

高等学校教学讲义

内燃机动力学 构造与计算

下 册

交通大学内燃机教研组编



机械工业出版社

內 燃 机 动 力 学

構 造 与 計 算

下 册

交通大学內燃机教研組編



机械工業出版社

1958

出版者的話

本書(下冊)是「內燃機動力學、構造與計算」第二部分的第七章至第十一章。這一冊和中冊是根據蘇聯專家羅綱諾夫的講義編寫的。

這一冊敘述內燃機配氣機構、冷卻系統、潤滑系統、起動設備及逆轉設備的功用、各式構造以及設計計算方法。

本書可供高等學校內燃機專業學生和從事內燃機設計、研究工作的工程技術人員參考。

NO. 1644

1958年4月第一版 1958年4月第一版第一次印刷

850×1168^{1/32} 字數155千字 印張7 0,001—3,000冊

機械工業出版社(北京東交民巷27號)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第008號 定價(10) 1.30元

目 次

第七章 內燃机的配气机构	5
1 气閥	5
2 閥座	19
3 导管	22
4 气閥彈簧	23
5 彈簧盤	28
6 凸輪軸	29
7 凸輪軸对气閥的驱动	48
8 星型發動机的气閥配气机构	62
9 滑閥配气机构	64
10 配气器官的計算	72
11 气閥机构中零件的强度計算	93
第八章 內燃机的冷却系統	105
1 空气冷却系統	105
2 液体冷却系統	106
3 空气冷却系統和液体冷却系統的比較	112
4 液体冷却系統中个别組件的構造	113
5 冷却系統的計算	134
第九章 內燃机的潤滑系統	139
1 潤滑系統的各种形式	139
2 潤滑系統的組件構造	142
3 曲軸箱通風及其他設備	161
4 潤滑系統中主要元件的計算	163
第十章 內燃机的起動設備	168
1 轉动發動机曲軸的設備	168
2 使發動机曲軸易于轉动的設備	190
3 使最初燃燒易于出現的設備	195
第十一章 內燃机动力裝置的逆轉設備	199
1 逆轉設備的分类	199
2 可逆轉發動机的逆轉設備	200

3 控制樞紐.....	203
4 逆轉离合器和逆轉減速傳動機構.....	206

.....	207
.....	208
.....	209
.....	210
.....	211
.....	212
.....	213
.....	214
.....	215
.....	216
.....	217
.....	218
.....	219
.....	220
.....	221
.....	222
.....	223
.....	224
.....	225
.....	226
.....	227
.....	228
.....	229
.....	230
.....	231
.....	232
.....	233
.....	234
.....	235
.....	236
.....	237
.....	238
.....	239
.....	240
.....	241
.....	242
.....	243
.....	244
.....	245
.....	246
.....	247
.....	248
.....	249
.....	250
.....	251
.....	252
.....	253
.....	254
.....	255
.....	256
.....	257
.....	258
.....	259
.....	260
.....	261
.....	262
.....	263
.....	264
.....	265
.....	266
.....	267
.....	268
.....	269
.....	270
.....	271
.....	272
.....	273
.....	274
.....	275
.....	276
.....	277
.....	278
.....	279
.....	280
.....	281
.....	282
.....	283
.....	284
.....	285
.....	286
.....	287
.....	288
.....	289
.....	290
.....	291
.....	292
.....	293
.....	294
.....	295
.....	296
.....	297
.....	298
.....	299
.....	300
.....	301
.....	302
.....	303
.....	304
.....	305
.....	306
.....	307
.....	308
.....	309
.....	310
.....	311
.....	312
.....	313
.....	314
.....	315
.....	316
.....	317
.....	318
.....	319
.....	320
.....	321
.....	322
.....	323
.....	324
.....	325
.....	326
.....	327
.....	328
.....	329
.....	330
.....	331
.....	332
.....	333
.....	334
.....	335
.....	336
.....	337
.....	338
.....	339
.....	340
.....	341
.....	342
.....	343
.....	344
.....	345
.....	346
.....	347
.....	348
.....	349
.....	350
.....	351
.....	352
.....	353
.....	354
.....	355
.....	356
.....	357
.....	358
.....	359
.....	360
.....	361
.....	362
.....	363
.....	364
.....	365
.....	366
.....	367
.....	368
.....	369
.....	370
.....	371
.....	372
.....	373
.....	374
.....	375
.....	376
.....	377
.....	378
.....	379
.....	380
.....	381
.....	382
.....	383
.....	384
.....	385
.....	386
.....	387
.....	388
.....	389
.....	390
.....	391
.....	392
.....	393
.....	394
.....	395
.....	396
.....	397
.....	398
.....	399
.....	400

第七章 內燃机的配气机构

配气机构的用途是保证换气过程的进行，即驱除气缸中的燃烧产物，并以新鲜空气充量或可燃混合物充满之。

配气机构可分为两部分：

1. 配气器官——在气体流出或进入气缸时被打开的气孔称为配气器官；

2. 配气器官的驱动设备——这机构是保证配气器官在必需的时间内以一定的规律启闭。

所有发动机的配气器官可以区分为下列几种形式：

(a) 气阀式的配气器官； (b) 滑阀式的配气器官；

(c) 混合的配气器官。

最后一种广泛应用于二冲程发动机中；它通常是由气阀式的排气器官和滑阀形式的进气（扫气）器官组成。

根据配气器官的形式，可以把发动机称为气阀的、滑阀的或混合配气的。

配气器官的驱动设备决定于配气器官的形式和构造，因此说明驱动设备的构造宜在说明某一形式配气器官之后。

1 气 阀

在所有型式的四冲程发动机中都用气阀来作进气和排气的器官，在二冲程发动机中用作排气器官。

气阀之所以广泛地用作配气器官，是由于它有下列一些优点：

1. 气阀保证气缸有着可靠的密封作用，因此它满足了气阀器官的基本要求。

2. 在使用的条件下气缸失去了密封性时易于修复，这时可以研磨气阀和阀座配合表面或是调换比较便宜的零件。

3. 气阀式配气器官的構造具有良好的工艺性。

4. 气阀机构的構造具有很高的工作能力。

气阀式配气器官的簡圖示于圖 287 上。在这器官中有着流入或导出气体的气道 1，气道的区域 2 称为气道口，在它朝向气缸一边有一被称为气阀座的錐形表面 3，气阀 4 就以其所謂錐面靠在它上面。錐面和閥座間的緊密配合是从工艺上进行精磨或研磨来保証。

气阀在导管 5 中上下移动，导管 5 与閥座是同心的。气阀被气阀彈簧 6 关闭着，并保証它处在封閉狀況下。彈簧一端靠在固定的零件上，另一端靠在緊固于气阀的彈簧盤 7 上。

气阀位于气缸之側或是在气缸之上。

第一种情形（圖 288 a）的气阀称为下置式的或是側置式的。气道是澆鑄在气缸或气缸体中。所有的气阀（每气缸有二只）排列在气缸的一边，并在与曲軸軸綫平行的平面中。

气阀之所以要單边排列，是因为要保証燃燒室的形狀从燃燒过程方面看来是合适的，同时也是为了力求簡化气阀的驱动机构和整个發動机。

第二种情形（圖 288 b）中的气阀称为上置式或悬挂式。上置式气阀的驱动裝置比下置式气阀的要复杂得多，發動机在曲軸軸綫以上的高度也要增加。

然而上置式气阀却有可能获得很緊湊的、最有利的燃燒室形狀，并且还可减少进气和排气系統中的流动阻力。

因此，对于所有型式的压燃式發動机与气缸直徑大、压缩比高的（航空發動机），以及高速性較高的电火花点火式發動机，气阀上置是必需的。

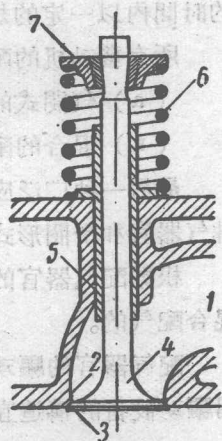


圖 287

气閥上置后便有可能
在每个气缸中安置 1 个到
4 个气閥。

在二冲程发动机的气
缸头上装置一只气閥作为
排气器官。这种发动机在
英国的彼得 (Петер) 公
司中曾經制造过。采用一
只气閥可增大气閥的通路
截面积, 大大地降低流动

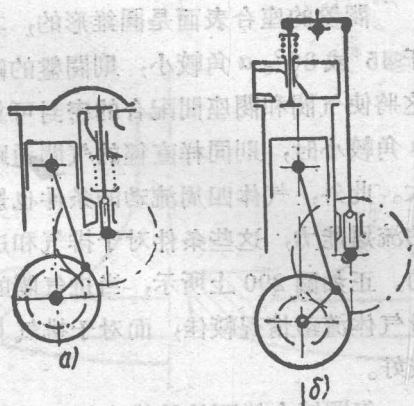


圖 288

阻力, 因此一个大气閥的
流通能力比几个气閥的流通能力大, 虽然它們的总通路截面积是
一样大; 这一情况对于利用廢气动力現象以改善气缸的扫气和充
气的发动机 (在上述的发动机中就应用这种現象) 具有特別的意义。
必須要注意到, 采用一气閥構造的可能性是受到限制的, 这
是因为气閥和驱动机构質量的增大引起了过大的慣性力的緣故。

在絕大多数发动机中每气缸裝有兩個气閥, 在二冲程发动机
中二气閥都是排气的, 在四冲程发动机中其中之一是进气的。三
气閥的構造是用在四冲程航空发动机上。为了要保証得到較完善
的充气, 其中有兩個气閥是进气用的, 而另一直徑較大的气閥是
排气用的; 同时, 这样分配也是由于排气閥中冷却設備的需要,
因为气閥尺寸較大冷却亦較易。

发动机高速性进一步的提高促使发动机四气閥構造的出現。
在二冲程发动机中的四气閥全是排气用的, 而在四冲程发动机中
有二只是用来进气的。

上置式气閥中心綫可以与气缸軸綫平行或不平行; 在后面的
一种情况里, 气閥尺寸可能得以增加, 而气道和燃燒室可能具有
最有利的形狀 (圖 225)。

气閥本身可以分为头部 (或閥盤) 和杆部 (閥杆) (圖 289)。

閥盤的座合表面是圓錐形的，其斜角 α 等于 45° 或 30° 。 α 角較小，則閥盤的剛度較小，這將使氣閥和閥座間配合的密封可靠性減小。

α 角較小時，則同樣直徑的氣閥通路截面積增大。此外，氣體四周流動的條件也影響到氣閥的流通能力，這些條件對於排氣和進氣是不同的。正如圖 290 上所示，當進氣閥的 α 角較小時氣體流動情況較佳，而對於排氣閥則大些較好。

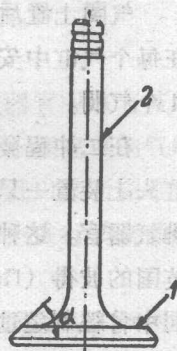


圖 289 氣閥：

1—閥盤；2—閥杆。

氣閥接合錐面的母綫愈短，則它和閥座座面的配合密封性更易于保證；因此，有採用如圖 291 上所示的由二種不同斜角的錐面組成閥盤。

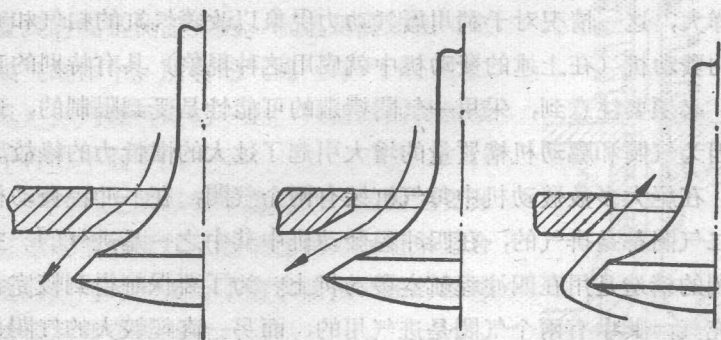


圖 290

氣閥和閥座在工作時受到磨損，在它們上面出現了凹凸的肩階，這種凹凸不平會妨礙氣閥緊密地與閥座接合（圖 292）。氣閥錐面和閥座面上凹凸的大小隨材料和工作條件而定。在制定氣閥和閥座的有關配合尺寸時必須要從下列幾點出發。

當閥座磨損較快時，其錐面應具有較小的長度（圖 293）。這樣當閥座錐面磨損時，氣閥將逐漸下沉但卻並不改變氣閥錐面的形狀，當氣閥錐面磨損後，其形狀也易于用研磨的方法修復。所以當閥座的硬度比氣閥錐面的小得多時就採用這種方式。而事實

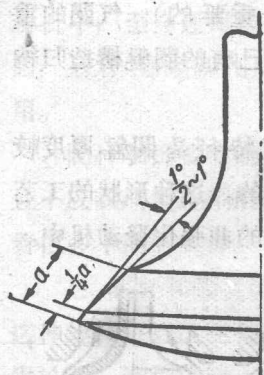


圖 291

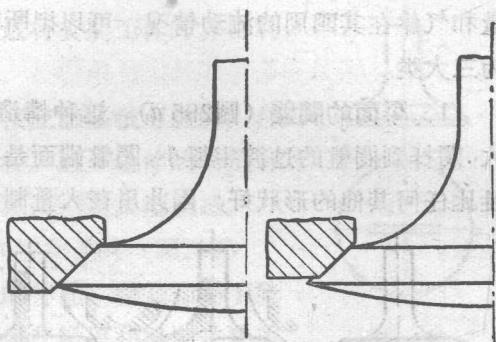


圖 292

上这种情况是最普遍的。

当閥座座面的硬度和气閥錐面的一样时，則气閥錐面做得比較狹些（圖 294），因为气閥的溫度比閥座的高，其座面的磨損可能較大。当气閥的狹錐面磨損时只要閥座座面的磨損不显著，則配接的准确性是会被破坏的。如果發現閥座座面已經有了显著的磨損，就應該立即調換或磨光以恢复其座面形狀。近来，为了要延長閥座的使用期限，已經有用剛度高和耐磨性高的材料（白口鐵）来制造的趋势。

閥盤的形狀不仅决定了气閥的制造成本，还决定了閥盤的剛

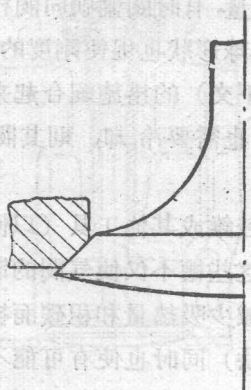


圖 293

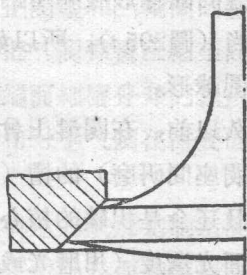


圖 294

度（这对保证气阀锥面具有正确的形状是很重要的）、气阀的重量和气体在其四周的流动情况。可以把所有已有的阀盘构造归纳为三大类。

1. 平面的阀盘（圖295 a） 这种构造的特征是阀盘厚度较大，阀杆到阀盘的过渡半径小，阀盘端面是平的。这种形状的工艺比任何其他形状好，因此用在大量制造的非强化发动机中。



圖 295

2. 喇叭形的阀盘（圖295 b） 这种形状是航空发动机和其他强化发动机的进气阀所特有的。从阀杆到阀盘的过渡半径很大，这样便大大地改善了气缸充气时气流在气阀四周的流动情况，同时也增加了阀盘刚度，防止了锥面的变形。为了要减轻气阀的重量，阀盘朝向气缸一面是凹入的，这使气阀具有喇叭的形状。这种构造的缺点是制造困难和气阀的受热表面增大。

3. 凸形的阀盘（圖295 c 和 d） 这种形状改善了气体流出气缸时气阀四周的流动情况。因此，在一切型式的强化发动机中，排气阀都制成这种形状。为了减少气阀的重量，有时阀盘朝向阀杆的一面也要加工成球面（圖295 c）。阀盘的圆球形状也促使刚度的增加。

阀盘的圆球形状和用钠冷却（見下文）的措施配合起来显得特别恰当（圖295 d）；所以如果进气阀也需要冷却，则其阀盘也可做成圆球形。

不久以前，在阀盘上曾做有安插赶锥或其他工具（以便进行气阀和阀座间研磨）的槽（圖296）。这些槽不仅使气阀的制造费事，并且还会是积碳的核心。为了要减少吸热量和积碳而提高阀盘的表面光洁度（用磨光或抛光的方法）同时也使有可能不必开槽而用橡皮头进行研磨。只有在非强化的和大型船用固定式的发

动机中，至今还用槽和螺絲孔来达到这一目的，后者（即螺絲孔）在进行安装工作时亦可利用。

閥杆和彈簧盤的连接应该是很可靠的，并且不应该严重地削弱閥杆。这一組件的構造有着很多不同的式样，下列是一些典型構造。

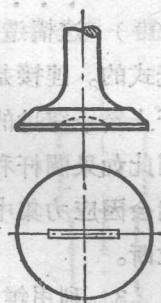


圖 296

1. 閥杆和彈簧盤用螺絲連接 (圖297)

这种连接可以改变彈簧的伸縮，但是却易于發生松動。这种连接方式用在船用和固定式發動机上。

在現代的气閥上置并由凸輪軸直接驅動的強化發動机中采用另一种变相的構造，这种構造允許調节气閥和凸輪間的間隙。为此（圖298），在閥杆1的紧配合螺絲上旋上一閥盖2，在閥盖朝向气閥的一端面上有着許多三角形的細槽。彈簧盤3和閥杆也用細小的三角形槽按轉合座連接（AA剖面），而彈簧盤和閥盖間則用端面的三角形徑向細槽按轉合座連接。端面徑向細槽和閥杆上的縱向細槽使閥盖不可能相对于气閥作自發的移动。

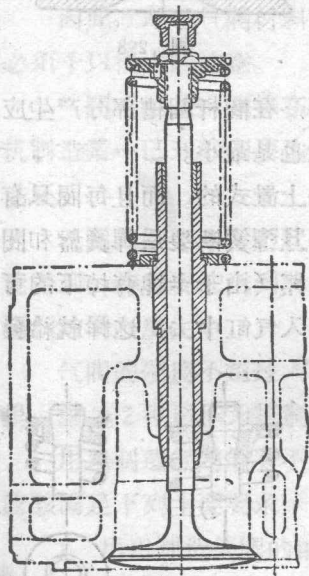


圖 297

校正閥盖和凸輪間的空隙时，必須先把气閥彈簧壓縮至閥盖和彈簧盤的端面細槽分开的程度，然后使閥盖相对于气閥在需要的方向旋轉。

这構造的缺点是制造閥盖和閥杆上的定中心表面和螺絲需要很高的准确性。

2. 彈簧盤和閥杆用銷子連接(圖299) 這構造和第一種構造都是最老式的。連接是完全可靠的, 但是閥杆上銷子穿過的孔大大地削弱閥杆, 因此如果閥杆和孔製造得不够好, 可能會因应力集中、金屬的缺陷等而被拉斷。

3. 利用錐形卡塊連接 (圖300)

這種連接現在認為是最合用的, 并且已在所有型式發動機中應用。

當閥杆上用以安置卡塊的凹槽有着適當的形狀時, 則此連接方式削弱杆身較少。

在圖中所列的凹槽形狀里, 最好的該推其中的 δ 式。它不僅能和彈簧盤緊密地配合, 同時和閥杆的配合也

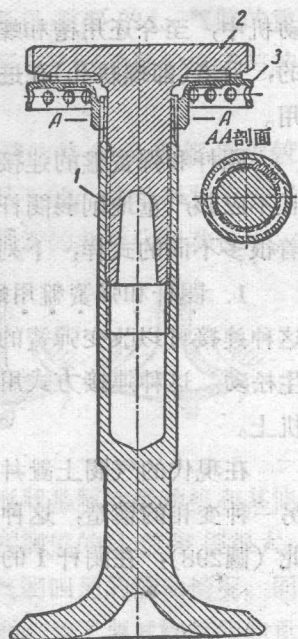


圖 298

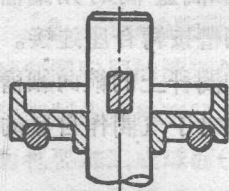


圖 299

同樣地好。此外, 在閥杆凹槽部分產生应力集中的可能性也是最小。

如果氣閥是上置式的, 而且每閥只有一只彈簧, 則一旦彈簧斷裂後彈簧盤和閥杆的連接會被破壞 (由於卡塊有掉下的可能性), 氣閥會落入氣缸中去, 這樣就給發

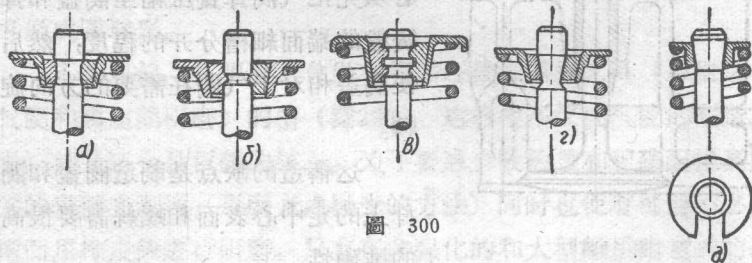


圖 300

动机帶來巨大的禍害。

这一缺点不难防止，只要在閥杆上的适当凹槽中安放一彈簧圈（圖 301），便可阻止气閥落入气缸中去。

气閥的工作条件，特别是排气閥，是非常严重的。它們要受到高温气体的强烈加热，因此气閥的温度升高到 $350\sim 700^{\circ}\text{C}$ ，而强化发动机的排气閥温度竟达 850°C 。閥盤錐面四周是被包圍在高速的（其值达声速 ≈ 800 公尺/秒）、高温的、有化学侵蝕性的气体中；当气閥落到閥座上时又受到冲击載荷的作用。

閥杆实际上是在沒有潤滑的条件下和导管摩擦进行工作的，因而受到磨損；它还受到彈簧和气閥慣性力的拉伸和压缩，杆端又受到从驱动机构方面傳来的冲击載荷和磨損。

因此，对于气閥材料的选择、構造的拟定和制造工艺等方面必須予以很大的注意。

气閥毛坯是由鋼棒在热状态下鍛成或模鍛鍛成。在汽車拖拉机制造業中已开始利用生产率大的冷鍛鋼棒的方法来制造气閥毛坯。

气閥的必要几何形狀和机械性質要在机械加工和热处理后才能得到。特別要注意到閥杆的直度和准确的圓柱体形狀，錐面与閥杆的同心度。

气閥的硬度不超过 $HR_C = 40$ ，通常是在 $HR_C = 25\sim 35$ 的範圍里。圖 302 可以作为拟制气閥工作圖的例子。

用以制造气閥的有不滲碳的碳素鋼、合金鋼和特种鋼。它們應該滿足下列主要要求：

1. 用以制造气閥的鋼的淬火溫度應該高于气閥工作时可能到达的溫度。否則它会淬硬很深而致失却必要的韌性，并且还有可能产生淬火裂縫和引起气閥的損坏。

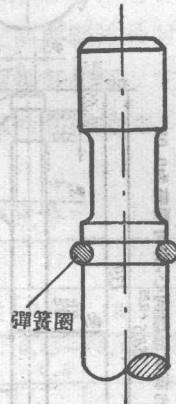


圖 301

會为排气閥制有一些特种气閥鋼，它們能在 900°C 的溫度下可靠地工作。这些鋼可以分为兩大类（表23）——碳化物鋼和奧氏体鋼。碳化物鋼是在空气中淬火的，它在淬火状态时具有很高的硬度和脆性，因此由这种鋼制成的毛坯在加工前要經過長时期的回火，使硬度降低到 $HR_C = 23 \sim 28$ 。奧氏体鋼恰好相反，它并不需要淬火，它具有很高的耐热性、韌性、耐磨性和抗蝕性，而其硬度也很低（ $HR_B = 160 \sim 200$ ）。

表23 在苏联最常用的气閥鋼的化学成分

鋼的 型式	鋼的牌號	化 学 成 分 (%)						
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	其 他
碳 化 物 鋼	X6M (ЭИ151)	≤0.15	≤0.5	≤0.5	≤0.6	5~6	0.45~ 0.6	(0.1~0.6) V
	X8C (ЭСХ8)	0.35~ 0.5	2~3	0.3~0.7	≤0.6	8~9.5	—	—
	X10CM (ЭИ107)	0.35~ 0.45	1.9~2.6	0.3~0.7	≤0.6	9~10.5	0.7~ 0.9	—
	X18 (ЭИ229)	0.9~ 1.0	≤0.9	≤0.6	≤0.6	17~19	—	—
奧 氏 体 鋼	X25 (ЭИ181)	≤0.2	≤1.2	≤1.5	≤0.6	23~27	—	≤0.2N
	X12H7C (ЭИ72)	0.25~ 0.35	2~3	≤0.6	6.5~7.5	11.5~14	—	—
	X20H14C (ЭИ211)	≤0.2	2~3	0.7~1.2	13~15	18~22	—	—
	X14H14C (ЭИ69)	0.4~ 0.5	0.3~0.8	≤0.7	13~15	13~15	0.25~ 0.4	(2~28)W
	X14H14BC (ЭИ240)	0.4~ 0.5	2.7~3.3	≤0.7	13~15	13~15	≤0.5	(2~2.8)W

表23中最后兩種牌号的鋼是較好的，它們广泛应用于大功
率航空發動机的排气閥制造中。

从表中可以看到，在气閥鋼中合金成分的含量很多，这也就是說，这些鋼是很貴的。

因此，在汽車拖拉机制造中有采用組合的排气閥構造。組合
气閥的閥盤由特种气閥鋼做成，而后焊接在由較便宜的碳素鋼或
較差的合金鋼制成的閥杆上。譬如，苏联 ЯА3 發動机的排气閥就
是这样做的。

在气閥尺寸很大的船用發動机中，曾經用过組合气閥（圖

303)，閥盤是由鑄鉄制成的，而後旋緊在閥杆上。然而後來亦不得不放棄這種氣閥構造。以特种鋼製造排氣閥的情況已經不僅限於航空和汽車拖拉機發動機，同時在船用和固定式發動機中亦已推廣。

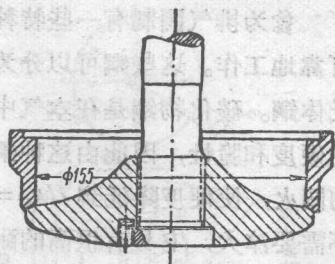


圖 303

在航空發動機中，後來也在其他強化的發動機中，由於應用了軟性奧氏體鋼，就有必要在氣閥錐面上鍍上一層硬度高、耐磨性大的斯特里特合金（鈷鉻鎢鎢合金），其厚度為0.8~1.5公厘。強化發動機的氣閥杆端也可鍍上一層這樣的合金，以防它因受敲擊而發生剝落現象。

此後，不僅是在錐面上，甚至是在排氣閥閥盤朝向氣缸一面的整個表面上都要鍍上一層斯特里特合金。

氣閥的工作能力不僅在很大程度上有賴於材料的牌號，同時也有賴於氣閥的構造形狀。因此，在氣閥上有鋒利的邊緣、尖角、切削刀痕和刮傷等應力局部集中的地方是不允許的。從閥杆到閥盤的過渡應具有足夠大的半徑。

金屬中有無隱藏的缺陷，要用磁力探傷和X光檢驗的方法進行檢查。

儘管冶金師和工藝師在氣閥製造方面有了巨大的成就，現代強化發動機的設計師們還是不得不在保證氣閥工作能力的措施上，特別是在降低氣閥工作溫度的方法上，予以不少的注意。

大家知道，閥盤所承受的热量是經過閥座、閥杆、導管而後散到空氣中去的。因此，要氣閥緊密地靠在閥座上是很重要的，因為這是降低氣閥溫度的一種方法；閥杆和導管間的間隙希望盡量小，氣閥材料的導熱性愈大愈好，線膨脹系數也愈小愈好。

在這方面，較好的奧氏體氣閥鋼卻因為導熱性非常小，線膨