



SELECTION & SERVICE GUIDE

移动空压机 选型指南

从物理原理、螺杆主机，到选型计算与维护保养
写给凯钻经销商与设备用户

本书内容

空气与压缩热力学
螺杆主机与整机系统
潜孔钻进配套关系
凯钻六步选型法
机型速查与算例
操作、保养与排障



浙江凯钻机械有限公司

Zhejiang Kaizuan Machinery Co., Ltd. · 复杂工况气源动力解决方案商

2026

经销商与客户版

CONTENTS

目录

写在前面	4
本书怎么读	4
本书的约定	4
版本信息	5
认识移动空压机与凯钻	6
1.1 什么是移动空压机	6
1.2 凯钻是谁	6
1.3 凯钻产品线全景	7
1.4 六项核心技术	8
1.5 型号怎么读	9
物理学基础：空气、压力与温度	10
2.1 压力：表压与绝对压力	10
2.2 温度与绝对温度	10
2.3 理想气体状态方程	11
2.4 密度与质量流量	11
2.5 海拔：为什么高原上机器“变小了”	11
2.6 湿空气与冷凝水	12
2.7 自由空气排气量（FAD）	13
压缩热力学与公式推导	14
3.1 压缩功从哪里来	14
3.2 三种压缩功的推导	15
3.3 排气温度：为什么必须喷油	15
3.4 两级压缩与最佳中间压力	16
3.5 从理论到真实	17
螺杆主机：转子是怎样把空气压缩的	18
4.1 基本结构	18
4.2 工作循环：吸气—压缩—排气	19
4.3 转子型线与齿数	19

4.4 内容积比：螺杆机最容易被忽视的参数	20
4.5 泄漏与容积效率	21
4.6 单级主机与双级主机	21
4.7 主机的驱动方式	21
整机系统详解	23
5.1 进排气系统	23
5.2 冷却润滑系统	24
5.3 控制系统（柴油机）	25
5.4 控制系统（电动机）	26
5.5 动力系统	26
5.6 燃油系统	27
5.7 底盘与机罩	27
潜孔钻进与空压机的配套关系	28
6.1 潜孔冲击器怎样工作	28
6.2 冲击器的压力与耗气	28
6.3 孔径、冲击器与钻杆的匹配	29
6.4 排渣：环空与上返风速	29
6.5 水柱：深水井的压力杀手	31
6.6 与钻机连接时的注意事项	32
选型方法：凯钻六步法	33
7.1 第 0 步：先问活儿，不问参数	33
7.2 第 1 步：用孔径定冲击器	34
7.3 第 2 步：算压力（推荐与底线两档）	34
7.4 第 3 步：算风量（两个来源取大）	35
7.5 第 4 步：按现场条件放大	35
7.6 第 5 步：落到凯钻型号	36
7.7 第 6 步：反向核算	37
7.8 必须转技术工程师的情况	37
凯钻机型速查与选型算例	38
8.1 机型速查表	38
8.2 快速参考矩阵	39
8.3 算例一：云南采石场炮孔	40
8.4 算例二：有电网的水井	41

8.5 钻速估算	42
8.6 获取选型支持	42
安全与操作	43
9.1 安全红线	43
9.2 现场摆放	43
9.3 柴油机开停机流程	43
9.4 电动机开停机流程	44
9.5 特殊环境操作要点	45
维护保养	46
10.1 保养的三条主线	46
10.2 凯钻保养包体系：500 h / 1500 h / 2500 h	46
10.3 油品选择	46
10.4 日常检查与周期保养	47
10.5 坚持使用凯钻原厂配件	48
10.6 关键部件更换要点	48
10.7 柴油与冷却液	48
10.8 长期停放与存储	49
10.9 保养记录	49
报警与故障排查	50
11.1 排查的基本方法	50
11.2 柴油机报警	50
11.3 电动机报警	50
11.4 专项排查：排气温度高	51
11.5 常见性能故障	51
11.6 何时必须联系厂家	52
附录	53
附录 A 公式汇总	53
附录 B 常用单位换算	54
附录 C 术语表	54
附录 E 参考资料	54

P R E F A C E

写在前面

感谢您选择凯钻。这本指南写给凯钻的经销商伙伴和设备用户：它把移动螺杆空压机从物理原理、主机结构、整机系统，一直到选型计算、操作和维护保养串成一条完整的知识链，帮助您为每一个工程现场选到“刚好合适”的气源设备，并让它在整个寿命周期里稳定交付风量和压力。

凯钻的定位是“复杂工况气源动力解决方案商”。我们从不从型号列表里就近推荐，而是根据孔径、孔深、岩性、出水、海拔、温度和供电条件，一步步算出您真正需要的风量和压力。书中的每一个系数都给出了来源和道理，您可以自己验算，也可以随时联系凯钻技术工程师复核。

本书怎么读

您的情况	建议阅读
想快速选一台机器	第 7 章（选型六步法）+ 第 8 章（机型速查、算例）+ 附录 A 公式汇总
想弄懂原理	第 2、3 章（物理与热力学）→ 第 4、5 章（主机与整机系统）→ 第 6 章（潜孔钻进配套）
设备管理与操作人员	第 9~11 章（安全操作、维护保养、报警与故障排查）

本书的约定

- **压力**：没有特别说明时，“bar”指表压， $1 \text{ MPa} = 10 \text{ bar}$ ，现场常说的“公斤”约等于 1 bar ；热力学计算用绝对压力，写作“bar(a)”。
- **排气量**：指自由空气排气量（FAD），单位 m^3/min 。
- **型号**：采用 2026 版凯钻产品手册命名，例如 CM360-27/23K = 柴动 360 HP， $27 \text{ m}^3/\text{min}$ @ 23 bar，康明斯动力。
- **冲击器**：参数按凯钻机组配套的主流高风压潜孔冲击器取值；高原修正采用国际通行的质量流量修正方法。
- 书中的估算值用于方案比较，最终配置以凯钻技术工程师确认和随机文件为准。

一句话记住整本书

选型就是把工程条件翻译成两个数——**风量 Q** 和 **压力 P**，按现场条件放大，再找到满足条件的最合适机型；维护就是让这台机器在整个寿命里一直交付这两个数。

版本信息

2026 年 10 月版。凯钻机型参数以最新产品手册为准；操作与保养以机型随机文件及柴油机厂家手册为准。如需选型支持，请联系凯钻销售热线 0570-8878277。

CHAPTER 01

认识移动空压机与凯钻

移动空压机是工地上的“气源发电站”：自带动力、自带底盘，拉到哪里，就在哪里把大气变成高压空气，驱动潜孔锤、凿岩机、喷砂枪和各种风动工具。

1.1 什么是移动空压机

空气压缩机（简称空压机）把大气中的空气吸进来、压缩到更高压力后输出。工厂里的固定式空压机装在机房里，通过管网给车间供气；移动空压机则把压缩主机、动力（柴油机或电动机）、冷却系统、控制系统和底盘集成在一个带隔音罩的整机里，可以拖行、吊装，在没有基础设施的野外独立工作。

移动空压机几乎都采用**喷油螺杆式**主机。原因很简单：螺杆机零件少、没有易损的气阀和活塞环，连续满负荷运转可靠；喷入的油同时负责冷却、密封和润滑，使单级压比可以做得很高；转速范围宽，能和柴油机直接匹配。早年的活塞式移动机已基本被螺杆机取代。

■ 主要应用领域

领域	典型用途	对空压机的要求
爆破采石、露天矿山	潜孔钻车打炮孔（孔径 90~250 mm，孔深多在 30 m 以内）	中高压（17~25 bar）、大风量、连续作业、可靠
水井、地热井	深孔潜孔钻进，常遇出水	高压（24~35 bar），压力决定能否打到底
桩基、基础工程	大孔径潜孔锤、跟管钻进	超大风量，常需多机并联
地勘、岩土、边坡	锚杆孔、勘探孔	机动灵活，中压中风量
隧道、地下工程	凿岩台车、喷浆、出渣、通风	低压（7~8 bar）大风量，电动、低噪
市政、管线、喷砂	破碎、风镐、喷砂除锈	低噪声、低排放，城区常用电动

1.2 凯钻是谁

浙江凯钻机械有限公司深耕压缩机与矿山装备领域三十载，集研发、生产、销售与应用服务于一体，产品覆盖移动式 and 固定式螺杆空压机全系列。公司全面导入 ISO 9001 质量管理体系，主机与传动系统由研发团队完成联合匹配与深度调校，坚持“以真实工况，定义产品性能”。



凯钻移动螺杆空压机在工程现场

■ 凯钻的四个关键词

- **专于真实工况：**所有性能指标都要在极端高寒、高温、高海拔、粉尘、连续重载等现场条件下检验达标，而不是只看实验室数据。
- **系统匹配：**主机、动力、过滤、冷却四大核心系统由自有工程师联合匹配，拒绝零部件的简单拼凑。
- **螺杆技术专注：**移动与固定全系列、柴动与电动双平台，统一的工程设计规范，降低客户多设备选型与备件管理成本。
- **以终为始的方案能力：**项目前期由技术工程师深入作业现场，核算用气量、压力衰减、环境海拔与连续作业周期，从接口形式到工况匹配做量身配置。

1.3 凯钻产品线全景

表 1-1 凯钻移动螺杆空压机产品线

系列	子系列	覆盖范围	定位
M 旗舰系列	CM 单级柴动	5~20 m ³ /min, 8~19 bar, 锡柴 56 HP ~ 康明斯 260 HP	中低压通用作业
	CM 双级柴动	15~43 m ³ /min, 13~35 bar, 玉柴 / 康明斯 / 锡柴 190~755 HP	钻井、矿山、水井主力，性能优先
	DM 单级电动	13~17 m ³ /min, 10~17 bar, 90~132 kW	有电网的中低压作业
	DM 双级电动	18~35 m ³ /min, 15~25 bar, 90~250 kW	有电网的钻进，运行成本最低
DMT 系列	隧道变频	36~66 m ³ /min, 7~8 bar, 永磁变频 160~315 kW	隧道与地下工程，多工况交替用气

LG 系列	LGCY 柴油	与 CM 同参数（单级 / 双级）	经济系列，预算敏感客户
	LGDY 电动	与 DM 同参数（单级 / 双级）	

M 系列的核心卖点：**联合研发螺杆主机**，控制器带手动切换档位，可在两组预设工况之间切换，兼顾大风量和高压力的两类作业；**动力匹配**以康明斯、玉柴两大平台为主，另有锡柴，覆盖 55~800 HP；**多重空气过滤**可选配预滤器与沙漠空滤包；**高效冷却**大裕量散热设计，降低高温停机概率；**低温冷启动系统**可选配，适应高寒、高海拔和冬季施工。

DMT 系列采用高效率四级永磁同步电机配合变频驱动，支持全域无级调速，消除传统定频机组频繁卸载的空耗，在打钻、喷锚、出渣交替的隧道中节能明显。LG 系列采用优化齿形大规格螺杆主机，以较低转速输出目标排气量，直联或大齿轮传动，降低机械损失和噪声，并强化了底盘与防腐，适合频繁转场和非铺装路面拖拽。

1.4 六项核心技术



凯钻智能空气压缩机六项核心技术

技术	对客户意味着什么
智能工业网关	运行数据可远程查看，提前发现异常，减少停机
高性能螺杆主机	容积效率高、比功率低，同样油耗多出气
集成电器控制系统	按实际用气曲线精准加卸载，并对超压、超温、相序异常即时保护

高效电机与传动	传动损失小，电动机组运行成本低
精准润滑与冷却系统	油温控制在合理区间，既不过热，也不让冷凝水进油
核心油气分离系统	排气含油量低，油耗低，下游钻具不被油污染

1.5 型号怎么读

凯钻型号本身就是一张微缩参数表。教会客户读型号，是建立专业信任最快的方式。

表 1-2 型号解码：以 CM430-34/26-36/18K 为例

片段	含义
CM	系列与动力：CM 柴动、DM 电动、DMT 隧道变频电动（以上为 M 旗舰）；LGCY 柴动、LGDY 电动（LG 经济系列）
430	动力大小：柴动为发动机马力（430 HP），电动为电机功率（kW）
34/26	工况一：排气量 34 m ³ /min，排气压力 26 bar
36/18	工况二：36 m ³ /min @ 18 bar。控制器上一键切换，一台机器覆盖两种作业
K	发动机品牌后缀：K 康明斯，X 锡柴，无后缀为玉柴
B（如 CM220B、DM138B）	同功率、同参数级别的经济型版本，配置更精简、价格更低
*（手册中的星号）	可提供欧盟 CE 合规文件，出口客户注意

CHAPTER 02

物理学基础：空气、压力与温度

空压机做的事只有一件：改变空气的状态。要理解选型里的每个系数，先要弄清楚描述空气状态的三个量——压力、温度、体积，以及它们之间的关系。

2.1 压力：表压与绝对压力

压力是单位面积上受到的力，国际单位是帕斯卡（Pa）， $1\text{ Pa} = 1\text{ N/m}^2$ 。工程上常用 bar 和 MPa：

$$1\text{ bar} = 100\text{ kPa} = 0.1\text{ MPa} \approx 1.02\text{ kgf/cm}^2 \approx 14.5\text{ psi} \quad (2-1)$$

我们头顶的大气本身就有压力。在海平面，标准大气压为 101.325 kPa，即 1.013 bar。压力表测的是“比大气压高出多少”，叫**表压**；从真空算起的压力叫**绝对压力**：

$$P_{\text{绝对}} = P_{\text{表压}} + P_{\text{大气}} \quad (2-2)$$

例：海平面上压力表显示 25 bar，绝对压力为 26.0 bar(a)；在海拔 3000 m（大气约 0.70 bar），同样读数对应 25.7 bar(a)。

为什么要分清两种压力

空压机型号、钻机参数、客户口头说的“公斤”都是表压；但凡涉及压比、做功、气体体积换算，必须用绝对压力。把表压直接代入公式，是最常见的计算错误。

■ 水柱与压力

液体内部的压力随深度线性增加：

$$p = \rho g h \quad (2-3)$$

水的密度 $\rho = 1000\text{ kg/m}^3$ ， $g = 9.81\text{ m/s}^2$ ，每米水柱 $9.81\text{ kPa} \approx 0.01\text{ MPa}$ ，即 10 m 水柱 $\approx 1\text{ bar}$ 。

这条规律在水井选型中至关重要：潜孔锤在水面以下 60 m 工作，就要额外顶住约 6 bar 的水柱背压。第 6、7 章会反复用到它。

2.2 温度与绝对温度

气体定律里的温度必须用热力学温度（开尔文，K）：

$$T(K) = t(^{\circ}\text{C}) + 273.15 \quad (2-4)$$

温度是分子平均动能的量度。压缩空气时，外界对气体做功，分子运动更剧烈，温度随之升高——这就是空压机必须有冷却系统的根本原因。

2.3 理想气体状态方程

在空压机的工作范围内，空气可以足够准确地看作理想气体，压力、体积、温度满足：

$$p V = m R T \quad (2-5)$$

p 绝对压力 Pa； V 体积 m^3 ； m 质量 kg； T 绝对温度 K； R 为空气的气体常数， $287 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

对同一份空气（质量不变），从状态 1 变到状态 2：

$$p_1 V_1 / T_1 = p_2 V_2 / T_2 \quad (2-6)$$

由此得到三个经典特例：温度不变时 $pV = \text{常数}$ （玻意耳定律）；压力不变时 $V/T = \text{常数}$ （盖-吕萨克定律）；体积不变时 $p/T = \text{常数}$ （查理定律）。

算一算：1 m^3 自由空气压到 25 bar 还剩多少体积？

状态 1：1.013 bar(a)、 20°C 、 1 m^3 ；状态 2：26.0 bar(a)，冷却后 40°C 。

$V_2 = 1 \times (1.013 / 26.0) \times (313 / 293) \approx 0.042 \text{ m}^3$ ，即约 42 升。一台 $27 \text{ m}^3/\text{min}$ 的机器，每分钟实际排出的高压空气只有约 1.1 m^3 。

2.4 密度与质量流量

由式 (2-5) 可得空气密度：

$$\rho = p / (R T) \quad (2-7)$$

海平面 20°C ： $\rho = 101325 / (287 \times 293) \approx 1.20 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

真正“干活”的是空气的质量：潜孔锤每次冲击消耗一定质量的空气，排渣靠的也是气流的质量和动量。同样 1 m^3 的空气，在高原上质量更小——这是海拔修正的物理本质。

2.5 海拔：为什么高原上机器“变小了”

大气压随海拔升高近似按指数下降。国际标准大气给出的关系为：

$$p_h = 101.325 \times (1 - 2.256 \times 10^{-5} h)^{5.256} \text{ kPa} \quad (2-8)$$

h 为海拔 (m)。2000 m 处约 79.5 kPa，为海平面的 78%；4000 m 处约 61.6 kPa，为 61%。

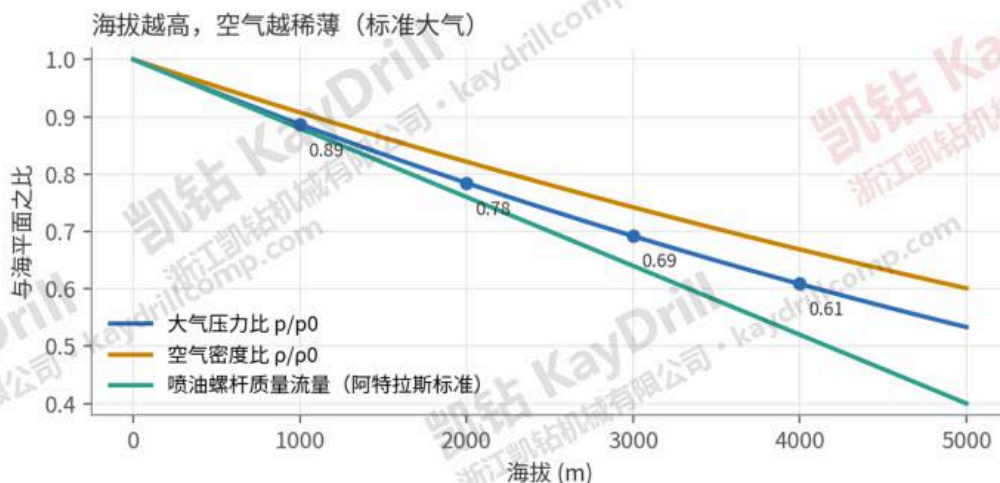


图 2-1 海拔与大气压力、空气密度及螺杆机质量流量的关系

螺杆主机是**容积式**机器：转子每转一圈，吸进固定体积的空气。到了高原，吸进的体积不变，但每立方厘米的空气质量少了。对钻进来说，冲击和排渣需要的是质量，所以要用更大的体积去补。空气密度比可以近似写成：

$$\eta_{\text{海拔}} \approx \rho_h / \rho_0 = (p_h / p_0) \times (T_0 / T_h) \quad (2-9)$$

大量实测表明：喷油螺杆压缩机每升高 1000 m，**自由空气排气量（FAD）几乎不变，但输出空气的质量流量下降约 12%**。也就是说，铭牌上的“方数”在高原上基本不变，真正少掉的是空气的分量。凯钻选型按质量流量修正，取 $\eta_{\text{海拔}} = 1 - 0.12 \times h/1000$ （见第 7 章）。

高原还会带来两个连锁问题：一是柴油机吸入的氧气减少，功率下降——涡轮增压柴油机每 1000 m 约降 8%，自然吸气机型约降 12%，气温每升高 10℃ 再降约 5.4%；二是同样的表压，绝对压比更高（海平面压比 8 的机器到 3000 m 变成约 11），主机耗功和排气温度都上升，散热又因空气稀薄而变差。所以 3000 m 以上除了加大风量，还要选高原专用配置。

2.6 湿空气与冷凝水

大气中总含有水蒸气。一定温度下空气能容纳的水蒸气有上限，达到上限称为“饱和”；实际含量与上限之比就是相对湿度。温度越高，能容纳的水越多。

表 2-1 饱和水蒸气压力与含水量（常用值）

温度 °C	20	30	40	60	80	100
饱和蒸汽压 kPa	2.34	4.25	7.38	19.9	47.4	101.3
饱和含水量 g/m ³	17.3	30.4	51.1	130	293	—

空气被压缩后体积大幅缩小，但里面的水一点没少；再一冷却，就超过了饱和量，多出来的水就会凝结。

算一算：一台 27 m³/min、25 bar 的机器一小时出多少水？

夏季 30 °C、相对湿度 80%：每立方米自由空气含水 $0.8 \times 30.4 \approx 24.3$ g。压到 26.0 bar(a) 并冷却到 40 °C 后，体积只剩约 0.040 m³，最多能容纳 $0.040 \times 51.1 \approx 2.1$ g，其余约 22.2 g 凝结成水。

$27 \text{ m}^3/\text{min} \times 22.2 \text{ g} \approx 600 \text{ g}/\text{min}$ ，即**每小时约 36 kg 水**。这些水如果进到润滑油里，就是灾难。

■ 压力露点：为什么高压机的油温要更高

喷油螺杆机里，油和压缩空气在油气桶中充分接触。只要桶内温度低于这股高压空气的露点，水就会在桶里凝结并混进油中。露点由桶内水蒸气的**分压**决定：

$$p_{V, \text{桶}} = p_{\text{桶(绝对)}} \times (p_{V, \text{大气}} / p_{\text{大气}}) \quad (2-10)$$

水蒸气在空气中的摩尔分数在压缩前后不变，所以分压与总压成正比。

上例中大气水蒸气分压为 $0.8 \times 4.25 = 3.40$ kPa，占 1.013 bar 的 3.35%。压到 26.0 bar(a) 后，水蒸气分压为 $2600 \times 3.35\% \approx 87$ kPa，查表对应的饱和温度约 **96 °C**。也就是说，这台高压机在湿热天气里，油气桶温度必须高于约 96 °C，否则就会持续“产水”。同样条件下一台 8 bar 的机器，露点只有约 69 °C。

油里有水的后果

润滑油含水会乳化变白，润滑膜变薄，加速轴承锈蚀和磨损。行业研究表明：油中含水仅 1%，轴承寿命就可能缩短约 40%。所以高压机温控阀的开启温度设得较高，长时间卸载或低负荷空转是高压机的大忌。

2.7 自由空气排气量 (FAD)

空压机铭牌上的排气量 (FAD, Free Air Delivery) 是把排出的压缩空气**折算回进气状态**的体积流量，按 ISO 1217 等标准测定。它不是出口处高压空气的实际体积，也不是转子的理论扫气容积：

$$Q_{\text{FAD}} = Q_{\text{理论}} \times \eta_v \quad (2-11)$$

η_v 为容积效率，扣除了内部泄漏、进气加热和进气压损。

比较不同品牌的机器时，一定要确认排气量是 FAD，并且是在同一压力下测得的。有些产品标注的是理论排量，看起来更大，实际出气更少。

CHAPTER 03

压缩热力学与公式推导

这一章回答三个问题：压缩空气要花多少功？为什么高压机要做成两级？为什么螺杆机要往压缩腔里喷油？公式看起来多，推导的主线只有一条——气体被压缩时怎样升温、升温又怎样让功变大。

3.1 压缩功从哪里来

设想气缸里有一份气体，活塞把它从体积 V_1 压到 V_2 。外界对气体做的功等于压力对体积变化的积分。对于连续吸气、压缩、排气的空压机，工程上用“技术功”来计算每压缩一份气体所需的功：

$$W = \int_{p_1}^{p_2} p^2 V dp \quad (3-1)$$

在 p - V 图上，它就是压缩曲线左侧、从 p_1 到 p_2 之间的面积。

压缩过程中气体的状态沿怎样一条曲线变化，决定了这块面积的大小。工程上用多变过程统一描述：

$$p V^n = \text{常数} \quad (3-2)$$

$n=1$ ：等温压缩（热量被及时带走，温度不变）； $n=\kappa=1.4$ ：绝热压缩（与外界没有热交换）； $1 < n < 1.4$ ：多变压缩（部分热量被带走）。

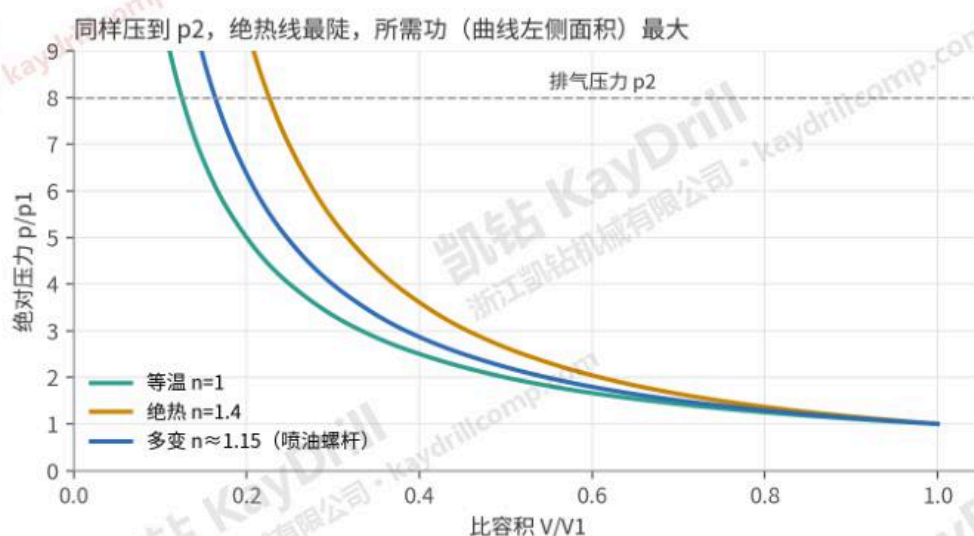


图 3-1 三种压缩过程的 p - V 曲线

3.2 三种压缩功的推导

■ 等温压缩（理论下限）

由 $pV = p_1V_1$ ，得 $V = p_1V_1/p$ ，代入式 (3-1)：

$$W_{\text{等温}} = p_1V_1 \int dp/p = p_1V_1 \ln(p_2/p_1) \quad (3-3)$$

等温压缩把产生的热全部及时带走，所需功最小，是任何真实压缩机都达不到的理论极限，常作为衡量效率的基准。

■ 多变与绝热压缩

由 $pV^n = p_1V_1^n$ ，得 $V = V_1(p_1/p)^{1/n}$ ，积分：

$$W_{\text{多变}} = n/(n-1) \cdot p_1V_1 [(p_2/p_1)^{(n-1)/n} - 1] \quad (3-4)$$

令 $n = \kappa = 1.4$ 即为绝热压缩功；此时 $\kappa/(\kappa-1) = 3.5$ ，指数 $(\kappa-1)/\kappa = 0.286$ 。

压缩终了的温度也由同一过程决定：

$$T_2 = T_1 (p_2/p_1)^{(n-1)/n} \quad (3-5)$$

■ 换算成工程单位：比功率

工程上用**比功率**衡量空压机能效：每输出 $1 \text{ m}^3/\text{min}$ 自由空气需要多少千瓦。把 $p_1 = 101.325 \text{ kPa}$ 、 $V_1 = 1 \text{ m}^3/\text{min} = 1/60 \text{ m}^3/\text{s}$ 代入，得到常数 $p_1V_1 = 1.689 \text{ kW}$ ：

$$N_{\text{等温}} = 1.689 \ln r \quad N_{\text{绝热}} = 5.91 (r^{0.286} - 1) \quad \text{kW}/(\text{m}^3/\text{min}) \quad (3-6)$$

$r = p_2/p_1$ 为绝对压比。

算一算：压到 25 bar 至少要多少功？

$r = 26.0 / 1.013 = 25.7$ 。等温： $1.689 \times \ln 25.7 = 5.48 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{min})$ ；单级绝热： $5.91 \times (25.7^{0.286} - 1) = 9.03 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{min})$ 。

单级绝热比等温多耗 65% 的功，多出来的全部变成了热。

3.3 排气温度：为什么必须喷油

用式 (3-5) 计算不喷油、单级绝热压到 25 bar 的排气温度： $T_2 = 303 \times 25.7^{0.286} \approx 766 \text{ K}$ ，约 **490 °C**。这个温度下任何润滑剂都会结焦，转子会热膨胀卡死，所以“干式”螺杆机单级压比通常只能做到 4 左右。

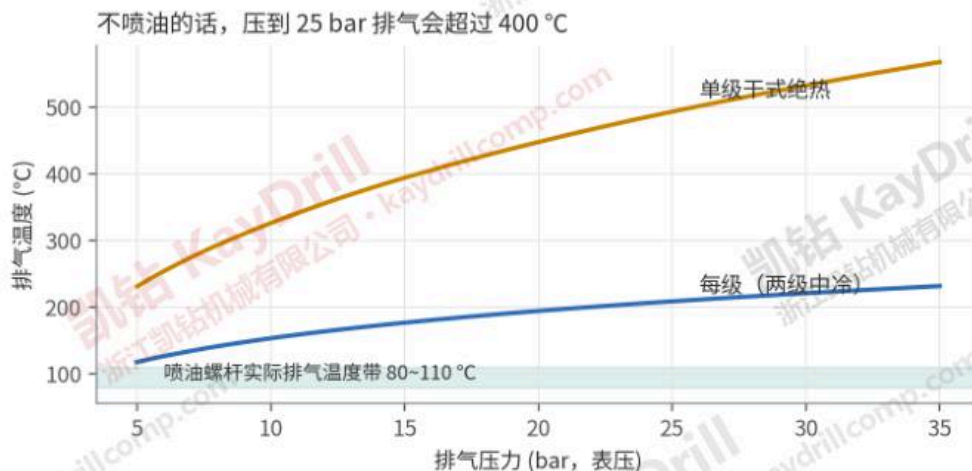


图 3-2 排气温度随压力的变化 (进气 30 °C)

喷油螺杆机的做法是：在压缩过程中直接向压缩腔喷入大量润滑油。油的比热容大 (约 2.0 kJ/(kg · K))，喷油量又是空气质量的数倍，压缩热几乎被油当场吸收，使过程接近 $n \approx 1.1 \sim 1.2$ 的多变压缩，排气温度被压在 80~110 °C。油随后在冷却器里把热量散掉，再循环回主机。

算一算：需要循环多少油？

主机轴功率约 220 kW，近乎全部转化为热。若油在主机内温升 25 K：油的质量流量 = $220 \div (2.0 \times 25) \approx 4.4 \text{ kg/s}$ ，约 **310 L/min**。这就是为什么喷油螺杆机有一套相当大的油路，油冷却器和油过滤器的状态直接决定主机寿命。

喷油还带来另外两个好处：油膜填充转子之间、转子与壳体之间的间隙，**减少内泄漏**；阴阳转子直接靠油膜传动啮合，**省去同步齿轮**，结构简单、成本低。

3.4 两级压缩与最佳中间压力

压比越高，绝热压缩偏离等温越远，多耗的功越多。如果在两级之间把空气冷却回进气温度 (中间冷却)，第二级就从“凉”气开始压，总功明显减少。问题是：中间压力取多少最省功？

设第一级从 p_1 压到 p_m ，冷却后第二级从 p_m 压到 p_2 ，两级进气温度相同。令 $m = (n-1)/n$ ， $C = n/(n-1) \cdot p_1 V_1$ ，总功：

$$W = C \left[(p_m/p_1)^m + (p_2/p_m)^m - 2 \right] \quad (3-7)$$

对 p_m 求导并令其为零：

$$m p_m^{m-1} / p_1^m - m p_2^m / p_m^{m+1} = 0 \Rightarrow p_m^{2m} = (p_1 p_2)^m \quad (3-8)$$

$$p_m = \sqrt{p_1 p_2}, \text{ 即每级压比相等: } r_1 = r_2 = \sqrt{r} \quad (3-9)$$

算一算：25 bar 两级压缩省多少？

每级压比 $\sqrt{25.7} = 5.07$ ，两级绝热功： $2 \times 5.91 \times (5.07^{0.286} - 1) = 6.97 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{min})$ ，比单级 9.03 节省约 23%；每级排气温度也从约 490 °C 降到约 210 °C（不喷油时）。

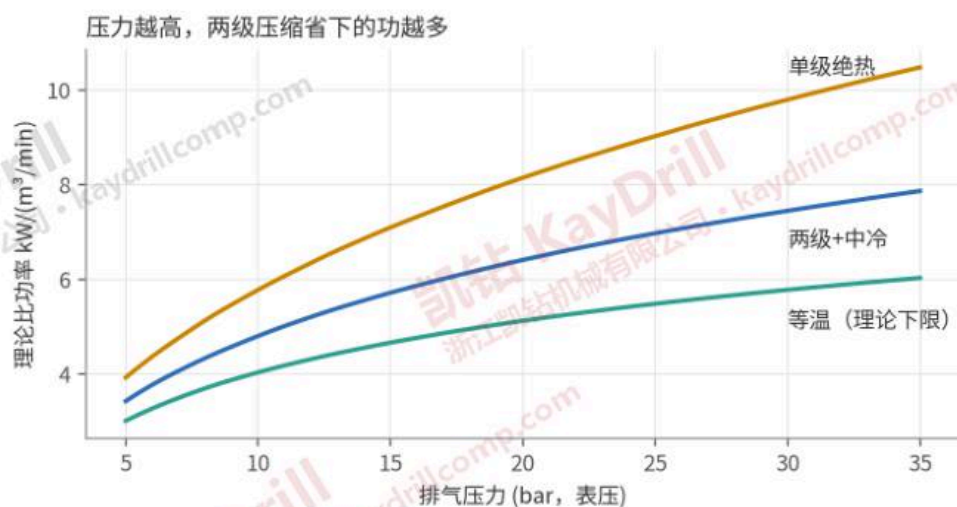


图 3-3 单级、两级与等温压缩的理论比功率

在喷油螺杆机里，两级主机的第一级排出的油气混合物在进入第二级前已被喷油冷却，级间不一定需要独立的中冷器，但“分摊压比、降低每级温升和泄漏”的原理相同。这就是凯钻 20 bar 以上机型全部采用双级压缩的原因：同样的压力，双级机更省油、排温更低、主机寿命更长。

3.5 从理论到真实

真实机器在理论功之外还有容积损失（泄漏、进气加热）、机械损失（轴承、传动）和辅助功耗（冷却风扇）。凯钻通过联合研发的高效螺杆主机、大转子低转速设计、双级压缩和精准的油温控制，把这些损失降到更低：同样的排气量和压力，消耗更少的燃油或电能，主机温度更低、寿命更长。

本章要点

- 压缩产生的热就是多耗的功，越接近等温越省功。
- 喷油让螺杆机能单级做到高压比，同时完成冷却、密封、润滑三件事。
- 两级压缩的最佳中间压力是 $\sqrt{p_1 p_2}$ ；25 bar 时两级比单级理论上省约 23% 的功。
- 比功率 $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{min})$ 是比较空压机能效的统一尺子，数值越低越省油省电。

CHAPTER 04

螺杆主机：转子是怎样把空气压缩的

主机（俗称“机头”）是空压机的心脏，整机价值和性能的很大一部分取决于它。读懂转子，就读懂了螺杆机的效率、寿命和适用压力范围。

4.1 基本结构

螺杆主机由一对相互啮合的螺旋转子和包住它们的机壳组成。带凸齿的叫**阳转子**（公转子），通常由动力直接驱动；带凹槽的叫**阴转子**（母转子），在喷油机中由阳转子通过油膜带动旋转。转子两端由轴承支承：径向轴承承受气体力和重力，推力轴承承受压缩产生的轴向力。机壳上一端开有吸气口，另一端开有排气口，机壳内壁精密加工，与转子齿顶保持很小的间隙。

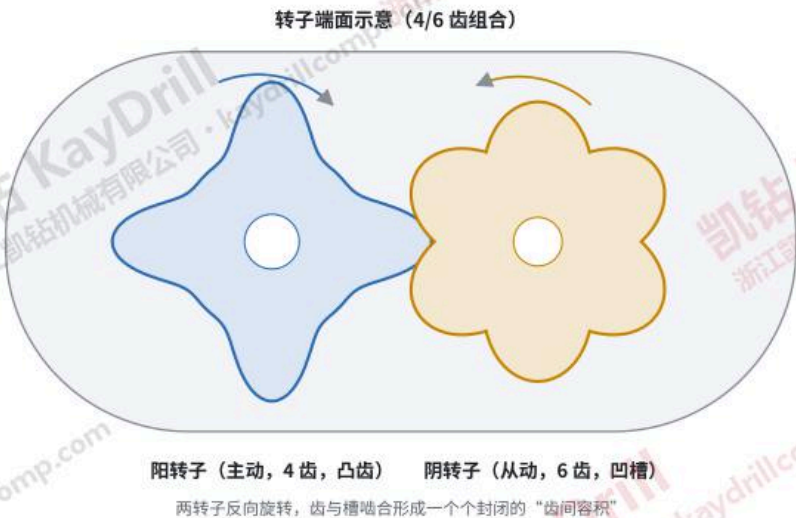


图 4-1 阴阳转子端面示意

表 4-1 主机主要零部件

零部件	作用	维护关注点
阳转子 / 阴转子	啮合形成封闭容积并完成压缩	不可拆修；靠油质和过滤保护
机壳（含吸、排气端盖）	形成工作腔，开设吸、排气口和喷油孔	排气端温度是健康指标
径向轴承（多为圆柱滚子）	承受径向力	寿命受油中含水和杂质影响最大
推力轴承（角接触球 / 圆锥滚子）	承受轴向力，决定排气端间隙	异响、振动是早期征兆
轴封	防止油从输入轴端泄漏	属易损件，渗油要及时更换

喷油孔 / 喷油嘴	向压缩腔喷油冷却、密封	油路堵塞会导致排温急升
-----------	-------------	-------------

4.2 工作循环：吸气—压缩—排气

转子旋转时，相邻两个齿与机壳围成的空间叫“齿间容积”。它沿轴向螺旋前进，依次经历三个阶段：

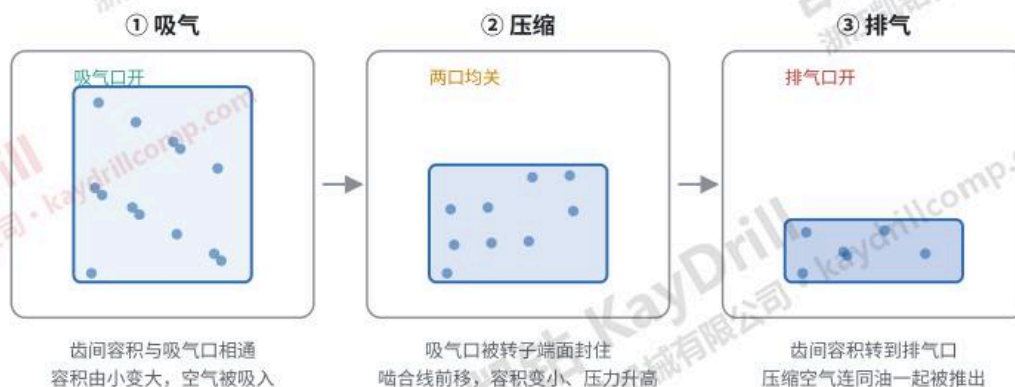


图 4-2 螺杆压缩的三个阶段（示意）

- 1. 吸气：**齿间容积与吸气口相通，随着啮合脱开，容积从零开始增大，空气被吸入，直到这个容积达到最大并与吸气口隔断。
- 2. 压缩：**齿间容积被封闭，阴阳转子的啮合线沿轴向向排气端推进，容积不断缩小，压力和温度升高；此时向腔内喷油。
- 3. 排气：**齿间容积转到与排气口相通的位置，被压缩的空气和油一起被推出，直到容积缩小为零。

转子每转一圈，每个齿间容积都完成一次循环，而且多个齿间容积同时处于不同阶段，所以螺杆机的排气是**连续、平稳**的，没有活塞机那样的脉动，也不需要吸、排气阀。

4.3 转子型线与齿数

■ 齿数组合

常见的阳 / 阴转子齿数组合有 4/5、4/6、5/6、5/7 等。阳转子齿数少，单个齿间容积大，同样尺寸下排量；齿数多则转子刚性好、每齿压差小、泄漏少，更适合高压比。移动高压机常用 4/6 或 5/6 组合，在排量与密封之间取得平衡。

■ 型线：对称与非对称

转子端面的齿形曲线叫“型线”，是螺杆机最核心的技术。早期采用由圆弧组成的**对称型线**，加工简单，但啮合线顶端会留下一个三角形的“泄漏三角形”（吹孔），高压气体可从这里倒流回低压腔。20 世纪 70 年代后普遍采用**非对称型线**：齿的两侧曲线不同，大幅缩小泄漏三角形，同时让接触线更短、更连续，容积效率和比功率都有明显提升。

型线影响什么

型线决定了三件事：每转能吸多少气（排量）、高压气往回漏多少（容积效率）、齿面之间的相对滑动和受力（寿命）。凯钻 M 系列主机为与专业主机厂联合开发，LG 系列采用优化齿形的大规格主机，都是在型线和转子尺寸上做的文章。

■ 大转子低转速

主机排量正比于转子尺寸与转速。用较大的转子以较低转速运行，齿顶线速度低，摩擦和搅油损失小，噪声低，轴承寿命长；代价是主机更重、成本更高。喷油螺杆机阳转子齿顶线速度一般在 20~50 m/s 之间，过低时泄漏时间长、效率下降，过高时搅油和流动损失上升。LG 系列“使设备在更低的主机转速下输出目标排气量”，就是利用了这一原理。

4.4 内容积比：螺杆机最容易被忽视的参数

螺杆机没有排气阀，什么时候开始排气，由排气口的位置决定。吸气终了时的最大齿间容积与开始排气时的容积之比，叫**内容积比** V_i ，它是机壳加工时就固定下来的几何参数。由多变压缩关系，可以得到对应的**内压比**：

$$p_i / p_s = V_i^n \quad (4-1)$$

p_i 为齿间容积打开排气口瞬间的内部压力， p_s 为吸气压力（绝对）， n 为多变指数（喷油机约 1.1~1.2）。

当内压与排气管路压力相等时，排气最顺畅；不相等就会产生额外损失：

黄色面积 = 内容积比不匹配造成的额外功

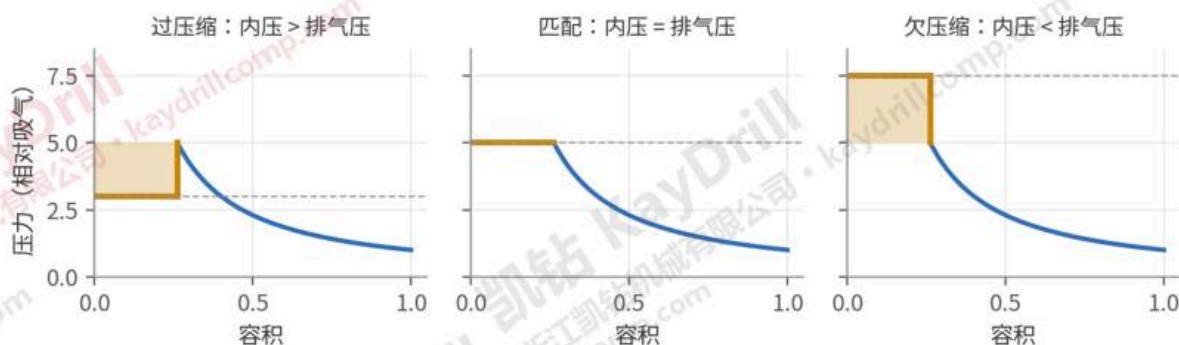


图 4-3 过压缩与欠压缩的额外功

- **过压缩**（内压 > 排气压力）：气体被压得过头，排气口一开就“泄”出去，多压的那部分功白费了。常见于高压机在低压下长期使用。
- **欠压缩**（内压 < 排气压力）：排气口一开，高压气体倒灌回齿间容积，主机要额外把它推出去。常见于低压机被调到高压使用。

算一算： V_i 与压力的对应

单级压到 13 bar(a) (12 bar 表压左右)，按 $n = 1.15$ ，所需 $V_i = 13^{1/1.15} \approx 9.3$ ；压到 26 bar(a)，单级需要 $V_i \approx 17$ ，转子极长且泄漏严重，几乎不可行。分成两级后，每级只需压比约 5.1， $V_i \approx 4.1$ ，非常合理。实际单级主机的 V_i 受转子长度和刚性限制，一般只做到 5~6，用在高压时存在一定欠压缩，这正是单级高压机比功率偏高的原因之一，也是“20 bar 以上必须双级”的另一个物理原因。

4.5 泄漏与容积效率

螺杆机靠间隙密封，泄漏不可避免。主要泄漏通道有：齿顶与机壳之间的间隙、阴阳转子之间的接触线、泄漏三角形、排气端面与端盖之间的间隙。泄漏量取决于间隙大小、压差和泄漏持续时间：

- **压差越大，漏得越多**：这就是高压比时容积效率下降、双级更有优势的原因；
- **转速越低，漏得越多**：每个齿间容积在高压下停留时间变长；
- **油膜越好，漏得越少**：油量不足、油温过高（黏度过低）都会使容积效率下降，表现为“压力上不去、风量不足”。

4.6 单级主机与双级主机

表 4-2 单级与双级主机对比

项目	单级主机	双级主机
结构	一对转子	两对转子串联，低压级出口直接进入高压级，通常共用一个齿轮箱或一体化壳体
压力范围（凯钻）	8~19 bar	13~35 bar；20 bar 以上只有双级
能耗	中低压下经济	同压力下比功率更低，高压时省油 10%~20% 以上
排气温度与寿命	压比高时排温和轴承负荷偏高	每级压比小，排温低，轴承受力小
价格与重量	低	高
适用	凿岩机、风镐、浅孔钻、喷砂	潜孔钻车、水井钻、地热钻、深孔

在 14~19 bar 这个重叠区间，单级、双级都可选：短期项目、年工作时间少，单级购机便宜；长期连续钻进，双级省下的油钱几年内就能补回差价。长期连续作业时，双级机的节能优势更加明显。

4.7 主机的驱动方式

- **直联**：主机与柴油机 / 电动机通过弹性联轴器直接连接，转速相同，结构简单、传动损失最小。
- **齿轮增速**：主机与动力之间加一对增速齿轮，使主机运行在最佳转速，便于同一主机匹配不同排量。LG 系列可采用直联或大齿轮传动。

- **变频：**电动机由变频器驱动，转速随用气量连续调节，DMT 系列采用永磁同步电机 + 变频，部分负荷时节能显著。

本章要点

- 螺杆机靠齿间容积的缩小完成压缩，排气连续，没有气阀。
- 非对称型线减少泄漏，大转子低转速提高寿命和效率。
- 内容积比固定了主机的“设计压力”，偏离太多会产生过压缩或欠压缩损失。
- 压差大、转速低、油膜差都会增加泄漏；高压用双级更合理。

CHAPTER 05

整机系统详解

一台移动螺杆空压机可以拆成六个系统：进排气、冷却润滑、控制、动力、燃油与电气、底盘与机罩。了解每个系统干什么、每个部件坏了会出现什么现象，是正确选型、使用和维护的基础。

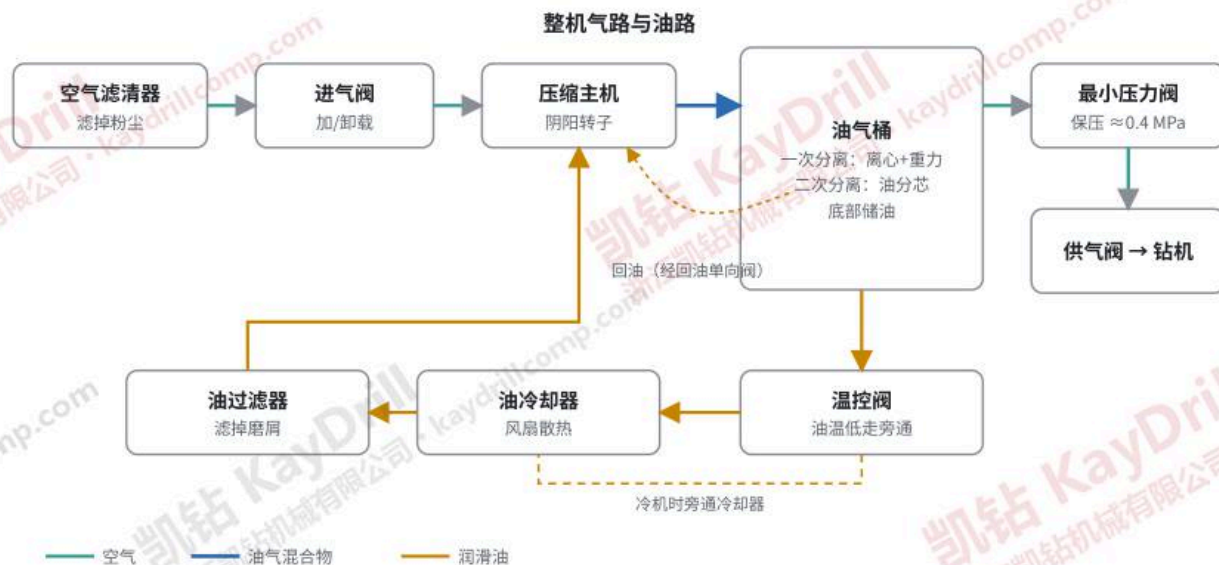


图 5-1 整机电路与油路

图 5-1 是喷油螺杆机的核心流程：空气经空滤进入主机，与喷入的润滑油一起被压缩，油气混合物进入油气桶分离；干净的压缩空气经最小压力阀送往用户；分离下来的油经温控阀、冷却器、油过滤器回到主机，循环往复。

5.1 进排气系统

■ 空气滤清器

主机吸进的每一粒粉尘，都会混进油里磨损转子和轴承。工程现场粉尘极大，空滤是保护主机的第一道防线。凯钻机型的柴油机与压缩机各配独立空滤，主流采用两级结构：外置旋风预分离先甩掉大颗粒，主滤芯过滤细尘，部分机型带安全滤芯。针对沙漠、戈壁、露天矿等极端粉尘，可选配强化型预滤与沙漠空滤包。

- 空滤带**阻塞指示器**，指示变红或控制面板“过滤器报警”亮起时必须清洁或更换；
- 积尘杯 / 排尘阀每天检查，保持排尘口畅通；
- 空滤到主机之间的软管、卡箍不能漏气，否则未经过滤的空气会被直接吸入。

■ 进气阀

进气阀装在主机吸气口上，是调节排气量的“油门”。它由一个阀板（或蝶阀）和伺服气缸组成：控制气压升高时，阀板关小，进气量减少；控制气消失时，阀板全开，主机满负荷。启动时进气阀保持关闭，使主机在低负荷下轻松启动；停机时进气阀迅速关闭，配合单向结构防止油气从吸气口倒喷。

■ 压缩主机

见第 4 章。主机排气口的温度传感器是整机最重要的保护信号之一，排气温度过高会触发报警停机。

■ 油气桶与油气分离器

主机排出的是高温油气混合物，油气桶要把油从空气中分离出来。分离分两步：

1. **一次分离**：油气混合物以切向高速进入桶内，靠离心力和重力把绝大部分油甩到桶壁流到桶底，底部同时是油箱；
2. **二次分离**：剩余的细小油雾穿过**油分芯**（多层玻璃纤维精密滤材）被聚结成油滴，聚集在油分芯底部，再经**回油管**和**回油单向阀**被压差引回主机低压区。

分离效果好的机组，排气含油量可降到几个 ppm。油分芯堵塞时进出口压差增大，表现为油耗上升、排气带油、主机电流或柴油机负荷升高；油分芯破损时排气大量带油，必须立即更换。油气桶上还设有加油口、油位视镜、安全阀和放油阀。

■ 最小压力阀

最小压力阀装在油气桶出口，是一个带弹簧的单向阀，桶内压力达到设定值（一般约 0.4~0.5 MPa，以随机文件为准）才打开向外供气。它有三个作用：

- **建立油压**：喷油螺杆机靠桶内压力把油压回主机，没有泵，起机时必须先“憋”出压力；
- **保护油分芯**：限制通过油分芯的气流速度，防止低压大流量时油被大量带走；
- **止回**：停机后防止管路中的压缩空气倒流回油气桶。

■ 安全阀

油气桶安全阀是最后一道防线，设定压力略高于额定排气压力。控制失灵导致超压时自动泄放。严禁擅自调高或堵死安全阀，应按规定定期校验。

5.2 冷却润滑系统

■ 螺杆机油

螺杆机油同时承担冷却、密封、润滑、防锈四项任务，必须使用螺杆压缩机专用油，不能用柴油机油或液压油代替。油品按基础油大致分三类：矿物油（换油周期短）、半合成、全合成（耐高温、寿命长，高压机推荐）。不同品牌、不同类型的油**严禁混用**，换型时须彻底清洗油路。具体型号和换油周期见第 10 章。

■ 温控阀

温控阀装在油气桶出油口和冷却器之间，内部是一个随温度伸缩的感温元件。冷机时阀门让油走旁路、不经过冷却器，使油温快速升高；油温达到设定值后逐渐打开去冷却器的通道，把油温稳定在合适区间。第2章算过：高压机在湿热天气里油气桶温度要高于约 96℃ 才能避免冷凝水，所以温控阀的设定温度不能随意改低，也不能把温控阀拆掉“加强散热”。

■ 油冷却器与风扇

移动机多采用铝制板翅式冷却器，与柴油机水箱、中冷器组合在一起，由同一个风扇吹风散热。凯钻机型采用大裕量冷却设计，优化管路走向，加大散热面积，降低高温、高原工况下的保护停机概率。冷却器外表面被油泥、粉尘糊住是排温高最常见的原因，必须定期用压缩空气反吹清洁。

■ 油过滤器

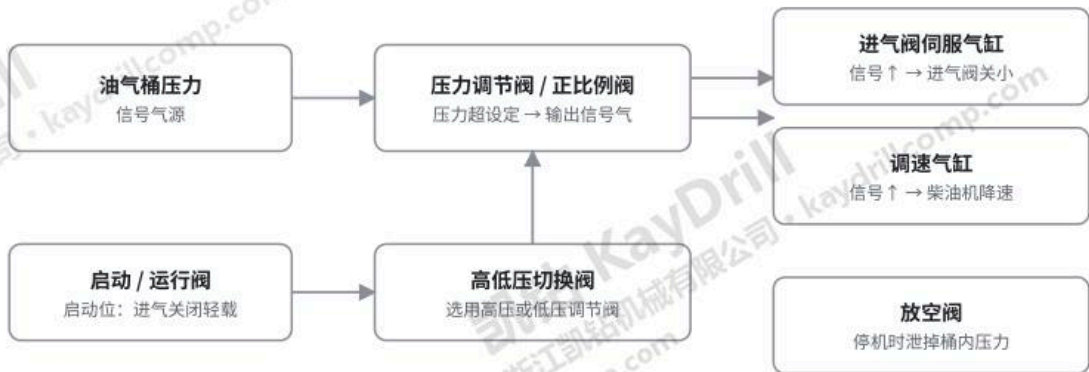
油过滤器滤除油中的磨屑、粉尘和油泥，保护转子和轴承。滤器带旁通阀：滤芯堵塞、压差过大时旁通打开，保证主机不断油，但此时油已未经过滤。所以油滤必须按时更换，不能等报警。

■ 回油单向阀

装在油分芯回油管上，只允许油从油气桶流向主机。停机后防止主机内的油倒流进油分芯，避免下次开机时排气大量带油。回油管上的节流孔堵塞，会使油分芯底部积油，同样造成排气带油。

5.3 控制系统（柴油机）

柴动移动机的排气量调节靠同时改变进气量和柴油机转速完成，核心是一套气动控制回路：



用气减少 → 桶压升高 → 进气阀关小 + 柴油机降速 → 排气量与用气重新平衡

图 5-2 柴油机气动控制原理

表 5-1 控制元件及作用

元件	作用
启动 / 运行阀（加卸载阀）	面板上的手柄。“启动”位使进气阀保持关闭，柴油机带着轻载起动、暖机；切到“运行”位，进气阀受压力调节阀控制，机器开始加载

压力调节阀 / 正比例阀	感受油气桶压力。压力接近设定值时开始输出控制气，压力越高输出越大，实现“比例调节”
进气阀伺服气缸	控制气越大，进气阀开度越小，排气量越少
调速气缸	与油门杆相连，控制气增大时把柴油机从额定转速拉向怠速，进一步减少排气量并省油
高低压切换阀	在两只设定压力不同的调节阀之间切换，对应型号中的两组工况（如 34/26 与 36/18），一台机器既能打深孔，也能高效干浅孔
放空阀	停机或卸载时打开，把油气桶内压力泄放到安全值，便于下次轻载启动
可调呼吸帽 / 稳压阀	调整控制气路的响应速度，防止进气阀和转速来回振荡

工作过程：钻机用气减少 → 油气桶压力升高 → 调节阀输出控制气 → 进气阀关小、柴油机降速 → 排气量减少，直到与用气量平衡；用气增加时过程相反。整个调节是连续、比例式的，不像电动机那样只有“加载 / 卸载”两档。

■ 控制面板

柴油机控制面板一般包括：转速、排气温度、柴油机油压、水温数显；预热、过滤器报警、气压报警、油压报警、气 / 水温报警、充电指示灯；低温辅助启动按钮；钥匙开关（停机 / 通电 / 启动）；排气压力表、燃油表；高低压切换手柄和启动 / 运行手柄。新一代凯钻机型配备智能控制器与工业网关，支持故障代码显示、保养计时和远程监控，现场人员无需复杂经验即可快速排查问题。

5.4 控制系统（电动机）

电动机组由电控柜和微电脑控制器管理。定频机型采用**加载 / 卸载**控制：压力达到卸载压力时进气阀关闭、放空阀泄压，电机空转；压力降到加载压力时重新加载；长时间空载则自动停机待命。控制器同时监测相序、电压、电流、排气温度、排气压力等，异常时报警或停机（详见第 11 章）。

DMT 变频机型用变频器连续调节电机转速，排气压力恒定在设定值，避免了卸载空转的电耗。对于打钻、喷锚、出渣交替的隧道工况，用气波动大，变频节能效果最明显。

电动机组的两项入门检查

- **相序**：通电后控制器报“相序错误”，断电后调换三相进线中的任意两相即可。
- **转向**：电气系统维修后开机前，必须确认主机和风机转向正确，主机反转会损坏转子和轴承。

5.5 动力系统

■ 柴油机

凯钻柴油机组以康明斯、玉柴两大平台为主，另有锡柴，覆盖 55~800 HP，可按不同地区排放法规选择排放阶段，并与主机完成动力输出与压缩载荷曲线的联合匹配。选型时注意：

- 高原地区优先选择**涡轮增压、增压中冷**机型，自然吸气柴油机在高原功率下降明显；

- 城区、隧道口等对排放敏感的场所，关注排放阶段与尾气后处理要求；
- 柴油机的保养周期和三滤规格**以柴油机厂家手册为准**，可在其全国服务网点处理。

■ 电动机

电动机组采用国内一线品牌工业电机，DMT 采用高效率四极永磁同步电机。电动机组对供电要求高：电压波动、缺相、电缆截面不足都会引起过流、过载报警。现场电源容量和电缆规格必须在方案阶段确认。

5.6 燃油系统

燃油系统包括油箱、粗滤（油水分离器）、输油泵、精滤、喷油泵与喷油器。最常见的故障都与燃油质量有关：

- **油里有水**：油水分离器积水不及时排放，导致起动困难、功率下降、喷油器损坏；
- **油品标号不对**：冬季用 0 号柴油会析蜡堵塞油路，表现为“着车后熄火、提不起速”；
- **进空气**：油管接头松动、油箱见底，起动前需按柴油机手册排空气。

柴油标号随环境温度选择，见第 10 章表 10-4。

5.7 底盘与机罩

移动机的底盘分两轮、四轮和固定式（滑橇）几种，部分大型机型有“四轮 / 固定”两种形式。凯钻 LG 系列采用高强度钢制底盘与户外级防腐涂装，配重载拖车拉杆和高耐磨轮胎，适应频繁转场与非铺装路面；侧开门、上翻式开启结构使空滤、油滤、油分等易损件集中在开门可及范围内，缩短保养时间。机罩采用多层隔音结构与减振悬置，降低整机噪声，适合厂区、市政与隧道作业的噪声管控要求。

拖行与吊装

拖行前确认牵引杆锁止、轮胎气压、灯光和驻车制动；不得在机组运行时拖行。吊装只能使用机罩顶部指定吊点，严禁超载或斜拉。

CHAPTER 06

潜孔钻进与空压机的配套关系

移动高压空压机最大的用户是潜孔钻车和水井钻机。空压机不是独立工作的，它和冲击器、钻杆、钻孔、地层组成一个系统。这一章只讲配套关系，不展开钻车结构。

6.1 潜孔冲击器怎样工作

潜孔冲击器（潜孔锤、DTH 锤）装在钻杆最下端，紧贴孔底工作。压缩空气经钻杆中心送到冲击器，推动内部活塞高频往复，每次回程后猛击钻头尾部，把冲击能量直接传给岩石；钻机回转机构同时带动钻杆和钻头缓慢旋转，使每次冲击落在新的位置。做完功的废气从钻头排气孔喷出，吹起孔底岩渣，沿孔壁与钻杆之间的环形空间（环空）向上返出孔口。

因此，压缩空气在潜孔钻进中同时干三件事：**驱动活塞冲击、冷却钻头、把岩渣带出孔外**。压力决定每次冲击有多大劲，风量决定冲击频率和排渣能力。

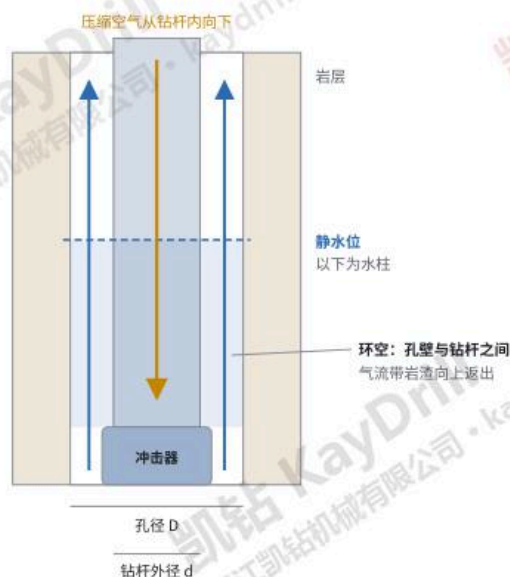


图 6-1 潜孔钻进的气流路线与环空

6.2 冲击器的压力与耗气

表 6-1 冲击器类型与工作压力

类型	额定工作压力	特点
中低压冲击器	0.7~1.7 MPa	老式或小孔径设备，钻速较低
常规高压冲击器	1.7~1.8 MPa（可用范围下限 1.0 MPa）	当前主流，选型默认值

超高压冲击器	2.0~2.4 MPa	硬岩提速明显，对空压机压力要求高
深孔 / 地热专用	2.5~3.5 MPa	深井、地热，需专项方案

同一只冲击器，供气压力越高，冲击能越大、频率越高，钻速越快，但耗气量也随之增加。经验上，冲击器耗气量大致与供气绝对压力成正比：

$$Q_2 \approx Q_1 \times (p_2 + 1) / (p_1 + 1) \quad (6-1)$$

p 为表压 (bar)。例：5 寸锤在 18 bar 时耗气 17 m³/min，提到 24 bar 时约 17 × 25/19 ≈ 22 m³/min。经验关系，准确值以冲击器厂家性能曲线为准。

不能超过冲击器额定压力

空压机压力高于冲击器额定上限时，冲击器内部零件和钻杆螺纹承受过载，寿命急剧缩短。推荐压力更高的机型时，要确认客户的冲击器、钻杆、高压软管和钻机气路都在同一压力等级。

6.3 孔径、冲击器与钻杆的匹配

表 6-2 孔径、冲击器与钻杆配套表

冲击器规格	适用孔径 (mm)	选型耗气 @1.8 MPa (m ³ /min)	常用钻杆外径 (mm)	默认钻杆 (mm)
3.5 寸高压冲击器	90~110	10	φ60~φ76	76
4 寸高压冲击器	110~127	13	φ60~φ76	76
5 寸高压冲击器	127~165	17	φ76~φ89	89
6 寸高压冲击器	152~203	22	φ76~φ89	89
8 寸高压冲击器	203~254	35	φ76~φ102	102
10 寸及以上高压冲击器	254~305	45	φ89~φ102	102

表中为凯钻机组配套的主流高压潜孔冲击器（无阀配气，密封好，遇水不易返渣，适合跟管与水井钻进）的选型值。高压冲击器工作压力下限一般为 1.0 MPa，这就是第 7 章“底线压力”中冲击器最低工作压力取 10 bar 的依据。耗气为 1.8 MPa 下的选型值，具体以所用冲击器样本为准。默认钻杆取常用范围上限；客户实际用细一档时按实际值计算，排渣风量会相应增加。12 寸以上大孔径需多机并联，由技术工程师出方案。

6.4 排渣：环空与上返风速

岩渣能不能被吹出来，取决于环空中气流的速度。环空面积：

$$A = \pi/4 \times [(D/1000)^2 - (d/1000)^2] \quad \text{m}^2 \quad (6-2)$$

D 为孔径 mm，d 为钻杆外径 mm。

行业公认：无泡沫、无添加剂时，上返风速不应低于约 914 m/min (3000 ft/min)，否则岩渣上不来，在孔底被反复破碎，钻速下降甚至卡钻。上限一般不超过约 2133 m/min (7000 ft/min)，过高会加剧钻杆和孔壁冲蚀。

■ 关键：风速要在孔底算

空压机标的排气量是大气状态下的体积。气体到了孔底，被环空中岩渣和气流阻力（环空回压）压缩，体积变小，速度也变慢。同一股气，孔口风速可能是孔底的 3 倍。岩渣是从孔底被吹起来的，所以必须保证孔底风速达标：

$$v_{\text{孔底}} = (Q / A) \times 1.013 / (1.013 + \Delta p_{\text{环空}}) \quad (6-3)$$

Q 为现场实际排气量 m³/min， $\Delta p_{\text{环空}}$ 为孔底环空回压 bar。由理想气体等温关系 $p_1 V_1 = p_2 V_2$ 推出。

算一算：孔口与孔底风速差多少？

6 寸孔 (152 mm) 配 89 mm 钻杆， $A = 0.0119 \text{ m}^2$ 。空压机 36 m³/min，孔口风速 $36 \div 0.0119 \approx 3020 \text{ m/min}$ ；孔深 150 m 时环空回压约 2 bar，孔底风速 $3020 \times 1.013 \div 3.013 \approx 1016 \text{ m/min}$ ，刚好达标。孔口风速是孔底的 3 倍，只看孔口会严重高估排渣能力。

■ 钻杆粗细：理论与实际

理论上，钻杆越粗，环空越小，同样风量下上返风速越高，排渣越省气。但现场实际配套的钻杆一般不超过 $\phi 102$ ，原因有三：

- **重量：**钻杆每米重量大致随直径的平方增加， $\phi 102$ 以上单根过重，钻机的提升力、动力头和换杆机构都要跟着加大；
- **运输与搬运：**同一辆车装得少；偏远工地常需人工搬运和接卸钻杆，太重既费力又不安全；
- **排渣间隙：**钻杆太粗，孔壁与钻杆之间的单边间隙太小，大块岩屑、含水粘渣容易卡在中间，排渣不畅，严重时卡钻。

所以钻杆外径按表 6-2 的常用范围取，不要为了省风去推超出范围的粗钻杆。排渣风量不够时，优先加大空压机风量；风量超出单机范围时，由技术工程师评估泡沫钻进或多机并联。

■ 阶梯孔：按最大孔径算风量，按最小孔径核间隙

水井常打成“上大下小”的阶梯孔：例如上部 0~80 m 打 $\phi 300$ ，下护壁管封住松散地层；进入基岩后换小一号冲击器，打 $\phi 254$ 或 $\phi 203$ 一直到底。同一套钻杆要从上用到下，因此：

1. **风量按最大孔径段算：**大孔段环空面积最大、上返风速最低，岩渣最容易沉下来， $Q_{\text{排渣}}$ 用这一段的孔径、钻杆和孔深计算；
2. **间隙按最小孔径段核：**钻杆外径要落在孔底段所用冲击器的常用钻杆范围内，保证孔底有足够的排渣间隙；
3. **压力按最深处置算：**推荐压力仍按最大孔深和见水深度计算。

阶梯孔示例：同一孔型配不同粗细钻杆

孔段	孔径	配 φ102 钻杆	配 φ140 钻杆
上部大孔段（0～80 m）	φ300	环空 0.0625 m ²	环空 0.0553 m ² （省风约 12%）
下部孔底段	φ203	单边间隙约 50 mm，排渣顺畅	单边间隙约 31 mm，大块岩屑易卡

粗钻杆在上部大孔段只省约 12% 的风，却让孔底段的排渣间隙减少近四成——这就是理论数据与实际用途的差别，也是现场钻杆一般不超过 φ102 的原因。

6.5 水柱：深水井的压力杀手

钻到地下水位以下后，孔内积水形成水柱，压在冲击器出口。冲击器要排气，就必须先顶开这段水柱。按式 (2-3)，每 10 m 水柱约 1 bar：

$$p_{\text{孔底锤压}} = p_{\text{机}} - \Delta p_{\text{管路}} - \Delta p_{\text{环空}} - (H_{\text{孔深}} - H_{\text{静水位}}) / 10 \quad (6-4)$$

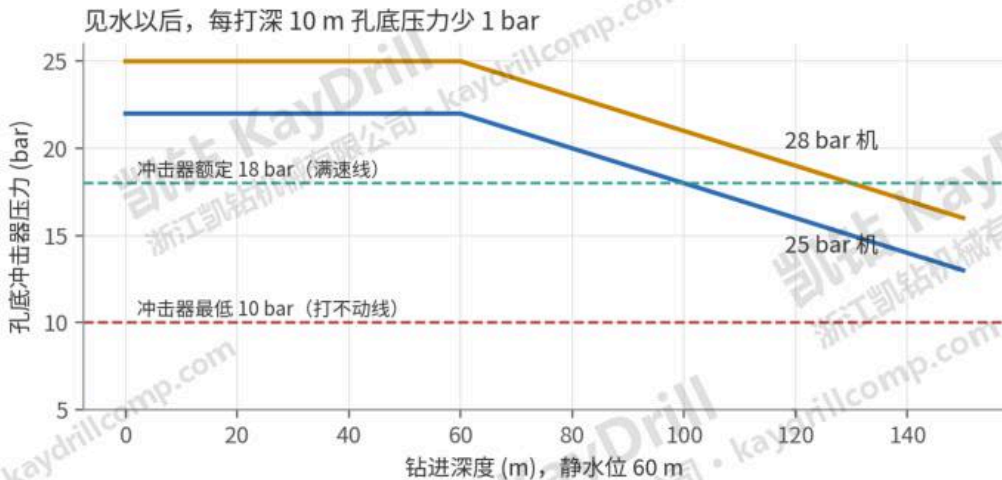


图 6-2 见水后孔底冲击器压力随深度下降（环空回压 2 bar，管路 1 bar）

图 6-2 中，同样钻 150 m、60 m 见水的井：25 bar 的机器在约 100 m 以内孔底锤压能保持在 18 bar 以上（满速），再往下逐渐降速；28 bar 的机器满速段延长到约 130 m。两台都打得完，差别在深段的钻速。

表 6-3 孔底锤压与钻速的关系（典型钻进趋势，6 寸孔、150 m、同一台 25 bar / 30 m³/min 机器）

水柱高度	孔底锤压	平均钻速	相对满速
0（干孔）	21 bar	18 m/h	100%
60 m	16 bar	16 m/h	约 89%
120 m	12 bar	11 m/h	约 61%
120 m（换 20 bar / 20 m ³ /min 机）	10 bar	7 m/h	约 39%

水柱高度的正确算法

水柱 = 最大孔深 - 静水位深度，即钻头泡在水面以下的长度。客户说“30 米见水、要打 150 米”，水柱是 120 m、背压 12 bar，不是 3 bar。水井项目压力不够，十有八九是这一项漏算。

6.6 与钻机连接时的注意事项

- **接口与软管：**凯钻机型排气接口多为 1-2" 与 1-1" 组合（以手册为准）。高压软管口径偏小会造成明显压降，长距离供气时应适当加大口径并缩短长度；两段软管连接处必须锁紧并加防甩保护。
- **钻机自带气路：**钻车的注油器、气路阀件也有压力等级，推荐超出客户原有等级的高压机前要确认。
- **多机并联：**大孔径、超深孔单机风量不够时可两台并联，须用止回阀隔开、压力设定一致，由技术工程师出方案。
- **泡沫钻进：**使用泡沫或添加剂时，所需上返风速可大幅降低，但空压机须配注泡沫泵接口，属专项方案。

CHAPTER 07

选型方法：凯钻六步法

前六章讲的都是“为什么”，这一章讲“怎么做”。凯钻选型分六步：先问清工况，再定冲击器，分别算压力和风量，按现场放大，落到型号，最后反向核算这台机器在现场打得怎么样。

先把工程条件翻译成 Q 和 P 两个数，再去产品表筛型号



图 7-1 凯钻正向选型流程

7.1 第 0 步：先问活儿，不问参数

客户不会说“我要 27 方、23 公斤”，客户会说“云南采石场打炮孔，孔径 140，打 25 米，花岗岩，没电”。第一件事是把下面八个问题问清楚：

表 7-1 必问清单

#	问什么	问法	说不清怎么办
1	行业 / 用途	您主要做哪类工程？采石、矿山、水井还是桩基？	必须问清，它带出其余默认值
2	孔径	孔打多大？钻头多少毫米？	问用几寸冲击器反推
3	孔深	一般打多深？最深打到多少？	按最深的算
4	岩性	主要打什么石头？	按行业默认；不确定按最硬的
5	出水	打的时候出水吗？打到几米见水？	水井默认出水，必问静水位
6	海拔	工地在哪个县？海拔多少？	问到县就能查到
7	温度	夏天最热多少度？冬天最冷呢？	按地区常识

8	电网	现场有稳定的电吗？要经常转场吗？	没把握按柴动
---	----	------------------	--------

技术问题问完再问偏好：冲击器型号、钻杆规格、发动机品牌、性能还是性价比、预算。偏好不影响计算，只影响最后挑哪一台。

表 7-2 行业预填默认值

行业	典型孔径 mm	典型孔深	常见岩性	要点
爆破采石	90~165	≤ 30 m	花岗岩 / 石灰岩	台班进尺、油耗；够用的压力档 + 经济性
露天矿山	140~250	≤ 30 m	花岗岩 / 铁矿 / 玄武岩	停机成本高，康明斯 + 余量充足
水井	150~305	100~300 m	砂岩 / 花岗岩 / 石灰岩	必问静水位，压力是成败关键
地热	150~250	300~2000 m	花岗岩 / 变质岩	转技术工程师
桩基 / 基础	300~450	≤ 60 m	覆盖层 + 基岩	多为并联，必问跟管
地勘 / 岩土	90~150	50~200 m	复杂多变	岩性不确定按最硬留余量
市政 / 边坡	76~140	≤ 20 m	风化岩 / 软岩	城区有电优先电动

7.2 第 1 步：用孔径定冲击器

按表 6-2 由孔径找到冲击器规格、额定耗气量 $Q_{\text{锤}}$ （取区间上限）和默认钻杆（钻杆一般不超过 $\phi 102$ ）。客户知道自己的冲击器和钻杆就直接用客户的；阶梯孔按 6.4 节：风量按最大孔径段算，间隙按最小孔径段核；两档重叠（如 152~165 mm）时，硬岩、深孔选大一号，软岩浅孔选小一号。

7.3 第 2 步：算压力（推荐与底线两档）

由式 (6-4) 反过来：要让孔底锤压达到某个值，空压机出口需要多少压力。

$$P_{\text{推荐}} = P_{\text{锤额定}} + \Delta P_{\text{环空}} + \Delta P_{\text{水}} + \Delta P_{\text{管路}} \quad (7-1)$$

孔底冲击器拿到额定压力，全程满速。

$$P_{\text{底线}} = P_{\text{锤最低}} + \Delta P_{\text{环空}} + \Delta P_{\text{水}} + \Delta P_{\text{管路}} \quad (7-2)$$

冲击器还能打得动的最低值。低于它，冲击器基本停振。

表 7-3 压力各项取值

项目	取值	说明
$P_{\text{锤额定}}$	常规高压锤 18 bar；超高压锤 22 bar	由客户冲击器决定
$P_{\text{锤最低}}$	10 bar	主流高压锤冲击器工作压力下限 1.0 MPa

$\Delta P_{\text{环空}}$	$\leq 20 \text{ m}$: 0.5; $20 \sim 50 \text{ m}$: 1.0; $50 \sim 100 \text{ m}$: 1.5; $100 \sim 200 \text{ m}$: 2.0; $200 \sim 500 \text{ m}$: 3.0 bar; 铁矿等重岩再 +0.5	按典型钻进工况 150 m 处 1~3 bar 校准
$\Delta P_{\text{水}}$	(最大孔深 - 静水位) $\div$ 10 bar	物理定值, 干孔为 0
$\Delta P_{\text{管路}}$	1 bar (长细风管取 1.5)	软管、钻杆内孔、接头

默认按推荐压力选型。客户预算紧或想用电动机时, 可以选推荐与底线之间的机器, 但一定要在第 6 步核算并把降速讲清楚, **绝不低于底线**。

表 7-4 按推荐压力分叉

推荐压力	走哪张表	原因
7 ~ 8 bar 且 风量 $\geq 36 \text{ m}^3/\text{min}$	DMT 隧道变频	低压大风量、多工况交替
$\leq 13 \text{ bar}$	单级	效率够用、购机价低
14~19 bar	单级、双级都给	单级便宜, 双级省油
$\geq 20 \text{ bar}$	只能双级	单级机最高 19 bar
26~30 bar 且有电网	先核算 25 bar 电动机, 再定柴 / 电	电动最高 25 bar, 但底线够就能打
> 35 bar	转人工	超出单机范围

7.4 第 3 步: 算风量 (两个来源取大)

来源① 冲击器耗气 $Q_{\text{锤}}$ 。**来源②** 孔底排渣所需风量, 由式 (6-3) 反解: 要让孔底风速达到目标 $v_{\text{底}}$, 需要的自由空气量为

$$Q_{\text{排渣}} = A \times v_{\text{底}} \times (1.013 + \Delta P_{\text{环空}}) / 1.013 \quad (7-3)$$

$$Q_{\text{基准}} = \max(Q_{\text{锤}}, Q_{\text{排渣}}) \quad (7-4)$$

表 7-5 孔底风速目标

岩渣情况	$v_{\text{底}} \text{ (m/min)}$
常规 (花岗岩、石灰岩、砂岩)	1000 (在 914 下限上留约 10%)
重岩渣 (铁矿等高密度矿石)	1100 (经验值)
含水、粘渣、泥岩	1200 (经验值)

7.5 第 4 步: 按现场条件放大

$$Q_{\text{采购}} = Q_{\text{基准}} \times K_{\text{跟管}} \times K_{\text{余量}} \div (\eta_{\text{海拔}} \times \eta_{\text{温度}}) \quad (7-5)$$

海拔修正采用**国际通行的质量流量修正方法**：喷油螺杆压缩机的自由空气排气量（FAD）随海拔几乎不变（每 1000 m 仅降约 0.5%），但输出的**空气质量流量每升高 1000 m 下降约 12%**。潜孔钻进需要的是空气质量，所以按质量流量修正：

$$\eta_{\text{海拔}} = 1 - 0.12 \times h / 1000$$

(7-6)

h 为海拔（m），连续计算，不再分档跳变。

表 7-6 海拔修正系数 $\eta_{\text{海拔}}$ 与柴油机功率储备

海拔	$\eta_{\text{海拔}}$	需多备风量	涡轮增压柴油机可用功率	提醒
500 m	0.94	+6%	96%	—
1000 m	0.88	+14%	92%	留足余量
1500 m	0.82	+22%	88%	选增压柴油机
2000 m	0.76	+32%	84%	增压 + 加大冷却
2500 m	0.70	+43%	80%	高原配置
3000 m	0.64	+56%	76%	高原专用配置；压力再留 2~4 bar
4000 m	0.52	+92%	68%	转技术工程师

柴油机功率也会下降：涡轮增压柴油机每升高 1000 m 约降 8%，气温每升高 10 °C 约再降 5.4%（自然吸气机型每 1000 m 约降 12%）。凯钻会同时校核柴油机功率储备，储备不足时配置高原增压、加大冷却或选大一档机型。电动机标准设计可在 1000 m、40 °C 以内满额运行，超出后需降容使用。

表 7-7 其他系数

系数	取值
$\eta_{\text{温度}}$	≤ 35 °C：1.00；35~45 °C：0.95；> 45 °C：0.90（同时选加大冷却配置）
$K_{\text{跟管}}$	不跟管 1.00；跟管 / 套管钻进 1.10~1.15（建议转工程师复核）
$K_{\text{余量}}$	统一 1.10，覆盖机器磨损后排量下降和操作波动

两个容易犯的错

① 温度修正系数必须和海拔一样做**除数**，乘在分子上会把高温工况的风量算小；② 岩性和孔深已经体现在 $v_{\text{底}}$ 和环空回压里，不要再额外乘岩性、孔深系数，否则重复放大。

7.6 第 5 步：落到凯钻型号

拿着采购坐标“ $Q \geq \dots, P \geq \dots$ ”，过三道筛选：

- 动力**：有稳定电网 → DM / LGDY / DMT；无电或常转场 → CM / LGCY。
- 级数**：由推荐压力自动决定（表 7-4）。

3. **系列与品牌**：性能 / 恶劣工况 → M 旗舰；预算敏感 → LG 同参数机型；品牌看后缀 K / X / 无。

在第 8 章的机型速查表中，找到压力 $\geq$ 推荐压力的行，把它和下面所有行里排量 $\geq$ 采购风量的机型挑出来，排量最接近的就是“最小达标机型”。双工况机看高压工况的排量。

7.7 第 6 步：反向核算

把候选机型的压力、排量带回现场，回答客户最关心的问题：“这台机器能打多深、打得快不快？”

表 7-8 反向核算四个数

核算项	公式 (bar, 水柱每 10 m = 1 bar)	判断
孔底锤压	$P_{\text{机}} - \text{管路} - \text{环空回压} - \text{水柱}$	$\geq$ 额定：满速；最低~额定：深段降速； $<$ 最低：打不动
满速最深	$\text{静水位} + (P_{\text{机}} - \text{管路} - \text{环空} - P_{\text{锤额定}}) \times 10$	这个深度以内钻速不打折
打得动最深	$\text{静水位} + (P_{\text{机}} - \text{管路} - \text{环空} - P_{\text{锤最低}}) \times 10$	实际孔深必须小于它
现场实际排量	$\text{铭牌排量} \times \eta_{\text{海拔}} \times \eta_{\text{温度}}$	$\geq Q_{\text{基准}}$ ，且孔底风速 $\geq 914 \text{ m/min}$

最后给客户报三台：**主推**最小达标机型（说清风量、压力各有多少余量）；**备选一**大一档或 LG 同款（省心或省钱）；**备选二**双工况机或电动方案。预算低于门槛时不能降到不达标的机型，改推 LG、分期、租赁，或建议缩小孔径。

7.8 必须转技术工程师的情况

- 地热深孔，或任何孔深 $> 500 \text{ m}$ ；海拔 $> 4000 \text{ m}$ ；
- 跟管 / 套管钻进；风化层、破碎带、易塌孔漏风；
- 所需压力 $> 35 \text{ bar}$ ，或排气量 $> 43 \text{ m}^3/\text{min}$ （需多机并联）；
- 10 寸以上大孔径、桩基大风量项目；泡沫钻进等特殊工艺。

CHAPTER 08

凯钻机型速查与选型算例

这一章是选型的工具箱：按压力档排好的机型表、快速参考矩阵、两个完整算例和钻速估算。如需完整方案，可随时联系凯钻技术工程师。

8.1 机型速查表

用法：找到压力 $\geq$ 推荐压力的那一行，在这一行和它下面所有行里挑排量 $\geq$ 采购风量的机型。括号内是高压工况的排量 (m^3/min)。LG 经济系列有同参数型号 (LGCY / LGDY)，个别型号除外。

表 8-1 双级柴动 CM 系列（按高压工况压力排列）

高压工况	可选机型（排量，动力）
18 bar	CM190-15/18-17/13 (15, 玉柴) · CM220B-19/18-21/15 (19, 玉柴) · CM220-20/18-22/15 / ... K (20, 玉柴 / 康明斯) · CM260-24/18K (24)
19 bar	CM240-21/19-23/15 (21, 玉柴) · CM260-22/19 / ...K (22) · CM260-22/19-24/15K (22) · CM260-24/15-22/19 (22, 玉柴)
20 bar	CM310-23/20-25/15 (23, 玉柴)
21 bar	CM240-19/21-21/15 (19, 玉柴) · CM260-21/21 / ...K (21) · CM260-21/21-23/15 (21, 玉柴) · CM260-21/21-23/16K (21)
22 bar	CM260-19/22 (19, 玉柴) · CM310-24/22-26/16 (24, 玉柴) · CM325-24/22K (24) · CM325-24/22-26/18K (24) · CM360-29/22K (29)
23 bar	CM260-19/23-21/16 (19, 玉柴) · CM360-27/23K (27)
24 bar	CM360-29/24K (29)
25 bar	CM360-31/25K (31) · CM360-31/25-33/18K (31) · CM400-31/25 (31, 玉柴) · CM400-31/25-33/18 (31, 玉柴)
26 bar	CM420-33/26 (33, 玉柴) · CM430-34/26-36/18K (34)
28 bar	CM480-34/28X (34, 锡柴)
30 bar	CM550-36/30-38/20K (36) · CM755-40/30-43/20K (40)
34 bar	CM550-35/34-38/25K (35)
35 bar	CM755-38/35-40/30K (38)

表 8-2 双级电动 DM 系列（LGDY 同参数）

压力	可选机型（排量，电机 kW）
15 bar	DM90-18/15 (18, 90)

18 bar	DM110-18/18 (18, 110) · DM135-22/18 (22, 132) · DM185-28/18 (28, 185) · DM250-35/18 (35, 250)
19 bar	DM138-23/19 / DM138B-23/19 (23, 132)
20 bar	DM139-23/20 (23, 132) · DM250-34/20 (34, 250)
21 bar	DM185-26/21 (26, 185) · DM250-33/21 (33, 250)
24 bar	DM185-23/24 (23, 185)
25 bar	DM250-31/25 (31, 250)

表 8-3 单级柴油 CM 系列 (5~20 m³/min, 8~19 bar; LGCY 同参数)

压力	可选机型 (排量)
8 bar	CM56-5/8X (5) · CM72-7/8X (7) · CM125-12/8K / CM130-12/8K (12) · CM150-13/8 / ...K (13)
10 bar	CM125-10/10K / CM130-10/10K (10) · CM150-12/10 / ...K (12)
12 bar	CM125-9/12K / CM130-9/12K (9) · CM150-10/12 / ...K (10) · CM180-18/12 / CM190-18/12 (18, 玉柴)
13~14 bar	CM180-16/13K (16) · CM180-15/14K (15)
15~16 bar	CM180-15/15K (15) · CM180-16/15 / CM190-16/15 (16, 玉柴) · CM180-15/16 / CM190-15/16 (15, 玉柴)
18 bar	CM205-18/18K / CM220-18/18K (18) · CM220-18/18-20/15 (18, 玉柴) · CM260-19/18 (19, 玉柴) · CM260-20/18K (20)
19 bar	CM260-19/19K / CM260-19/19-20/15K (19)

表 8-4 电动单级与 DMT 隧道变频

系列	机型 (排量 @ 压力)
DM / LGDY 单级	DM90-16/10 (16 @ 10) · DM90-13/14.5 (13 @ 14.5) · DM132-17/13 (17 @ 13) · DM132-15/17 (15 @ 17, 仅 DM)
DMT 隧道变频	DMT160-36/7 · DMT200-42/7 · DMT220-45/7 · DMT250-56/8 · DMT315-72/8

8.2 快速参考矩阵

只知道孔径和孔深时, 先用下表确定大概档位, 再按出水和海拔做修正。表内为海平面、干孔、常规岩性、≤35 °C 时按六步法算出的推荐压力 / 采购风量, 以及满足条件的最小柴动机型。

表 8-5 快速参考矩阵 (推荐压力 bar / 采购风量 m³/min → 最小柴动机型)

冲击器 (典型孔径 / 钻杆)	≤20 m	20~50 m	50~100 m	100~200 m
3.5" (φ102 / φ76)	20 / 11.0 CM240-19/21-21/15	20 / 11.0 CM240-19/21-21/15	21 / 11.0 CM240-19/21-21/15	21 / 11.9 CM240-19/21-21/15

4" (φ115 / φ76)	20 / 14.3 CM240-19/21-21/15	20 / 14.3 CM240-19/21-21/15	21 / 16.0 CM240-19/21-21/15	21 / 19.1 CM260-21/21
5" (φ140 / φ89)	20 / 18.7 CM240-19/21-21/15	20 / 20.1 CM260-21/21	21 / 25.0 CM360-27/23K	21 / 30.0 CM360-31/25-33/18K
6" (φ165 / φ89)	20 / 24.9 CM360-27/23K	20 / 33.1 CM430-34/26-36/18K	21 / 41.4 需并联, 转人工	21 / 49.6 需并联, 转人工
8" (φ203 / φ102)	20 / 39.7 CM755-38/35-40/30K	20 / 52.9 需并联, 转人工	21 / 66.0 需并联, 转人工	21 / 79.2 需并联, 转人工

孔径取各档典型值, 钻杆取表 6-2 默认值 (常用范围上限, 不超过 φ102)。大孔径、深孔排渣风量大, 超出单机范围时由技术工程师评估泡沫钻进或多机并联。正式方案请走完整六步法或联系凯钻技术工程师。

三个马上要加的修正

- **出水:** 压力加 “水面以下孔长 ÷ 10” bar, 水下 50 m 就加 5 bar;
- **海拔:** 风量 ÷ (1 - 0.12 × 海拔千米数), 1000 m ÷ 0.88, 2000 m ÷ 0.76, 3000 m ÷ 0.64;
- **高温:** 夏天常超 35 °C, 风量再 ÷ 0.95。

8.3 算例一：云南采石场炮孔

工况: 花岗岩炮孔, 孔径 140 mm, 孔深 25 m, 干孔, 海拔 2200 m, 夏天最高约 35 °C, 没有电, 看重可靠性。

步骤	过程	结果
① 冲击器	140 mm 落在 127~165 → 5 寸高压冲击器	Q _锤 = 17, 默认 φ89 钻杆
② 压力	推荐 18 + 1.0 (环空 25 m) + 0 + 1; 底线 10 + 1.0 + 0 + 1	推荐 20 bar , 底线 12 bar → 双级
③ 风量	$A = \pi/4 \times (0.140^2 - 0.089^2) = 0.00917 \text{ m}^2$; $Q_{\text{排渣}} = 0.00917 \times 1000 \times 2.013 \div 1.013 = 18.2 > 17$	Q _{基准} = 18.2
④ 放大	$\eta_{\text{海拔}} = 1 - 0.12 \times 2.2 = 0.736$; $18.2 \times 1.10 \div 0.736 \div 1.00$ (35 °C)	Q = 27.2 m³/min
⑤ 型号	无电 → 柴动; 20 bar → 表 8-1; 可靠性优先 → M 系列 + 康明斯	CM360-29/22K
⑥ 核算	孔底锤压 $22 - 1 - 1 - 0 = 20 \geq 18$; 柴油机功率储备 $1 - 0.08 \times 2.2 - 0.054 \times 1.0 \approx 77\%$	全程满速 ; 功率储备偏低, 选高原配置

推荐结果 采购坐标: **Q ≥ 27.2 m³/min, P ≥ 20 bar**

推荐	机型	理由
----	----	----

主推	CM360-29/22K	康明斯 360 HP, 风量余量 7%、压力余量 10%, 满足条件的最小机型; 配高原增压与加大冷却
备选一 (省钱)	LGCY360-29/22K	同参数经济系列
备选二 (压力更足)	CM360-29/24K	孔底锤压 22 bar, 换超高压风锤也够用
备选三 (一机两用)	CM360-31/25-33/18K	同时接浅孔大风量的活

经高原修正后, 2200 m 的风量需求比海平面多约 36%。如果只按铭牌“方数”看, 27 方的机型似乎够用, 但折算质量流量后没有余量, 所以主推 29 方机型, 保证全程满速。

8.4 算例二：有电网的水井

工况：打水井，孔径 140 mm，最深 100 m，60 m 见水，花岗岩，海拔 800 m，夏天 32 °C，工地有稳定电网，现用 $\phi 89$ 钻杆，预算敏感。

步骤	过程	结果
① 冲击器	140 mm 落在 127~165 → 5 寸高压冲击器； $\phi 89$ 钻杆在 5 寸常用范围 $\phi 76 \sim \phi 89$ 内	$Q_{\text{锤}} = 17$, 钻杆 $\phi 89$
② 压力	推荐 $18 + 1.5$ (环空 100 m) + 4 (水柱 40 m) + 1; 底线 $10 + 1.5 + 4 + 1$	推荐 25 bar, 底线 17 bar
③ 风量	$A = \pi/4 \times (0.140^2 - 0.089^2) = 0.00917 \text{ m}^2$; $Q_{\text{排渣}} = 0.00917 \times 1000 \times 2.513 \div 1.013 = 22.8 > 17$	$Q_{\text{基准}} = 22.8$
④ 放大	$\eta_{\text{海拔}} = 1 - 0.12 \times 0.8 = 0.904$; $22.8 \times 1.10 \div 0.904 \div 1.00$	$Q = 27.7 \text{ m}^3/\text{min}$
⑤ 型号	有稳定电网 → 电动优先; 25 bar 在电动机组范围内; 同时给出柴动对比	DM250-31/25、CM360-31/25K
⑥ 核算	DM250-31/25: 孔底 $25 - 1 - 1.5 - 4 = 18.5 \text{ bar} \geq 18$; 风量余量 $31 \div 27.7 - 1 \approx 12\%$	全程满速

推荐结果 $Q \geq 27.7 \text{ m}^3/\text{min}$; 推荐 25 bar, 底线 17 bar

推荐	机型	理由
主推 (用电, 运行成本最低)	DM250-31/25 (预算紧选 LGDY250-31/25)	风量余量 12%, 100 m 全程满速
备选一 (无电或常转场)	CM360-31/25K	康明斯 360 HP, 同样全程满速
备选二 (以后打更深)	CM550-36/30-38/20K	孔底锤压 23.5 bar, 满速可到约 150 m

注意：如果客户为了省风想换 $\phi 114$ 钻杆，在 140 mm 孔里单边间隙只剩 13 mm，岩屑极易卡钻，而且超出 5 寸冲击器的常用钻杆范围，不建议。

■ 用电还是用油

有稳定电网的工地，电动机组不烧油、没有柴油机保养项目，噪声和排放也更低。按常见的工业电价和柴油价格测算，电动机组每小时的能源费用通常不到同排量柴油机组的一半，连续施工一年可节省可观的运行成本。

8.5 钻速估算

柴油机驱动的移动空压机，主机转速由柴油机决定，排气量基本稳定；钻速主要取决于孔底冲击器实际拿到的压力。孔底锤压越接近冲击器额定压力，钻速越接近满速：

表 8-6 孔底锤压与相对钻速（典型趋势）

孔底锤压 / 冲击器额定	≥ 100%	89%	67%	56% (10 bar)	< 56%
相对满速钻速	100%	约 90%	约 60%	约 40%	基本打不动

这也是凯钻坚持按“推荐压力”选型的原因：压力到位，冲击器全程满速，单位进尺的时间和能耗都最低。

8.6 获取选型支持

凯钻技术工程师可根据您的工况资料（孔径、孔深、岩性、出水、海拔、气温、供电）免费出具选型方案，给出推荐机型、孔底锤压、满速深度和配置建议。请联系凯钻销售热线 0570-8878277 或当地经销商。

CHAPTER 09

安全与操作

移动空压机是带压力容器、高温部件和旋转机械的组合。绝大多数事故和早期故障都来自不规范操作。本章给出通用操作流程，具体机型以随机《使用说明书》和柴油机厂家手册为准。

9.1 安全红线

以下行为严禁发生

- 机组运行中或油气桶内仍有压力时，拧开加油口、放油阀，或拆卸任何带压管路、滤芯；
- 擅自调高安全阀、短接温度或压力保护开关、拆除温控阀；
- 用压缩空气对人吹扫，或用排气软管当作吹扫工具对着人；
- 高压软管连接处未锁紧、未加防甩链就供气；
- 在密闭空间、隧道深处使用柴油机而通风不足；
- 运行中拖行、吊装，或在机罩打开时把手伸近风扇和皮带。

机组上的安全警示标志（高温、高压、旋转部件、触电、噪声、阅读说明书等）不得遮挡或撕除。操作人员应佩戴听力保护和防护眼镜。

9.2 现场摆放

- 放在坚实、平整的地面，倾斜不超过随机文件规定值，避免油位失真和吸油口吸空；
- 进风口一侧远离粉尘源、爆破点和柴油机排气，机组四周留出检修和散热空间；
- 热风不能回流到进风口，多台并排时注意错开；
- 拉好驻车制动，轮胎前后垫好挡块。

9.3 柴油机开停机流程

■ A. 开机前检查

☐	检查项	要求
☐	螺杆机油油位	停机且泄压后看油位视镜，在规定刻度之间
☐	柴油机机油、冷却液	按柴油机手册，冷却液标号与当地最低气温相符
☐	燃油	油量充足，标号符合季节；排放油水分离器积水
☐	空滤	阻塞指示器未变红，排尘阀通畅

☐	冷却器外表	无油泥、粉尘堵塞
☐	皮带、软管、卡箍	无裂纹、松动、渗漏
☐	蓄电池与线路	接线牢固，电量充足
☐	供气阀与下游	软管连接锁紧；启动时供气阀关闭或微开

■ B. 启动

1. 启动 / 运行手柄置于“启动”位（进气阀关闭，轻载启动）；
2. 钥匙转到“通电”，面板自检，低温时按住低温辅助 / 预热按钮；
3. 转到“启动”，柴油机着火后松开，单次启动不超过随机文件规定时间，失败后间隔再试；
4. 怠速暖机 3~5 分钟，观察油压、水温、排气温度逐步正常。

■ C. 运行

1. 手柄切到“运行”位，机组开始加载，压力升至设定值；
2. 按需用高低压切换手柄选择工况，然后缓慢打开供气阀；
3. 运行中每隔一段时间巡视：排气压力、排气温度、柴油机油压与水温、转速是否稳定，有无异响、漏油、漏气。

■ D. 停机

1. 关闭供气阀，手柄回到“启动”位，让机组在卸载状态下运行 3~5 分钟降温；
2. 钥匙转到“停机”，放空阀自动泄掉油气桶压力；
3. 确认压力表归零后再做任何检修；冬季停机后按需排放冷凝水并做防冻处理。

高压机不要长时间卸载怠速

长时间卸载运行时油温偏低，空气中的水分会在油气桶里凝结进油。钻机停钻较长时间时，宁可停机，也不要让高压机长时间空转。

9.4 电动机开停机流程

■ A. 开机前准备

- 核对电源电压、频率与铭牌一致，电源容量足够；电缆截面按电机功率和线路长度选取，长距离供电时加大一级；
- 可靠接地，电控柜门关闭，急停按钮复位；
- 检查油位、冷却器、空滤、管路，同 9.3 节。

■ B. 通电确认

- 通电后控制器若报“相序错误”，断电后调换三相进线中任意两相；

- 维修后首次开机，点动确认主机和风机转向正确；
- 冬季气温低、油较稠时，可先点动 2 秒左右，待油路建立后再正常启动。

■ C. 启动与停机

按“启动”键，机组星三角或软启动后自动加载；运行中观察控制器上的排气压力、温度、电流和运行状态。停机按“停止”键，机组先卸载延时再停，不要直接拉闸；紧急情况才使用急停按钮。

9.5 特殊环境操作要点

环境	要点
高寒 ($< -10^{\circ}\text{C}$)	使用低温柴油、低温机油和相应等级防冻液；选配低温冷启动系统；启动前预热；停机后排净冷凝水
高温 ($> 35^{\circ}\text{C}$)	每天清洁冷却器；避免阳光直射进风口；午后高负荷时密切关注排温，必要时降负荷
高原 ($> 2000\text{ m}$)	按高原配置选型；排气温度和柴油机水温比平原高，保养周期适当缩短
高粉尘	使用预滤器 / 沙漠空滤包；空滤检查改为每班；冷却器反吹频率加倍
高湿、海边	严禁长时间卸载运行；缩短换油周期并观察油是否乳化；关注防腐

CHAPTER 10

维护保养

移动空压机的寿命不是“用出来”的，是“养出来”的。主机、轴承、油分芯这些贵重部件的损坏，绝大多数源头是油、滤芯和散热没有管好。本章给出通用保养体系，具体周期以机型随机文件和柴油机厂家手册为准。

10.1 保养的三条主线

1. **管好油**：油品对、油位对、按时换、不进水不进尘；
2. **管好滤**：空滤、油滤、油分芯、柴油滤，堵了就换，不要等坏；
3. **管好热**：冷却器干净、温控阀正常、风扇皮带完好，排温长期稳定在正常区间。

10.2 凯钻保养包体系：500 h / 1500 h / 2500 h

凯钻为每个机型配套标准保养包，按累计运行小时分 **500 h**、**1500 h**、**2500 h** 三档（个别老机型为 500 / 2000 / 4000 h，以机型保养包为准）。所有保养包都由同一套零件结构拼装而成：

表 10-1 保养包组成

部分	包含零件	电动机组	柴动机组
A 压缩机主机部分	油分芯、螺杆机油滤、机头空滤芯（含安全芯）、螺杆油	每档都换	每档都换
B 柴油机部分	柴油机空滤芯（含安全芯）、燃油滤芯、机油滤芯、油水分离器、防冻液、柴油机机油	无	每档都换
C 电控及阀件	气水分离器、温度传感器、压力传感器、高压调压阀、电磁阀、控制器	2500 h 大保养	2500 h 大保养

即：**电动保养包 = A（2500 h 加 C）**；**柴动保养包 = A + B（2500 h 加 C）**。A、C 部分的同规格零件在大量机型间通用，便于经销商备货。

10.3 油品选择

表 10-2 凯钻机组用油

油品	规格	适用	单次用量参考
螺杆油 ZH	凯钻专用螺杆油，红色桶，16 L/桶	中低压机型（单级、19 bar 及以下为主）	柴动机组 4~6 桶；电动机组 60~120 L
螺杆油 ZD	凯钻专用高压螺杆油，灰色桶，16 L/桶	高压双级机型（20 bar 以上为主）	

螺杆油 ZB	小型电动机组专用	小排量电动机组	约 20 L
柴油机油	CH-4 15W-40	所有柴动机组	按发动机型号
防冻液	-25 °C	所有柴动机组；极寒地区换更低冰点	按发动机型号

个别机型油品可能不同，一律以该机型保养包标注为准。

- 必须使用凯钻指定的螺杆专用油；**ZH 与 ZD、不同品牌之间严禁混用**，换型时要放净旧油、清洗油路并同时更换油滤和油分芯；
- 加油只在停机、泄压后进行，油位以停机后视镜读数为准；
- 油变白（乳化）、变黑发稠、有焦糊味，说明进水、过热或已氧化，应立即更换并查找原因。

10.4 日常检查与周期保养

表 10-3 检查与保养周期

项目	每天 / 每班	每周 (约 50 h)	500 h	1500 h	2500 h	备注
螺杆油油位	检查					停机泄压后看视镜
A 主机部分 (油分、油滤、空滤、螺杆油)			换	换	换	恶劣工况提前
B 柴油机部分 (三滤、油水分离、机油、防冻液)			换	换	换	仅柴动；同时遵照柴油厂家手册
C 电控及阀件					换	大保养
空滤阻塞指示器、排尘阀	检查	清洁				高粉尘每班检查
冷却器外表	目视	反吹清洁				高温高尘地区加密
油水分离器排水	排水					柴动
软管、卡箍、皮带	目视		检查紧固	检查	按状况换	高压软管老化必须换
安全阀				手动试跳	校验	按当地压力容器规定
回油管节流孔、单向阀；最小压力阀、温控阀				检查清洁	检查	出现相应故障随时检查
电气接线、接地			检查紧固			电动

10.5 坚持使用凯钻原厂配件

油分芯、油滤、空滤芯等保养件直接决定主机寿命和排气品质。凯钻原厂保养件按机型与主机、螺杆油配套选型，并按 500 h / 1500 h / 2500 h 保养包成套供应，经销商可按机型直接备货。

- 订购时务必报全机型和出厂编号：同型号不同批次的零件可能不通用；
- 易耗品一般不在三包范围内，三包范围与期限以凯钻现行三包文件为准。

10.6 关键部件更换要点

■ 油过滤器

1. 停机、泄压到零，待油温下降；
2. 用滤芯扳手逆时针拆下旧滤芯，接住残油；
3. 清洁滤座密封面，在新滤芯密封圈上薄涂一层干净螺杆机油；
4. 先用手拧到密封圈接触，再拧紧约 3/4 圈，不要用扳手过度拧紧；
5. 开机后检查有无渗漏，停机泄压后复查油位。

■ 油分芯

1. 停机泄压，拆下油气桶盖上的管路和螺栓，吊起桶盖；
2. 取出旧油分芯，检查桶内有无油泥、杂物；
3. 更换密封垫，安装新油分芯时注意静电导通片（钉书钉 / 导电片）不能去掉，防止静电积聚；
4. 回装回油管，回油管下端距油分芯底部的距离按随机文件要求，过高回不了油，过低会顶坏滤材；
5. 对角均匀拧紧桶盖螺栓，开机后检查密封。

■ 空气滤清器

- 主滤芯可用低压干燥空气由内向外吹扫清洁，严禁敲打、水洗或用高压气直吹；滤纸破损、清洁后阻力仍高时必须更换；
- 安全滤芯一般不清洁，按主滤芯更换 2~3 次时更换一次；
- 更换时注意密封圈到位，避免未过滤空气旁通进入主机。

10.7 柴油与冷却液

表 10-4 柴油标号选择（按当地最低气温）

柴油标号	0 号	-10 号	-20 号	-35 号	-50 号
适用最低气温	$\geq 4^{\circ}\text{C}$	$\geq -5^{\circ}\text{C}$	$\geq -14^{\circ}\text{C}$	$\geq -29^{\circ}\text{C}$	$\geq -44^{\circ}\text{C}$

冷却液（防冻液）冰点应比当地历史最低气温低 5~10℃。凯钻柴动机组保养包标配 -25℃ 防冻液，极寒地区应换用 -35℃ 或 -45℃ 等级。不同类型冷却液不能混用。

10.8 长期停放与存储

- 停放超过一个月：放净冷凝水，加满燃油防止油箱生锈，断开蓄电池负极；
- 超过三个月：更换新螺杆机油并运行 30 分钟使油膜覆盖内部；密封进排气口，防止潮气和异物进入；
- 重新启用前：检查油位和油质、皮带和软管、蓄电池；手动盘车确认主机无卡滞；先空载运行 10~15 分钟再加载。

10.9 保养记录

每台机器应有保养记录，至少包含：日期、累计运行小时、保养项目、所用油品和滤芯型号、更换人、发现的问题。完整的记录是判断故障原因和处理三包争议的依据。带工业网关的机型可在控制器中设置保养计时提醒。

CHAPTER 11

报警与故障排查

控制器的报警分两级：**警告**提示异常但允许继续运行，**故障停机**会立即停机并要求排除原因后复位才能再启动。排查的原则是先看报警信息和数据，再从最简单、最常见的原因查起。

11.1 排查的基本方法

- 1. **记录**：报警名称、发生时间、当时压力、温度、转速 / 电流、环境温度、运行时长；
- 2. **先外后内**：先查油位、滤芯指示器、冷却器、电源、燃油等外部因素，再查阀件和传感器，最后才考虑主机；
- 3. **区分真假**：读数异常时用机械表或另一只传感器比对，排除传感器、线路故障；
- 4. **排除后复位**：未找到原因前不要反复复位强行开机。

11.2 柴油机报警

表 11-1 柴油螺杆机常见报警

报警	常见原因	处理
柴油机转速报警 (超速 / 低速)	调速气缸卡滞或漏气；油门拉杆脱落、调整不当；燃油供给不足；转速传感器故障	检查调速气缸和油门拉杆；排查燃油系统；校验传感器
空压机气压报警 (超压)	压力调节阀设定过高或失灵；进气阀不能关小；控制气路漏气或堵塞；高低压切换位置错误	检查调节阀、进气阀伺服气缸和控制管路；确认切换手柄位置
柴油机油压报警 (低油压)	机油不足或变稀；机油滤堵塞；机油泵故障；油压传感器故障	停机检查机油位和品质；按柴油机手册处理，必要时联系柴油机服务站
空压机高温报警 (排气温度高)	螺杆机油不足；冷却器脏堵；温控阀失效；油过滤器堵塞；风扇或皮带故障；环境温度过高；油品错误或老化	见 11.4 节专项排查
柴油机水温报警	冷却液不足；水箱外表脏堵；节温器、水泵故障；风扇皮带打滑；长时间超负荷	冷机后补液、清洁水箱，检查皮带和节温器
过滤器报警	空滤阻塞	清洁或更换空滤芯
充电指示	发电机不发电、皮带松、线路故障	检查发电机、皮带和接线

11.3 电动机报警

表 11-2 电动螺杆机常见报警

报警	常见原因	处理
相序错误	进线相序与设定不符	断电后调换任意两相进线

缺相	熔断器熔断、接触器触点烧蚀、电缆断线或接头松动	逐级测量三相电压，更换损坏元件，紧固接头
电压超限	电网电压过高或过低；线路过长、线径过小造成压降	测量空载与负载电压；加粗电缆或调整供电
电流不平衡	三相电压不平衡；接触器单相接触不良；电机绕组故障	测三相电压与电流，检查接触器和电机
主机过载	排气压力设定过高；油分芯堵塞；油温过低油太稠；电压低；主机轴承损坏	核对压力设定，检查油分压差和油品，测电压；仍过载则检查主机
主机堵转	主机卡死（轴承损坏、异物）；冬季油稠起动阻力大；带载起动	断电手动盘车判断；冬季先点动预热；确认进气阀起动时关闭
排气高温	同柴油机高温原因；水冷机型冷却水不足	见 11.4 节
排气超压	压力设定错误；进气阀不能关闭；放空阀不动作；压力传感器故障	检查设定值、进气阀、放空阀和传感器
缺水（水冷机型）	冷却水压力或流量不足，水路堵塞	检查水源、阀门和过滤器，按随机文件处理水质
传感器故障	传感器缺失、损坏或线路断开	检查插头和线路，更换传感器

11.4 专项排查：排气温度高

排温高是螺杆机最常见、也最需要重视的故障，因为它直接威胁主机。按以下顺序排查：

- 油位：**停机泄压后看油位，低于下限先补油，并查找漏油、跑油原因；
- 冷却器：**外表是否被油泥粉尘糊住，风扇和皮带是否正常；
- 环境：**是否高温、阳光直射、热风回流、机罩门敞开破坏了风道；
- 温控阀：**机器运转后冷却器进出口温差很小、冷却器摸着不热，说明温控阀没有打开；
- 油过滤器：**堵塞后旁通，供油量下降；
- 油品：**是否用错油、混油或油已老化积碳；
- 工况：**是否长期超压运行、高原未按高原配置；
- 传感器：**用测温枪比对读数。

11.5 常见性能故障

表 11-3 常见性能故障与处理

现象	可能原因	处理
排气量不足、压力上不去	空滤堵塞；进气阀开度不足；柴油机转速不到额定；最小压力阀或管路泄漏；主机磨损、油量不足；高原未修正	依次检查空滤、进气阀、转速、管路；对照海拔核算机型是否偏小
排气带油、油耗大	油位过高；油分芯破损或堵塞；回油管节流孔堵塞、回油单向阀失效；最小压力阀不保压；排气压力过低运行	放油至正常油位；检查回油管和单向阀；更换油分芯；不要低压大流量长时间运行

油乳化变白	长时间低负荷 / 卸载运行，油温低于压力露点；冷却过度；湿热环境	换油；检查温控阀；调整运行方式避免长时间卸载
停机后吸气口喷油	进气阀单向结构失效；停机时未先卸载	检修进气阀；按规程停机
安全阀起跳	超压；油分芯堵塞导致桶压过高；安全阀本身失效	查压力控制回路和油分压差；校验安全阀
压力和转速来回波动	控制气路漏气或呼吸帽调整不当；调节阀故障；用气量剧烈波动	检查控制气路，调整稳压阀 / 呼吸帽
主机异响、振动大	轴承磨损；联轴器或弹性体损坏；地脚松动；油量严重不足	立即停机；检查联轴器和油位；轴承问题由专业人员处理
柴油机难启动	蓄电池亏电；燃油含水或标号不对；油路进空气；低温未预热	充电或更换蓄电池；排水换油、排空气；使用低温辅助

11.6 何时必须联系厂家

- 主机异响、卡滞、排温在确认外部因素正常后仍持续偏高；
- 同一报警在排除常见原因后反复出现；
- 需要调整安全阀、压力调节阀、高低压设定等出厂设定值；
- 三包期内的任何主要部件故障——不要自行拆解，以免影响三包。

联系售后时请准备：机型与出厂编号、累计运行小时、报警信息和照片、当时的压力温度读数、最近一次保养记录。

APPENDIX

附录

附录 A 公式汇总

名称	公式	出处
绝对压力	$p_{\text{绝对}} = p_{\text{表压}} + p_{\text{大气}}$	(2-2)
水柱压力	$p = \rho gh$, 10 m 水 $\approx$ 1 bar	(2-3)
理想气体	$p_1 V_1 / T_1 = p_2 V_2 / T_2$	(2-6)
大气压与海拔	$p_h = 101.325 \times (1 - 2.256 \times 10^{-5} h)^{5.256}$ kPa	(2-8)
空气密度比	$\rho_h / \rho_0 = (p_h / p_0) (T_0 / T_h)$	(2-9)
压力露点分压	$p_{v, \text{桶}} = p_{\text{桶}} \times p_{v, \text{大气}} / p_{\text{大气}}$	(2-10)
等温比功率	$N = 1.689 \ln r$ kW/(m ³ /min)	(3-6)
绝热比功率	$N = 5.91 (r^{0.286} - 1)$ kW/(m ³ /min)	(3-6)
压缩终温	$T_2 = T_1 r^{(n-1)/n}$	(3-5)
两级最佳中间压力	$p_m = \sqrt{p_1 p_2}$	(3-9)
内压比	$p_i / p_s = V_i^n$	(4-1)
冲击器耗气随压力	$Q_2 \approx Q_1 (p_2 + 1) / (p_1 + 1)$	(6-1)
环空面积	$A = \pi / 4 \times [(D/1000)^2 - (d/1000)^2]$	(6-2)
孔底风速	$v_{\text{底}} = (Q/A) \times 1.013 / (1.013 + \Delta P_{\text{环空}})$	(6-3)
孔底锤压	$P_{\text{机}} - \Delta P_{\text{管路}} - \Delta P_{\text{环空}} - (H - H_{\text{水位}}) / 10$	(6-4)
推荐 / 底线压力	$P_{\text{锤额定 / 最低}} + \Delta P_{\text{环空}} + \Delta P_{\text{水}} + \Delta P_{\text{管路}}$	(7-1)(7-2)
排渣风量	$Q_{\text{排渣}} = A \times v_{\text{底}} \times (1.013 + \Delta P_{\text{环空}}) / 1.013$	(7-3)
海拔修正系数 (质量流量修正)	$\eta_{\text{海拔}} = 1 - 0.12 \times h / 1000$	(7-6)
柴油机功率储备	$1 - 0.08 \times h / 1000 - 0.054 \times (t - 25) / 10$ (涡轮增压)	7.5 节
采购风量	$Q_{\text{采购}} = \max(Q_{\text{锤}}, Q_{\text{排渣}}) \times K_{\text{跟管}} \times K_{\text{余量}} \div (\eta_{\text{海拔}} \times \eta_{\text{温度}})$	(7-5)

附录 B 常用单位换算

物理量	换算
压力	1 MPa = 10 bar = 1000 kPa; 1 bar = 14.5 psi = 1.02 kgf/cm ² (“公斤”)
流量	1 m ³ /min = 35.31 cfm = 16.67 L/s; 1 cfm = 0.0283 m ³ /min
功率	1 kW = 1.341 HP; 1 HP = 0.746 kW
长度	1 in = 25.4 mm; 1 ft = 0.3048 m
速度	1000 ft/min = 304.8 m/min; 3000 ft/min = 914 m/min
温度	°F = °C × 1.8 + 32; K = °C + 273.15

附录 C 术语表

术语	解释
FAD 自由空气排气量	折算到进气状态的排气体积流量，铭牌排气量的标准口径
表压 / 绝对压力	以大气为零点 / 以真空为零点的压力
比功率	每 m ³ /min 排气量消耗的功率，衡量能效
内容积比 V _i	螺杆主机吸气终了容积与排气开始容积之比，决定设计压力
齿间容积	相邻转子齿与机壳围成的工作空间
油分芯	油气桶内的二次油气分离滤芯
最小压力阀	保证油气桶最低压力的出口阀，兼有止回作用
温控阀	按油温分配油流经过或旁通冷却器的阀
环空	孔壁与钻杆之间的环形空间，岩渣由此返出
上返风速	环空中气流向上的速度，决定排渣能力
环空回压	环空中岩渣和气流阻力在孔底形成的压力
静水位	钻孔中地下水面距地表的深度
采购坐标	选型得出的“Q ≥ ...，P ≥ ...”两个门槛值
推荐 / 底线压力	孔底冲击器满速 / 能打动所需的空压机出口压力
双工况	一台机器通过切换在两组排量—压力组合下工作

附录 E 参考资料

- KayDrill 凯钻 2026 产品手册 (M / DMT / LG 系列); 凯钻机型保养包 (500 / 1500 / 2500 h);
- GB 19147 《车用柴油》标号与适用温度; ISO 1217 《容积式压缩机验收试验》。



以可靠动力 赋能每一处工程现场

Reliable Power · Every Site · Every Time

销售热线 0570-8878277

传 真 0570-8878230

网 址 www.kaydrillcomp.com

邮 箱 service@kaydrill.com

地 址 浙江省衢州市衢江区芦林中路 25 号

本指南供凯钻经销商与用户技术参考。产品参数以最新产品手册为准，操作与保养以机型随机文件及柴油机厂家手册为准。浙江凯钻机械有限公司保留最终解释权。