

我们中华民族有同
自己的敌人血战到底的
气概，有在自力更生的
基础上光复旧物的决心，
有自立于世界民族之林
的能力。

毛泽东

53



QDZ

气动单元组合仪表

第二分册

內 容 提 要

本分册包括两个部份：第一部份，簡要介紹了放大器、变送器、比例积分調节器、微分器、乘除器、比值器和記錄儀的設計計算或特性分析，以及橡胶膜片的制造工艺資料。第二部份，介紹了 QDZ 仪表在炼油厂、化肥厂和电厂自动調节系統中实际应用和試驗的例子。供設計制造单位、使用部門和教学部門的有关同志参考。

*

*

*

在本分册的汇编过程中，得到石油工业部北京設計院仪表組无产階級革命派的大力协助，为本分册編写了“QDZ 仪表在炼油厂中的应用”一文；化学工业部第一設計院、水利电力部华北电力建設公司、华北电力設計院、高井电站以及冶金工业部北京鋼鐵設計院的无产階級革命派，給予了热情的支持。在这里特向以上各单位致无产階級革命敬礼。

最 高 指 示

領導我們事業的核心力量是中國共產黨。
指導我們思想的理論基礎是馬克思列寧主義。

中華人民共和國第一屆全國人民代表大會第一次
會議開幕詞

沒有中國共產黨的努力，沒有中國共產黨人做中國人民的中流砥柱，中國的獨立和解放是不可能的，中國的工業化和農業近代化也是不可能的。

《論聯合政府》

階級鬥爭，生產鬥爭和科學實驗，是建設社會主義強大國家的三項偉大革命運動，是使共產黨人免除官僚主義、避免修正主義和教條主義，永遠立于不敗之地的確實保證，是使無產階級能夠和廣大勞動群眾聯合起來，實行民主專政的可靠保證。

《浙江省七個關於幹部參加勞動的好材料》的批語

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

轉摘自《周恩来总理在第三届全国人民代表大会第一次会议上的政府工作报告》

我們不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我們必須打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期內，把我国建設成为一个社会主义的现代化的强国。

轉摘自《周恩来总理在第三届全国人民代表大会第一次会议上的政府工作报告》

我們是主张自力更生的。我們希望有外援，但是我們不能依賴它，我們依靠自己的努力，依靠全体軍民的創造力。

《必須学会做經濟工作》

社会的財富是工人、农民和劳动知識分子自己創造的。只要这些人掌握了自己的命运，又有一条馬克思列宁主义的路綫，不是迴避問

題，而是用積極的態度去解決問題，任何人間的困難總是可以解決的。

《書記動手，全黨辦社》一文的按語

要把一個落后的農業的中國改變成為一個先進的工業化的中國，我們面前的工作是很艱苦的，我們的經驗是很不夠的。因此，必須善於學習。

《中國共產黨第八次全國代表大會開幕詞》

工人以工為主，也要兼學軍事、政治、文化。也要搞社會主義教育運動，也要批判資產階級。在有條件的地方，也要從事農付業生產，例如大慶油田那樣。

公社農民以農為主（包括林、牧、付、漁），也要兼學軍事、政治、文化。在有條件的時候，也要由集體辦些小工廠，也要批判資產階級。

學生也是這樣，以學為主，兼學別樣，即不但學文，也要學工、學農、學軍，也要批判資產階級。學制要縮短，教育要革命，資產階級知識分子統治我們學校的現象，再也不能繼續下去了。

商業、服務行業、黨政機關工作人員，凡

有条件的，也要这样做。

一九六六年五月七日《給林彪同志的信》

高举无产阶级文化革命的大旗，彻底揭露那批反党反社会主义的所谓“学术权威”的资产阶级反动立场，彻底批判学术界、教育界、新闻界、文艺界、出版界的资产阶级反动思想，夺取在这些文化领域中的领导权。

轉摘自《中共中央一九六六年五月十六日通知》

你們要关心国家大事，要把无产阶级文化大革命进行到底！

《一九六六年八月十日接見首都革命群众时讲话》

在工人阶级内部，没有根本的利害冲突。在无产阶级专政下的工人阶级内部，更没有理由一定要分裂成为势不两立的两大派组织。

《红旗》杂志一九六七年第十四期社论

要斗私，批修。

《红旗》杂志一九六七年第十五期社论

編 印 說 明

偉大領袖毛主席教導我們：“我們是主張自力更生的。我們希望有外援，但是我們不能依賴它，我們依靠自己的努力，依靠全體軍民的創造力。”

气动单元組合 (QDZ) 仪表是在党的总路綫、大跃进的指引下，为适应我国国民經济的发展对新型成套自动化仪表的需要，我国仪表科研和生产单位的广大工人和技术人員，高举毛泽东思想伟大紅旗，經過两条路綫的斗争，发揚自力更生、奋发图强的精神，大力协同研究試制成功的。这是毛泽东思想的伟大胜利；是总路綫、大跃进的成果。

这套仪表的特点是：采用力补偿原理，精度、灵敏度高，寿命长；仪表按組合原則設計，各单元分別起着独立的作用，并采用了統一的标准聯絡信号，根据工艺流程的不同要求，可以組成各种简单的或复杂的自动調节系統，因此，具有高度的通用性和灵活性。这些特点适应工业生产过程自动化技术发展的要求。它是各工业部門，特別是石油、化工、电力、冶金等部門，当前提高工业生产过程自动化的关键仪表之一。

这套仪表已成批生产、推广使用。并根据使用中發現的問題，不断地改进和提高。

在史无前例的无产階級文化大革命中，在“抓革命，促生产”的大好形势下，有关单位反映，当前迫切需要全面地、系統地、具体地介紹这套仪表的資料，以便于广大工人和技术人員熟悉和掌握它。为此，我們在各兄弟单位的大力协助下，編印了这份資料。

毛主席教導我們：“我們的文学艺术都是为人民大众的，

首先是为工农兵的，为工农兵而创作，为工农兵所利用的。”“在目前条件下，普及工作的任务更为迫切。輕視和忽視普及工作的态度是錯誤的。”

遵照毛主席的教导，我們从普及出发，并根据它的主要閱讀对象，按分册編印。

第一分册着重对各单元分別做了介紹，內容力求具体，說明力求通俗。第二分册匯編了主要单元的設计、分析資料，以及应用这套仪表的例子。附录中将几个厂当前試制、生产的气动单元組合仪表，按厂分別列出，只供有关单位具体选择仪表或了解品种情况之用。

本資料是我們較系統地介紹我国工业自动化仪表的初次嘗試。由于我們对广大群众的需要还了解的不全面，而且編者水平有限，本資料肯定会有不少缺点和錯誤。毛主席教导我們：“任何一种东西，必須使人民群众得到真实的利益，才是好的东西。”“社会实践及其效果是檢驗主观愿望或动机的标准。”我們热誠地希望广大讀者，在实践中对它进行审查，提出批評，并請将宝贵意見寄北京 606 邮政信箱，使我的工作做得好些。

編 者

目 录

編制說明	1
------	---

第一部份 仪表的分析与計算

一、气动小放大器的改进	1
二、气动放大器——从流量的角度分析 放大器的特点	16
三、气动单元組合仪表用橡胶膜片	42
四、主要热工量变送器的分析	64
五、气动力补偿式差压变送器的测量部分	75
六、气动力补偿式差压变送器的誤差分析	89
七、QTL-500型比例积分調节器的簡要分析	115
八、QTL-500型比例积分調节器动态特性的分析	136
九、QTW-200型微分器动态特性的分析	157
十、乘除器的設計計算	170
十一、QJB-100型比值器	183
十二、記錄仪表	188

第二部份 QDZ 仪表的应用

一、QDZ 仪表在炼油厂中的应用	198
二、QDZ 仪表在发电厂中的应用	209
三、QDZ 仪表在氧化炉生产过程中試驗情况	229

第一部份 仪表的分析与计算

气动小放大器的改进

气动放大器是气动自动化工具中的一个重要部件，无论在变送器、转换器、调节器等都是不可缺少的，实质上它是个转换环节，并且最后表现为空气流动量的放大，它的性能直接影响整个仪表的精度。因此，对它的要求主要有以下几点：

1. 喷嘴-挡板之间的位移小，线性好，灵敏度高。
2. 输出功率要大，反应迅速，保证能远距离传送信号。
3. 结构紧凑，体积小及装拆方便，以适合多种场合的应用。
4. 不受气源波动的影响。

根据资料的收集，目前关于放大器的结构型式较多，如喷嘴有通大气的和不通大气的，外型有大的有小的以及方的圆的等；但在原理方面，基本相差不很大，都是利用喷嘴-挡板和膜片弹簧等组合而进行工作的；由于使用要求的不同，以及各个制造厂家的关系，因此，在结构型式上极不统一，但均各有其特点；从通用标准化来看，有必要加以分析，综合选择一个典型的结构型式，使其达到统一标准的目的。

为此，我们针对这些问题，作了分析研究和改进；考虑简单、通用及进一步实现统一标准，以适合我国大量生产，为今后发展新品种创造有利条件。

特性分析

图1是开口喷嘴放大器的作用原理图，动作原理如下：

当气源经过过滤器后进入气室1，经阀杆2到气室3；气室3的压力由弹簧4来决定的，当喷嘴完全打开时，等于30~50毫米汞柱空气压力，其压力经恒节流孔6到气室7中去，并由喷嘴流出。

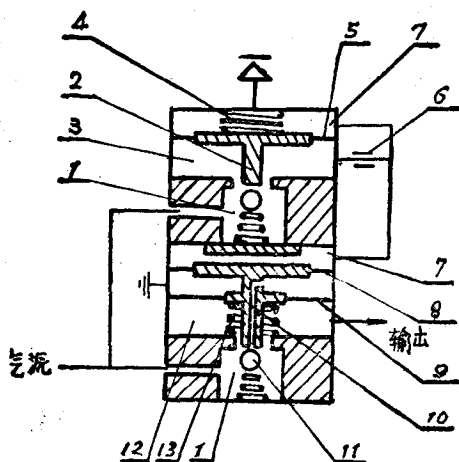


图1 开口喷嘴放大器的作用原理图

当挡板靠近喷嘴时，喷嘴背压室内压力增高，使得作用在膜片部分8和9上的力平衡破坏，于是膜片部份关闭空心杆10，打开功率球阀11，空气经过该球阀到输出气室12，直到12中压力增加到使膜片8和9恢复平衡为止。

相反，当挡板离开喷嘴时，使喷嘴背压减小，膜片部份上的力就反向作用，使得气室12中的压力，经过空心杆10，而排出到大气中去。

选择不同尺寸 8 和 9 的膜片有效面积，可使输出压力与喷嘴背压成 2.5 倍的关系，背压初始值可用改变弹簧 13 力的大小，来选取喷嘴背压变化的工作区域，使其处于喷嘴-挡板最佳线性范围。

关于放大器特性上的要求，前面已明确叙述，下面对放大器的特性进行分析，找出各个参数之间的关系及对放大器特性的影响。

一、喷嘴-挡板部分对放大器特性的影响

一般喷嘴-挡板的静特性是不够好的，不仅斜率小，而且各点斜率差别大，如图 2 中的曲线 1，因此，必须在特性上加以改善。目前改善喷嘴-挡板特性采用以下几种方法：

1. 保持恒节流孔两端压差恒定。
2. 保持变节流孔两端压差恒定。
3. 保持恒节流孔和变节流孔两端压差都恒定。

采用后一种方法，能使喷嘴-挡板具有很好的静特性。但是要保持变节流孔两端压差恒定，只能适用于喷嘴不通大气的放大器；由于喷嘴不通大气的放大器挡板需要的力比较大，因此，在某种场合就不适合应用。

在喷嘴通大气的放大器里，采用保持恒节流孔两端压差恒定的方法，来改善喷嘴-挡板的静特性；此时，喷嘴-挡板的特性如图 2 中曲线 2。特性曲线分为两段：

当 $0 \geq h \leq h_0$ 时，特性不变。

$$h = \frac{d_1^2}{4d_2} \sqrt{\frac{(p_0 - p_1)p_1}{(p_1 - p_2^*)p_2^*}}$$

当 $h \geq h_0$ 时，特性变陡。

$$h = \frac{d_1^2}{4d_2} \sqrt{\frac{\Delta p_{n0} p_1}{(p_1 - p_2^*)p_2^*}}$$

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma_2 &= \frac{p_0 - \Delta p_{n0} - p_3}{H_2 - h_0} \\ &= \frac{p_0 - \Delta p_{n0} - p_3}{\frac{d_1^2}{4d_2} \left(\sqrt{\frac{\Delta p_{n0} p_3}{(p_3 - p_2^*) p_2^*}} - \sqrt{\frac{\Delta p_{n0} (p_0 - p_{n0})}{(p_0 - \Delta p_{n0} - p_2^*) p_2^*}} \right)} \quad (2) \end{aligned}$$

$$\therefore p_0 - p_3 > \Delta p_{n0}$$

$$\therefore \operatorname{tg} \gamma_2 > \operatorname{tg} \gamma_1$$

式中: h ——挡板位移;

d_1 ——恒节流孔直径;

d_2 ——喷嘴直径;

p_0 ——气源压力;

p_1 ——背压;

p_2^* ——喷嘴出口压力;

p_3 ——工作行程终点压力。

因此, 具有恒节流孔两端压差恒定有下面几个特点:

1. 改善了喷嘴-挡板特性。

2. 由公式(1)和(2)知道, 选取不同尺寸的 d_1 、 d_2 和 Δp_{n0} 可以改变特性曲线。当 Δp_{n0} 取得大时, 由于灵敏度减低, 工作范围缩小, 所以, 一般 p_{n0} 不取得很大, 通常取 30~50 毫米汞柱空气压力。

3. 能防止气源波动影响。

采用恒节流孔两端压差恒定, 虽然特性已有显著改善, 但是, 在不同的范围其斜率仍有差别。在图 2 的曲线 2 上, 选取一段线性较好的范围作为喷嘴-挡板转换的工作区域, 如 AB 段, 并把这个工作区域进行压力放大, 列出图 1 中放大部份的平衡方程式:

$$p_1 F_1 = p_2 F_2 + p_{\text{弹簧}}$$

式中： p_1 ——背压；

p_2 ——放大器輸出压力；

$p_{\text{差彈}}$ ——差压弹簧产生的力；

F_1 ——大膜片有效面积；

F_2 ——大膜片有效面积。

設： $\frac{F_1}{F_2} = n$ ，代入上式后得：

$$p_2 = n p_1 - \frac{n p_{\text{差彈}}}{F_1} \quad (3)$$

若： $p_{\text{差彈}} = 0$ ，則 $p_2 = n p_1$

輸出压力是噴嘴背压的几倍，并把噴嘴背压初始一段范围作为工作区域，如图 2 中 $A_1 B_1$ 段，而噴嘴背压在初始段的特性是很不好的，經放大后，得到如图 2 中的特性 3，这样就不能滿足放大器的綫性要求。

若： $p_{\text{差彈}} \neq 0$ ，則： $p_2 = n p_1 - \frac{n p_{\text{差彈}}}{F_1}$

当膜片有效面积和差压弹簧的数值选定之后， $\frac{n p_{\text{差彈}}}{F_1}$ 項为常数，那么在图 2 中选取 AB 段，經放大后，将得到如图 2 中的特性 4。

图中說明，特性 3 和 4 不同之处，在于同样的輸出信号范围内，其噴嘴背压范围是不同的，因此，根据噴嘴-挡板的特性，并适当选取差压弹簧的数值，就得到噴嘴-挡板最佳綫性的工作区域。这种放大器有下面两个特点：

1. 斜率很陡，挡板只要移动很小的距离，就能达到輸出信号范围，能提高放大器的灵敏度。

2. 各点斜率差別有显著减少，能提高放大器的綫性度。

由此可知，具有恒节流孔两端压差恒定。以及具有調節工

作区域的差压弹簧和压力放大系数的放大器，能改善喷嘴-挡板特性。

二、球阀流通面积对放大器特性的影响

1. 球阀流通面积对流量的影响。

图3中，假定 $p_0 = \text{常数}$ 。根据气体定律得：

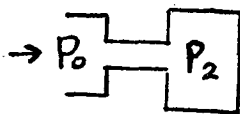


图3 气室示意图

$$p_2 V = mRT$$

$$dm = \frac{V}{RT} dp_2$$

令： $\frac{p_2}{p_0} = r$ ，则， $dp_2 = p_0 dr$ ，代入上式得，

$$dm = \frac{V p_0}{RT} dr \quad \therefore \frac{dm}{dt} = \frac{V p_0}{RT} \frac{dr}{dt}$$

又从流量公式得：

$$G = \frac{dm}{dt} = \mu F p_0 \frac{1}{\sqrt{T}} \frac{1}{R} \mu(r) \quad (4)$$

式中：

$$\text{当 } \frac{p_2}{p_0} \geq 0.528, \quad \mu(r) = \sqrt{2gR \frac{K}{K-1}} \sqrt{r^{2/K} - r^{K+1/K}}$$

$$\text{当 } \frac{p_2}{p_0} \leq 0.528, \quad \mu(r) = \sqrt{2gR \frac{K}{K+1} \left(\frac{2}{K+1} \right)^{\frac{2}{K-1}}}$$

$$\therefore \mu F p_0 \frac{1}{\sqrt{T}} \frac{1}{R} \mu(r) = \frac{V p_0}{RT} \frac{dr}{dt}$$

$$\therefore dt = \frac{V dr}{\sqrt{T} \mu F \mu(r)}$$

$$\therefore t_{\text{光}} = \frac{V}{\mu F \sqrt{T}} \int_{r_0}^r \frac{dr}{r u(r)} \quad (5)$$

同理可証,

$$t_{\text{放}} = \frac{V}{\mu F \sqrt{T}} \int_{r_0}^r \frac{dr}{r u(r)} \quad (5')$$

式中: V ——球閥后面的容室体积;

m ——气体质量;

R ——气体常数;

T ——绝对温度;

p_0 ——球閥前面压力;

p_2 ——球閥后面压力;

G ——空气流量;

μ ——流量系数;

F ——球閥流通面积;

K ——绝热指数;

g ——重力加速度;

r_0 ——在 $t=0$ 时之 r 值。

而球閥流通面积与閥孔大小, 閥杆开度及閥杆型式有关。

图 4 中, 設:

d_c ——閥孔直径;

α ——閥杆錐角;

h_i ——閥杆开度。

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{h'_i}{h_i}$$

$$\therefore h'_i = h_i \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$d_{cp} = d_c + 2 M N$$