录，中国建设报，2006年3月。
- 5李德英。互联网技术在供热计量系统运行管理中的应用，环球表计《供热计量》，2013.5.7
- 6李德英主编。锅炉供暖量化管理节能技术，建筑工业出版社，1992。



谢谢!

北京建筑大学
李德英

Tel: 13001061656/0106331450

QQ: 1528683865/ldyingwx2055

lideying@bucea.edu.cn