

从新手到高手



自动调节系统解析 与PID整定

白志刚 编著

/ 深入浅出解析技术·多年经验助你成功 /



ZIDONG TIAOJIE XITONG JIEXI
YU PID ZHENGDING



化学工业出版社



自动调节系统解析 与PID整定

白志刚 编著

ZIDONG TIAOJIE XITONG JIEXI
YU PID ZHENG DING



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

自动调节系统解析与 PID 整定/白志刚编著. —北京:
化学工业出版社, 2012.5

从新手到高手

ISBN 978-7-122-13820-0

I. 自… II. 白… III. ①自动调节系统-研究②PID
控制-研究 IV. ①TP272②TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 048938 号

责任编辑: 宋 辉

装帧设计: 王晓宇

责任校对: 洪雅姝

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 12¼ 字数 154 千字

2012 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究



学而时习之，不亦说乎？

(代前言) FOREWORD

孔子说：“学而时习之，不亦说乎”。这个“习”字，大有讲究。上学的时候，课本上说，习，是复习的意思。学习并且经常复习，很快乐么？不见得，我似乎没有见过某人在没有升学、求职的压力下，拿着本书反复复习的。



那么“习”到底是什么意思？

说文解字上说：“習，数飞也，从羽从白。白者，自也。”也就是说，鸟儿自己在天上飞；但还是搞不清本意。笔者不揣浅陋，自己解释一下：习，实践；小鸟自己尝试着飞翔，实践的意思。



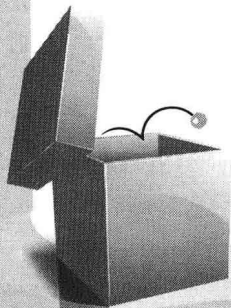
有点牵强，可是也说得通吧？

学习经常实践，是很快乐的事情。

小时候，跟弟弟一起学骑自行车，似乎学会了，乐而不疲地反复骑，我们争抢着骑，不亦说乎？

笔者做自动调节这一行工作已经二十多年了。应该说，自参加工作第10年起，也就是2000年前后，基本上掌握了自动调节的基本理论和方法。有些独创的方法，是在以后的工作中自己摸索到的。比如汽包水位调节系统中，那个“变态调整”的方法。

当时，锅炉的给水流量波动大，好几个有经验的老师傅尝试过多种方法，还是整定不好。自己就下决心要整定好这套系统。每天白天消除完缺陷后，就一直盯着这套系统研究。晚上吃过晚饭，还



想着这件事，按捺不住，跑到现场观察到半夜 12 点。经过大约一个月的摸索与尝试，终于找到了可行的解决办法。这个方法应用到许多电厂，被证明非常好用。

后来的工作中，有机会再次审视自己的经验和理论。为了相互验证，不得不再次拿出以前学过的书本，重新再学习。一个人的进步，最好的流程也应该是这样的：学习——实践——再学习——再实践，如此循环。

有了想法，然后去尝试，看到底行不行。最终调试好了这个系统，不亦说乎？

后来，有些人向笔者学习自动调节系统，我虽不厌其烦地讲解，却总是很难说明白。后来感觉到，仅仅凭一两个小时的时间，让人明白自动调节的真谛，是很困难的。

再后来，网上也有许多人问该怎么整定参数，笔者想从头说明白，就回复了很多。慢慢的，有人问：为什么不写成一本书呢？

写书是从来不敢想的事情，总以为那是学者们干的。

可是通过给别人讲解，慢慢发现，写的内容也有那么几万字了。

本人还喜欢历史。搞了自动调节后，也研究了自动调节的历史，发现国内对自动调节的发展历史，有些地方有一些误解，于是我也发帖子纠正这些说法。

突然有一天，我发现，整理一下，真成了一本书的结构了。



这就是这本书的由来。

我没有太高深的理论水平，在学校学习的一点公式推导，早早的就归还给老师了。而且我相信大多数专工跟我一样，不耐烦看那些理论推导——当然，遇到了细节问题，还必须要查看公式不可，因为只有公式，才能给你最准确的定义，别人的口述总有表达不清的可能。所以，在写这本书的时候，就一直想着，怎么用大家都能接受的大白话，把这个问题说明白，让看了这本书的人，再去实践一下就能够做好。

这本书，从自动调节的历史说开去，一直说到一些比较困难和复杂的问题。笔者的初衷是：让有疑问的，查到某些章节，可以解惑；让初学者，认真看了第二章，明白方法；认真看了第三章，知道解决问题的思路；让有经验的人，权当是看故事，也算有点收获。

看过这本书后，读者一定不会马上会整定参数，一定还需要大量练习，大量实践整定，才能够真正掌握方法。还是那句老话：

学而时习之，不亦说乎？

白志刚





引子	Page
	1
1 第一章	Page
1 PID 诞生记	5
一、中国古代的发明	6
二、没有控制理论的世界	8
三、负反馈	10
四、控制论	12
五、PID	13
六、再说负反馈	16
七、IEEE	17
八、自动控制发展里程碑	18
九、调节器	19
十、再说 PID	21
2 第二章	Page
2 吃透 PID	23
一、怎样投自动	26
二、观察哪些曲线	27
三、几个基本概念	28
四、P——纯比例作用趋势图的特征分析	29
五、I——纯积分作用趋势图的特征分析	31
六、D——纯微分作用趋势图的特征分析	33
七、比例积分作用的特征曲线分析	35
八、比例、积分、微分作用的特征曲线分析	37
九、整定参数的几个原则	39
十、整定比例带	41
十一、整定积分时间	43
十二、整定微分作用	44
十三、比例、积分、微分综合整定	47
十四、自动调节系统的质量指标	51
十五、整定系统需要注意的几个问题	52
十六、整定参数的几个认识误区	57





十七、趋势读定法整定口诀	61
十八、先进控制思想	62

3 第三章

火电厂自动调节系统

Page

67

一、火电厂自动调节系统的普遍特点	68
二、自动调节系统的跟踪	70
三、高低加水位自动调节系统	72
1. 基本控制策略	72
2. 自平衡能力	73
3. 随动调节系统	74
4. 对于系统耦合的解决办法	75
5. 几个问题	77
6. 偏差报警与偏差切除	79
四、汽包水位调节系统	79
1. 任务与重要性	79
2. 锅炉汽包	81
3. 虚假水位	82
4. 汽包水位的测量	82
5. 影响汽包水位测量波动的因素	84
6. 汽包供需平衡对汽包水位的影响	87
7. 制定控制策略	88
8. 捍卫“经典”	90
9. 正反作用与参数整定	91
10. 特殊问题的处理方法	95
11. 变态调节	96
五、过热蒸汽温度调节系统	102
1. 迟延与惯性	102
2. 过热蒸汽温度调节系统的重要性	103
3. 压红线	104
4. 干扰因素	105
5. 一级减温水调节系统	108
6. 导前微分自动调节系统	110
7. 导前微分系统的参数整定	111



8. 串级调节系统与参数整定的思想误区	114
9. 串级调节系统的参数整定	116
10. 修改控制策略, 增加抑制干扰能力	120
11. 变态调节方案	126
六、蒸汽压力调节系统	129
1. 重要性	129
2. 干扰因素	129
3. 直接能量平衡	130
4. 参数整定	131
5. 调节周期的认识误区	133
七、协调系统	136
1. 重要性	136
2. 直接能量平衡公式	137
3. 间接能量平衡公式	137
4. 机跟炉	138
5. 机跟炉方式的参数整定	139
6. 炉跟机	141
7. 炉跟机方式的参数整定	142
8. 机炉之间的耦合与解耦	143
9. 再说 PID 的参数整定	146
八、CFB-FGD 脱硫方式下的 SO ₂ 排放浓度控制	150
1. 工作原理	150
2. 传统控制策略设计	152
3. 调节裕度问题	153
4. 浓度-温度协调控制	154
九、火电厂自动调节系统投入情况的思考	155
1. 自动调节系统检查的现状	155
2. 自动调节系统对电厂的经济性安全性的影响	157
3. 自动调节系统设备及程序、参数的现状	159
4. 难题与重点	160
5. 行业考核的主要参数	164
4 第四章	Page
4 自动调节系统设备问题	165
一、执行机构的种类	166
二、执行器误动作怎么办?	167
三、阀门线性	167

1. 直线型	168
2. 等百分比型	169
3. 抛物线型	170
四、汽包水位三取中还是三平均	171
1. 三取中的优劣	172
2. 三取平均的优劣	172
3. 故障切换	172
五、汽包水位变送器测量误差问题的消除	173
六、磨煤机前轴承温度异常缺陷分析及消除	176
七、执行机构的选用与安装	178
1. 角行程、直行程的堕走与制动	178
2. 执行机构的连接	180



引子

杨过出了一会神，再伸手去拿第二柄剑，只提起数尺，呛啷一声，竟然脱手掉下，在石上一碰，火花四溅，不禁吓了一跳。

原来那剑黑黝黝的毫无异状，却是沉重之极，三尺多长的一把剑，重量竟自不下七八十斤，比之战阵上最沉重的金刀大戟尤重数倍。杨过提起时如何想得到，出乎不意的手上一沉，便拿捏不住。于是再俯身拿起，这次有了防备，拿起七八十斤的重物自是不当一回事。看剑下的石刻时，见两行小字道：

“重剑无锋，大巧不工。四十岁前恃之横行天下。”

过了良久，才放下重剑，去取第三柄剑，这一次又上了个当。他只见道这剑定然犹重前剑，因此提剑时力运左臂。那知拿在手里却轻飘飘的浑似无物，凝神一看，原来是柄木剑，年深日久，剑身剑柄均已腐朽，但见剑下的石刻道：

“四十岁后，不滞于物，草木竹石均可为剑。自此精修，渐进于无剑胜有剑之境。”

金庸笔下的一代大侠杨过，为什么会发生连续两次发生拿剑失误呢？原因很简单，因为他没有学过自动调节系统啊！可见自动调节系统存在于生活的方方面面，何其平常，又何其重要！嘿嘿。

下面咱们就来说说自动调节系统，它到底是怎么回事，到底是谁先发现的，到底该怎么应用。

自动调节系统说复杂其实也很简单。其实每个人从生下来以后，就逐渐地从感性上掌握了自动调节系统。

比方说桌子上放个物体，样子像块金属，巴掌大小。你心里会觉得这个物体比较重，就用较大力量去拿，可是这个东西其实是海绵做的，外观被加工成了金属的样子。手一下子“拿空了”，这是怎么回事？——比例作用太强了。导致你的大脑发出指令，让你的手输出较大的力矩，导致“过调”。

还是那个桌子，还放着一块相同样子的东西，这一次你会用较小的力量去拿。可是东西纹丝不动。怎么回事？原来这个东西确实确实是钢铁做的。刚才你调整小了比例作用，导致比例作用过弱。导致你的大脑发出指令，命令你的手输出较小的力矩，导致“欠调”。

还是那个桌子，第三块东西样子跟前两块相同，这一次你一定会小心点了，开始力量比较小，感觉物体比较沉重了，再逐渐增加力量，最终顺利拿起这个东西。为什么顺利了呢？因为这时候你不仅使用了比例作用，还使用了积分作用，根据你使用的力量和物体重量之间的偏差，逐渐增加手的输出力量，直到拿起物品以后，你增加力量的趋势才得以停止。

这三个物品被拿起来的过程，就是一个很好的整定自动调节系统参数的过程。

前面咱们说的杨过拿剑也是一个道理。当他去拿第二柄剑的时候，心里已经预设了比例带，可惜比例带有点大了，用的力量不够，所以没有拿起来。他第二次拿重剑，增强了比例作用，很容易就拿起重剑。

可是当他拿第三柄剑的时候，没有根据被调节对象的情况进行修改，比例作用还是很大，可是被调量已经很轻了，所以“力道”用过头了。

书归正传。

很久以前，我觉得自动控制很难。老师给我找到了整定口诀，我还是不知道怎么应用。

相信大家都见过那个 PID 整定口诀。不嫌麻烦，兹抄录如下：

参数整定找最佳，从小到大顺序查。
先是比例后积分，最后再把微分加。
曲线振荡很频繁，比例度盘要放大。
曲线漂浮绕大弯，比例度盘往小扳。
曲线偏离回复慢，积分时间往下降。
曲线波动周期长，积分时间再加长。
曲线振荡频率快，先把微分降下来。
动差大来波动慢，微分时间应加长。
理想曲线两个波，前高后低四比一。
一看二调多分析，调节质量不会低。

这个口诀对不对？对。现在审视一下，没有一点错误。可是，对于当初初学者的我，还是不能判断怎么算绕大弯，怎么叫做快怎么叫做慢。我估计对于诸位读者，到底怎么算快怎么算慢，也不见得几个人能彻底说清楚。

解答之前，先别急，我一点点把事情的经过说出来。

Chapter 1

第一章 PID 诞生记



自文艺复兴以来，科学家们被无数的科学成就鼓舞着，突破一个又一个难题，最终，充分揭示了能量、质量、效率、运动之间的关系，并把它们准确概括为一个个美妙的公式。宇宙的神秘面纱通过这些公式，被慢慢地揭开了。

有一门学科很神奇。

“它完全不去考虑能量、质量和效率等因素”（钱学森《工程控制论》），在别的学科中，这些因素是必须被研究的。并且，虽然它不用考虑这些因素，却完成了对这些因素的控制调节功能。如果说这个世界是艘船，那这门学科就是船舵；如果说这个世界是一辆车，那么这门学科就是车把。目前所有在从事这项工作和研究的人，却不都知道自己有这么大的权力和力量。本章的前一部分，就是要告诉你：你所从事的行业是多么伟大神奇。自豪吧，自动调节的工程师们！

是的，这门学科就是自动调节，更多的人说是自动控制。为什么说“调节”而不说“控制”，咱们慢慢感悟。

自动调节，又称自动控制，如今已经涵盖了社会生活的方方面面，在工程控制领域属于应用最普遍的范畴之一，在生物、电子、机械、军事等各个领域，甚至连政治经济领域，似乎也隐隐存在着自动控制的原理。可是考察自动控制的发展历程，从公认的有着明确的控制系统产生的19世纪以来，其历史也就短短的一百多年。而自动控制理论诞生的成熟的标志——《控制论》，其产生时间在1948年，至今也不过60余年的历史。60年来，尤其在工程控制领域，自动控制得到了极其普遍的应用，取得了辉煌的效果。

一、中国古代的发明

学术界曾经对中国古代的自动调节机构进行了发掘，认为中国古代也存在着一些符合自动调节规律的机构。因而我们可以自豪地宣称：“中国古代有自动装置”（摘自1965年，自动控制专

家万百五《我国古代自动装置的原理分析及其成就的探讨》)。

1991年万百五又补充新材料为《中国大百科全书：自动控制与系统工程卷》写成新条目“我国古代自动装置”。文中例举：指南车是采用扰动补偿原理的方向开环自动调整系统；铜壶滴漏计时装置是采用非线性限制器的多级阻容滤波；浮子式阀门是用于铜壶滴漏计时装置中保持水位恒定的闭环自动调节系统，又是用于饮酒速度自动调节器；记里鼓车是备有路程自动测量装置的车；漏水浑天仪是天文表现仪器采用仿真原理的水运浑象；候风地动仪是观测地震用的自动检测仪器；水运仪象台是采用仿真原理演示或观测天象的水力天文装置，内有枢轮转速恒定系统是采用内部负反馈并进行自振荡的系统。

我们公认的自动调节机构的诞生，应该是瓦特的蒸汽机转速调节机构（见图 1-1）。蒸汽机的输出轴通过几个传动部分，最终连接着两个小球，连接小球的棍子的另一端固定。蒸汽机转动的时候，传动部分带动两个小球旋转，小球因为离心力的原因张开，小球连杆带动装置控制放汽阀。如果转速过快，小球张开就大，放汽阀就开大，进汽减少，转速就降低。

可以看出，这是个正作用调节系统。虽然没有任何电子元件，可是它确实就是一个自动调节系统。虽然没有资料表明它如何调节参数，可是可以想象影响调节参数的因素：小球的位置。小球越靠近连杆根部，抑制离心力的力量就越小，比例作用越大。其中包含了自动调节的几个必要条件：

- ① 输出执行机构有效控制被调量；
- ② 被调量参与调节；
- ③ 调节参数可以修改（修改小球的重量或者摆干的长度）。

而我们目前所看到的中国古代自动调节例子都不能全部符合上述特征。有的情况只是跟自动调节系统中某一个特点有些类似。因此，严格地说，它们不能算得上自动调节机构。

同样的道理，我们考察欧洲的自动发展历程，也不能把水钟等物品纳入严格的自动调节系统的范畴。