

国家自然科学基金资助项目 (50474029)

国家重点基础研究发展计划项目 (2006CB202200)

EXPERIMENTAL STUDY ON
THE PERTURBATION EFFECT OF ROCK RHEOLOGY

岩石流变及其扰动效应 试验研究

高延法 范庆忠 崔希海 付志亮 著



科学出版社

www.sciencep.com

TU452/4

2007

国家自然科学基金资助项目(50474029)

国家重点基础研究发展计划项目(2006CB202200)

岩石流变及其扰动效应试验研究

EXPERIMENTAL STUDY ON THE PERTURBATION
EFFECT OF ROCK RHEOLOGY

高延法 范庆忠 崔希海 付志亮 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了作者最近几年在岩石流变及其扰动效应试验研究方面所取得的成果与进展。全书共8章,内容主要包括:岩石流变扰动效应试验仪的研制;岩石单轴压缩蠕变试验与蠕变模型;岩石单轴压缩蠕变扰动试验及其本构关系;岩石三轴压缩蠕变试验;岩石三轴压缩蠕变扰动试验及其本构关系;岩梁弯曲蠕变扰动试验等。

本书可供岩土工程、采矿工程、工程地质和岩石力学等研究领域的工程技术人员、科研工作者及高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩石流变及其扰动效应试验研究=Experimental Study on the Perturbation Effect of Rock Rheology/高延法等著. —北京:科学出版社,2007

ISBN 978-7-03-020676-3

I. 岩… II. 高… III. 岩体流变学-扰动-岩石试验-研究 IV. TU452-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 176378 号

责任编辑:杨 红 李久进 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年12月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2007年12月第一次印刷 印张:8

印数:1—2 000 字数:151 000

定价:25.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 课题的提出	1
1.2 岩石流变研究现状	1
1.3 岩石流变扰动效应试验研究方法	3
第 2 章 岩石流变扰动效应试验仪的研制	4
2.1 岩石流变扰动效应试验仪的性能要求	4
2.2 轴向重力载荷扩力方案设计	5
2.3 试验仪三轴压力箱结构设计.....	10
2.4 扰动载荷加载方式及其测试系统.....	12
第 3 章 岩石单轴压缩蠕变试验与蠕变模型	14
3.1 岩石单轴压缩蠕变试验方法.....	14
3.2 岩石单轴压缩蠕变试验成果及分析.....	17
3.3 岩石蠕变模型.....	25
3.4 岩石应变硬化效应试验验证.....	34
3.5 本章小结.....	48
第 4 章 岩石单轴压缩蠕变扰动试验及其本构关系	50
4.1 岩石流变扰动效应工程实例.....	50
4.2 岩石单轴压缩蠕变扰动试验方法.....	52
4.3 岩石单轴压缩蠕变扰动试验成果.....	53
4.4 岩石单轴蠕变扰动效应分析.....	57
4.5 岩石流变及其扰动效应的本构关系.....	64
4.6 本章小结.....	67
第 5 章 岩石三轴压缩蠕变试验	69
5.1 岩石三轴压缩蠕变试验方法.....	69
5.2 岩石三轴压缩蠕变试验成果.....	74
5.3 岩石三轴压缩蠕变试验成果分析.....	78
5.4 本章小结.....	82
第 6 章 岩石三轴压缩蠕变扰动试验及其本构关系	84
6.1 扰动荷载测试仪器及测试方法.....	84
6.2 岩石三轴压缩蠕变扰动试验方案.....	85

6.3	岩石三轴压缩蠕变扰动试验结果·····	86
6.4	岩石三轴压缩蠕变扰动效应本构方程·····	93
6.5	本章小结·····	97
第7章	岩梁弯曲蠕变扰动试验 ·····	98
7.1	一次加载岩梁弯曲蠕变试验·····	98
7.2	多级加载岩梁弯曲蠕变试验·····	104
7.3	岩梁弯曲蠕变连续扰动试验·····	108
7.4	岩梁弯曲蠕变间隔重复扰动试验·····	112
7.5	岩梁弯曲强度极限邻域内的扰动试验·····	115
7.6	本章小结·····	118
第8章	主要研究成果与结论 ·····	119
	主要参考文献 ·····	122

第1章 绪 论

1.1 课题的提出

现在我国许多矿井的开采深度已经超过 800m,最深的超过了 1100m。在大采深采条件下,即使是中等强度的巷道围岩,其应力状态也接近了岩石强度极限,巷道稳定性差,很容易因掘进和开采扰动作用而产生大变形。在深井软岩条件下,巷道围岩应力状态处于岩石强度极限邻域内,变形主要是流变,其中扰动变形是其重要的组成部分。因此,研究岩石在扰动载荷作用下的流变力学特性,建立岩石流变扰动理论,对深井软岩支护具有重要的工程实用价值^[1,2]。

以往岩石流变试验研究多集中于岩石单轴压缩、单轴拉伸、三轴压缩、弱面剪切等类型的蠕变或松弛试验等,岩石流变理论研究多集中于岩石的黏弹塑性模型、元件组合模型、试验曲线模型等,有关岩石流变扰动效应的试验与理论研究成果很少。因此,岩石流变扰动效应试验与扰动理论研究,是一项具有原始创新特征的研究课题,该项研究可以拓展岩石流变理论的研究内容,有希望在固体力学的范畴内建立具有岩石力学特色的流变扰动效应理论。研究岩石在强度极限邻域内的流变扰动效应,对于岩石工程稳定性分析,发展岩石流变理论,都具有重要意义。

所谓“岩石强度极限邻域”,是对岩石应力状态而言的,在简单的压、拉、剪应力状态下,岩石具有一个强度极限值 σ_0 ,依据一定条件给定一个 $\Delta\sigma$,则称从 $(\sigma_0 - \Delta\sigma)$ 到 σ_0 为岩石的强度极限邻域。如果岩石处于三向应力状态,其强度极限邻域的范围大小可定义为: $(\Delta\sigma)^2 = (\Delta\sigma_1)^2 + (\Delta\sigma_2)^2 + (\Delta\sigma_3)^2$ 。

所谓“流变扰动效应”,是指岩石在一定应力状态下,受到外部扰动载荷(如放炮震动等)作用,而产生的流变变形。其扰动载荷一般是震动波,岩石对应的力学响应是流变增量。

1.2 岩石流变研究现状

近年来,岩石的流变试验得到了进一步的发展,取得了一些新的成果。李永盛、夏才初^[3,4]采用伺服刚性机对粉砂岩、大理岩、红砂岩和泥岩 4 种不同岩性的岩石进行了单轴压缩条件下的蠕变和松弛试验,指出在一定的常应力作用下,岩石材料一般都出现蠕变速率减小、稳定、增大三个阶段,各阶段的时间与所观测的岩石性质和所施加的应力水平有关。张向东等^[5]采用自制的重力杠杆式岩石蠕变试验机,对泥岩进行了三轴蠕变试验,指出软弱岩石的三轴蠕变呈非线性关系,其蠕变变形

量为瞬时变形量的 3 倍以上。金丰年^[6]利用伺服控制刚性试验机,采用应力反馈控制方法(stress-feedback loading method)获得了多种岩石单轴拉伸试验的完全应力-应变曲线,通过对岩石单轴拉伸、单轴压缩及其荷载速度效应和蠕变试验的研究,首次提出了岩石受拉和受压力学特征具有相似性的理论观点。山下秀等^[7]介绍了蠕变试验及疲劳试验与岩石破坏过程和普通的单轴压缩破坏之间的相关性,及岩石的蠕变极限和疲劳极限的研究结果。Xu Ping、夏熙伦^[8~10]对三峡花岗岩进行了单轴蠕变试验,给出了三峡花岗岩的蠕变经验公式,认为三峡花岗岩存在一个应力门槛值 σ_s 。当应力水平低于 σ_s 时,采用广义 Kelvin 模型来描述三峡花岗岩的蠕变特性;当应力水平高于 σ_s 时,采用西原模型来描述,并给出了相应的蠕变参数。Maranini E., Brignoli M.^[11]对 Pietra Leccese 石灰岩进行了单轴、三轴压缩蠕变试验,表明蠕变的机理主要为低围压下裂隙扩展和高应力下孔隙塌陷。

吴刚^[12]根据与工程实际相对应的原则,对红砂岩试样进行了 4 种类型的卸荷破坏试验。Sun Jun、Hu Y. Y.^[13]对三峡花岗岩进行的劈裂拉伸蠕变试验,表明蠕变拉伸强度与加载速率有关,文中还研究了水对拉伸蠕变特性的影响。李建林^[14]通过试验指出,当拉伸应力为岩石抗拉强度的 30% 时,流变变形可持续 6 个月以上。

试验表明^[15],岩石的弹性参数和蠕变参数并非定值,而是时间的函数;软岩的强度和弹模随时间的延长而降低,且变化规律具有相似性,这种现象可以用损伤力学的方法进行描述。孙钧^[16]介绍了多个岩石流变试验,并以试验为基础,研究了黏滞系数随加载应力和加载持续时间的变化规律。

邓广哲、朱维申^[17,18]通过试验得到了裂隙岩体强度弱化与裂隙扩展之间的基本关系,主裂纹的产生与时效扩展是间断裂隙岩体蠕变的内在机制,裂隙扩展和裂隙岩体蠕变都具有阶段阈值。陈有亮、孙钧^[19]在传统断裂力学基础上,引进时效特性,提出了判断岩石起裂的流变断裂准则以及裂纹时效扩展机理,分析了裂尖微裂区对断裂韧度的影响,并将非等距灰色理论用于岩石蠕变断裂时间预测。陈有亮、刘涛^[20]用三点弯曲试验方法对层状岩石的流变断裂特性进行了试验研究与理论分析,得到了岩石流变断裂准则。陈有亮^[21]以一类红砂岩为例对蠕变条件下岩石裂纹起裂和扩展的机理、准则进行了试验研究和理论分析,指出蠕变断裂韧度是岩石工程设计和计算的重要参数。张晓春、杨挺青、缪协兴^[22]综述评介了岩石裂纹(缺陷)演化及其力学特性研究的近期进展,内容包括微细观裂纹演化及其力学特性、时间相关性、裂纹扩展与岩石破坏,指出深部矿井由于岩石特性的软化,岩石流变损伤断裂的研究将是极为重要的领域。另外,杨更社^[23]、葛修润^[24,25]、任建喜^[26,27]等利用 CT(computerized tomography)技术对岩石蠕变破坏机理进行了较深入的研究,得到了岩石蠕变损伤演化的初步规律。

1.3 岩石流变扰动效应试验研究方法

1.3.1 岩石流变扰动效应试验方法

该试验的目的是测试岩石在一定应力状态下的流变扰动效应特性。试验仪器主要有岩石流变扰动效应试验仪和 MTS815.03 电液伺服岩石试验系统。试验步骤如下:

- (1) 制作岩石试件,并测试试件的声波速度,进行试件筛选;
- (2) 试验测定岩石的长期强度,试验测定岩石在三轴应力条件下的强度极限,绘出摩尔强度包络线;
- (3) 进行岩石流变性能试验测试;
- (4) 在岩石强度极限邻域内的不同应力状态下,试验测定岩石在一定扰动载荷能量 ΔW 作用下的流变扰动增量 $\Delta\epsilon$,进而建立岩石流变量与扰动量之间的函数关系。

1.3.2 岩石在强度极限邻域内的流变扰动效应理论研究

已有的岩石流变理论,主要有经验公式、组合元件和内时理论等,它们都是应变与时间的函数关系,尚没有关于在不同应力状态下扰动载荷产生的蠕变量的计算理论。

与已有的三类流变理论不同,拟建立的岩石流变扰动效应理论,其扰动流变值是扰动荷载和扰动次数的函数。通过试验成果分析,拟得出如下结论:①岩石强度极限邻域的范围;②流变扰动值 $\Delta\epsilon$ 与扰动荷载 ΔW 是线性关系,还是非线性关系;③流变扰动值 $\Delta\epsilon$ 与岩石应力状态的关系。初步分析认为:在岩石强度极限邻域内,岩石的应力状态越接近强度极限,其流变扰动效应值就越大。

第2章 岩石流变扰动效应试验仪的研制

2.1 岩石流变扰动效应试验仪的性能要求

2.1.1 岩石流变扰动效应试验仪的性能要求

(1) 轴向压力加载系统,能够施加足以使岩石试样达到极限强度的轴向载荷,在流变试验过程中轴向载荷能够保持压力稳定不变。

(2) 轴向压力加载系统刚度远大于岩石试样的刚度。

(3) 轴向压力加载系统,能够实现过度变形位移控制,以避免试样失稳破坏时发生冲击载荷。

(4) 在三轴压力流变及其扰动效应试验过程中,围压应保持较高精度的恒定。

(5) 加载载荷测量系统,应具有较高测量精度和良好的稳定性,要求其标定测量精度达到 0.01N 级。

(6) 试验用应变和位移测量系统,应具有较高的测量精度和良好的稳定性,位移测量精度应达到 μm 级,应变测量精度应达到 $\mu\epsilon$ 级(微应变级)。

2.1.2 岩石流变扰动效应试验仪的结构要求

为满足岩石流变及其扰动效应的试验要求,岩石流变扰动效应试验仪应由如下 5 个部分组成。

(1) 轴向恒载加压系统:用以实现对试件的轴向恒载长期加压。

(2) 围压恒载三轴压力箱:在整个试验周期内,实现对试样施加恒定的围压,并能够实现对试件的变形测量,即能将变形传感器置于三轴压力箱之内。

(3) 扰动载荷施加系统:能够产生多种形式的扰动载荷,以具备进行岩石流变扰动效应试验的功能。

(4) 变形测试系统:由应变片、应变仪、千分表等组成,能够实现对岩石试件轴向及横向变形的测量。

(5) 载荷测试系统:由钢弦式压力传感器和应变仪测力计等组成,能够实现对岩石试件所加载荷的测量。

岩石流变扰动效应试验仪的整体组成如图 2.1 所示。

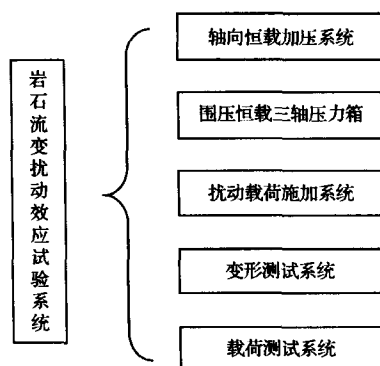


图 2.1 岩石流变扰动效应测试仪的整体组成

2.1.3 岩石流变扰动效应测试仪的设计依据

- (1) 岩石试件的极限应力： $\sigma_0 = 80\text{MPa}$ ；
- (2) 岩石试件的横向断面面积： $A = 3.14 \times 50^2 / 4 = 1962.5\text{mm}^2$ ，设计按 $A = 25\text{cm}^2$ ；
- (3) 岩石试样的极限载荷： $P_0 = A \times \sigma_0 = 25 \times 100 \times 80 = 200\,000(\text{N}) = 20(\text{T})$ ；
- (4) 试样轴向长度： L 为 $100 \sim 150\text{mm}$ ；
- (5) 试样在试验室中的最大轴向变形量 $\Delta L_{\max} \leq 1.5\text{mm}$ ；
- (6) 轴向载荷传感器（压力盒）的直径 $\varphi = 160\text{mm}$ ；轴向长度 L 为 120mm ；
- (7) 应变测量用应变片和应变仪，位移测量采用千分表测量。

测试仪设计时要考虑压力盒、千分表、三轴箱等的安装空间和试件的安装调整空间。

2.2 轴向重力载荷扩力方案设计

根据岩石流变扰动效应测试仪的性能要求与设计依据，提出了盘轮与偏心轮机构两级扩力系统方案，该扩力系统如图 2.2 所示，偏心轮机构的偏心距取 $e = 5\text{mm}$ ；盘轮直径取 $D = 600\text{mm}$ ；连杆长 $l = 300\text{mm}$ 。

2.2.1 扩力比的计算分析

1. 滑块压头 B

滑块压头 B 受力如图 2.2(b) 所示，由滑块 B 的平衡条件可知

$$F = Q / \cos \alpha \quad (2.1)$$

由图 2.2(a) 中的几何关系得

$$\left. \begin{aligned} l \sin \alpha &= e \sin \varphi \\ \sin \alpha &= \frac{e}{l} \sin \varphi \\ \cos \alpha &= \sqrt{1 - \left(\frac{e}{l} \sin \varphi \right)^2} \\ F &= \frac{Q}{\sqrt{1 - \left(\frac{e}{l} \sin \varphi \right)^2}} \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

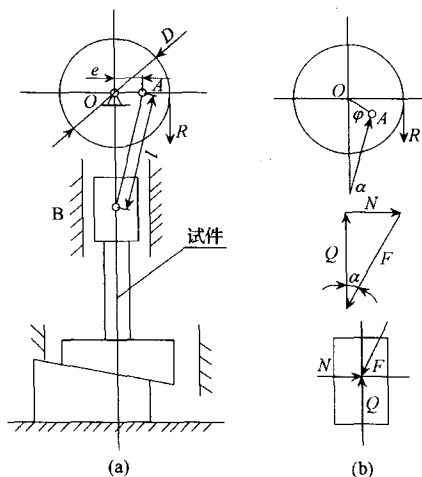


图 2.2 盘轮、偏心轮两级扩力机构运动简图及受力分析

2. 盘轮及偏心轮机构

盘轮及偏心轮机构的受力图 2.2(b)所示,根据平衡方程

$$\sum m_0(\bar{F}_i) = 0$$

$$F \cdot e \cos(90^\circ - \alpha - \varphi) = R \cdot \frac{D}{2} \quad (2.3)$$

将式(2.2)代入式(2.3)整理得

$$Q = R \frac{D \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{e}{l} \sin \varphi \right)^2}}{2e \sin(\alpha + \varphi)} \quad (2.4)$$

若 $\varphi = 90^\circ$, 则

$$\sin(\alpha + \varphi) = \cos \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{e}{l} \right)^2}$$

式中: α 为连杆与轴线之间的夹角; φ 为偏心轴与轴线之间的夹角。

$$\text{从而得} \quad K = \frac{Q}{R} = \frac{D}{2e} = 60 \quad (2.5)$$

即轴向重力载荷的扩力比为 60 倍。

3. 扩力比变化范围

加力系统工作时, φ 角的变化范围是 $(90^\circ - 10^\circ, 90^\circ + 10^\circ)$, φ 角的变化势必造成扩力比的变化, 现验算其变化范围:

当 $\varphi = 90^\circ \pm 10^\circ$ 时: $l \sin \alpha = e \cos 10^\circ$

$$\sin \alpha = \frac{e}{l} \cos 10^\circ = \frac{5}{300} \times \cos 10^\circ = 0.016\,413\,462$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = 0.999\,865\,29$$

当 $\varphi = 90^\circ + 10^\circ$ 时:

$$\sin(\alpha + \varphi) = \cos(\alpha + 10^\circ) = \cos \alpha \cos 10^\circ - \sin \alpha \sin 10^\circ = 0.981\,824\,921$$

$$\text{扩力比: } K = \frac{D \sqrt{1 - \left(\frac{e}{l} \cos 10^\circ\right)^2}}{2e \cdot 0.981\,824\,921} = \frac{D}{2e} \times 1.018\,374\,324$$

当 $\varphi = 90^\circ - 10^\circ$ 时:

$$\sin(\alpha + \varphi) = \cos(\alpha - 10^\circ) = \cos \alpha \cos 10^\circ + \sin \alpha \sin 10^\circ = 0.987\,525\,257$$

$$\text{扩力比: } K = \frac{D \sqrt{1 - \left(\frac{e}{l} \cos 10^\circ\right)^2}}{2e \cdot 0.987\,525\,257} = \frac{D}{2e} \times 1.012\,495\,917$$

由上述计算得出结论: 当 φ 在 $(90^\circ - 10^\circ, 90^\circ + 10^\circ)$ 范围内变化时, 扩力比变化的相对误差的最大值是

$$\Delta K_{\max} = \frac{K_{\max} - K}{K} = \frac{D/2e(1.018\,374\,324 - 1)}{D/2e} = 0.018\,374\,324 \leq 2\%$$

即轴向重力荷载扩力比变化的相对误差小于或等于 2%, 完全满足试验精度要求。

2.2.2 位移及行程的计算

根据图 2.2 的几何关系可知, 滑块压头的运动方程为

$$S = e \cos \varphi + l \cos \alpha = e \cos \varphi + l \sqrt{1 - \left(\frac{e}{l} \sin \varphi\right)^2} \quad (2.6)$$

当 $\varphi = 90^\circ \pm 10^\circ$ 范围内变化时, 压头的行程可按下式计算:

$$\begin{aligned} \Delta S &= \left[e \cos 80^\circ + l \sqrt{1 - \left(\frac{e}{l} \sin 80^\circ\right)^2} \right] - \left[e \cos 100^\circ + l \sqrt{1 - \left(\frac{e}{l} \sin 100^\circ\right)^2} \right] \\ &= 2e \sin 10^\circ = 10 \sin 10^\circ = 1.74 \text{ mm} \end{aligned}$$

因为一般岩石破坏时的应变都小于 1%, 所以 ΔS 为 1.74mm 完全满足长度为 100mm 试件的蠕变试验的要求。

2.2.3 关键零件强度计算

(1) 偏心轴的强度计算, 将偏心轴按受力及支撑情况简化为两端外伸的外伸梁, 受力按加载时的最大载荷计算, $p = 2\text{kN}$, $m_1 = m_2 = 0.6\text{kN} \cdot \text{m}$, $M = 1.2\text{kN} \cdot \text{m}$; 其轴向跨度尺寸如图 2.3 所示, 根据受力模型计算出其支撑反力后画出其受力图、扭矩图、剪力图、弯矩图和当量弯矩图如图 2.3 所示。

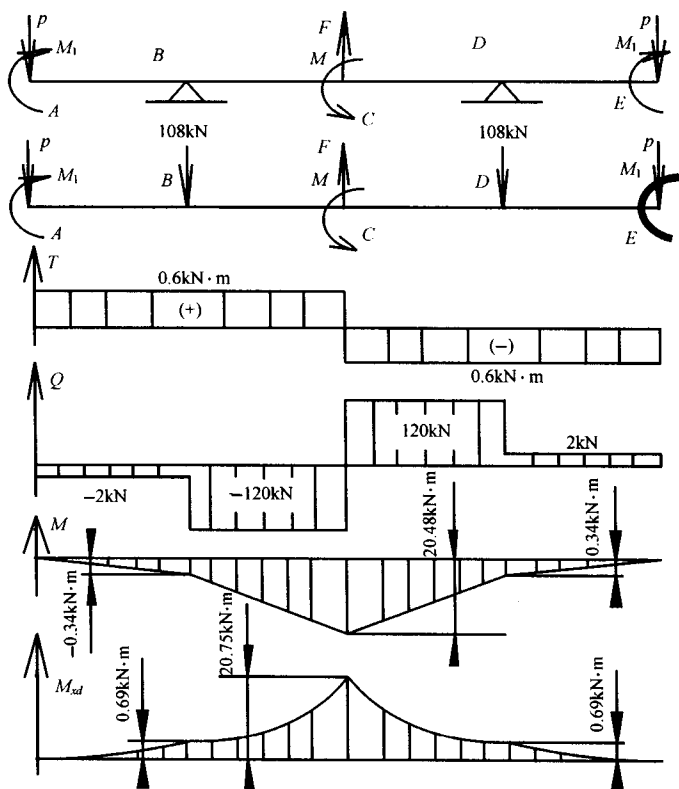


图 2.3 偏心主轴内力图

由图 2.3 可知, 截面 C 是危险截面, $M_{xd} = 20.7487\text{kN} \cdot \text{m}$

$$\sigma = \frac{M_{xd}}{W} \leq [\sigma] = 120$$

$$W = \frac{\pi d^3}{32} \geq \frac{M_{xd}}{120}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32M_{xd}}{120\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 \times 20.7487 \times 10^6}{120 \times 3.14}} \approx 120.78\text{mm}$$

式中: σ 为偏心轴的应力; W 为偏心轴的抗弯系数; M_{xd} 为偏心轴的当量弯矩; $[\sigma]$ 为偏心轴的许用应力; d 为偏心轴的直径。考虑到强度储备及构件的刚度要求, 取

$d=126\text{mm}$ 。

(2) 压头传力销轴的强度计算,其力学模型可简化为如图 2.4 所示的受力模型,强度设计可按剪切强度进行计算,即

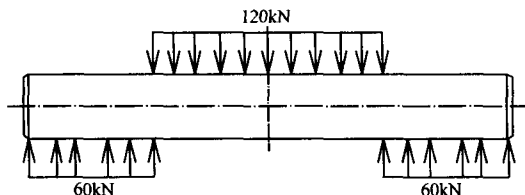


图 2.4 销轴受力图

$$\tau = \frac{Q_{\max}}{A} = \frac{4 \times 60 \times 10^3}{\pi d^2} \leq [\tau]$$

取 45 号钢的许用剪切应力为: $[\tau]=100\text{MPa}$

则

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \times 60 \times 10^3}{100\pi}} = 27.65\text{mm}$$

式中: τ 为压头传力销轴的剪切应力; $Q_{\max}$ 为压头传力销轴的最大剪切应力; A 为压头传力销轴的横截面积; $[\tau]$ 为压头传力销轴的许用剪切应力; d 为压头传力销轴的直径。考虑到刚度及结构的要求,取 $d=40\text{mm}$ 。

(3) 其余零件的强度刚度设计比较简单,根据类比法及结构要求进行设计。

2.2.4 加载系统总装图设计

根据选定的传动方案和强度计算中确定的关键零件的强度所需的截面尺寸,设计出加载系统的总装图,如图 2.5 所示。

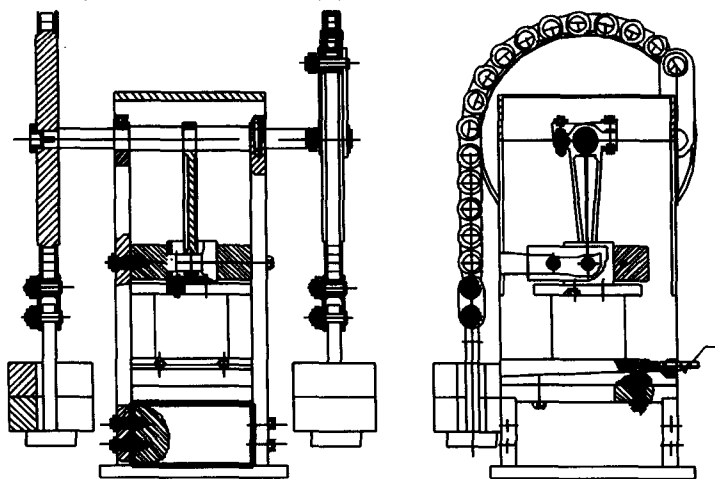


图 2.5 加载系统总装图

2.3 试验仪三轴压力箱结构设计

2.3.1 三轴压力箱及应力应变测量系统的基本要求

该试验仪要用于测试岩石流变的扰动效应,试验周期长,三轴压力箱压力必须具有良好的稳定性,应满足如下要求:

- (1) 三轴压力箱应能实现在整个试验周期内保持压力恒定或变化微量;
- (2) 三轴压力箱的结构,便于岩石试件的应力应变测试;
- (3) 应力应变系统的温度漂移和时间漂移应很小,达到试验精度的要求。

2.3.2 三轴压力箱及应力应变测试系统的整体设计

根据三轴压力箱及应力应变测试系统的要求,提出液、气压驱动三轴压力箱的系统整体方案如图 2.6 所示;根据该方案设计出液、气压驱动三轴压力箱,如图 2.7 至图 2.9 所示。

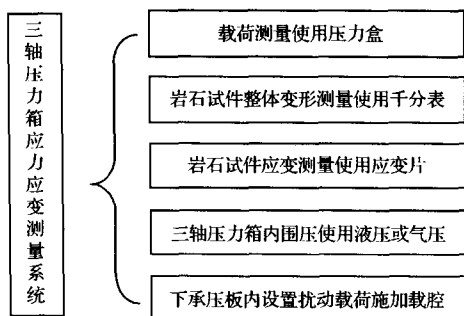


图 2.6 三轴压力箱及应力应变测试系统的整体设计

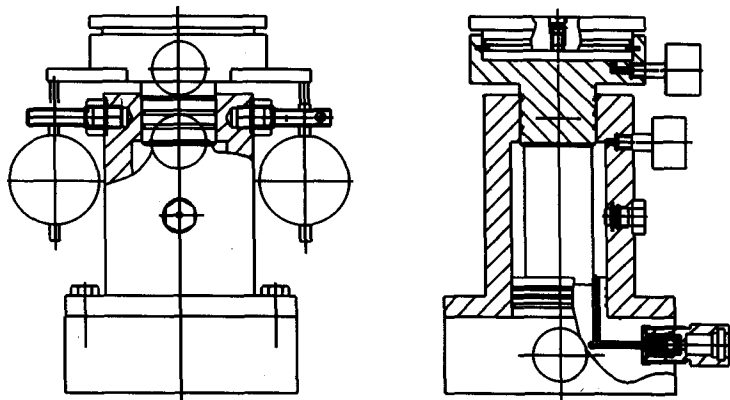


图 2.7 液压三轴箱的总装图

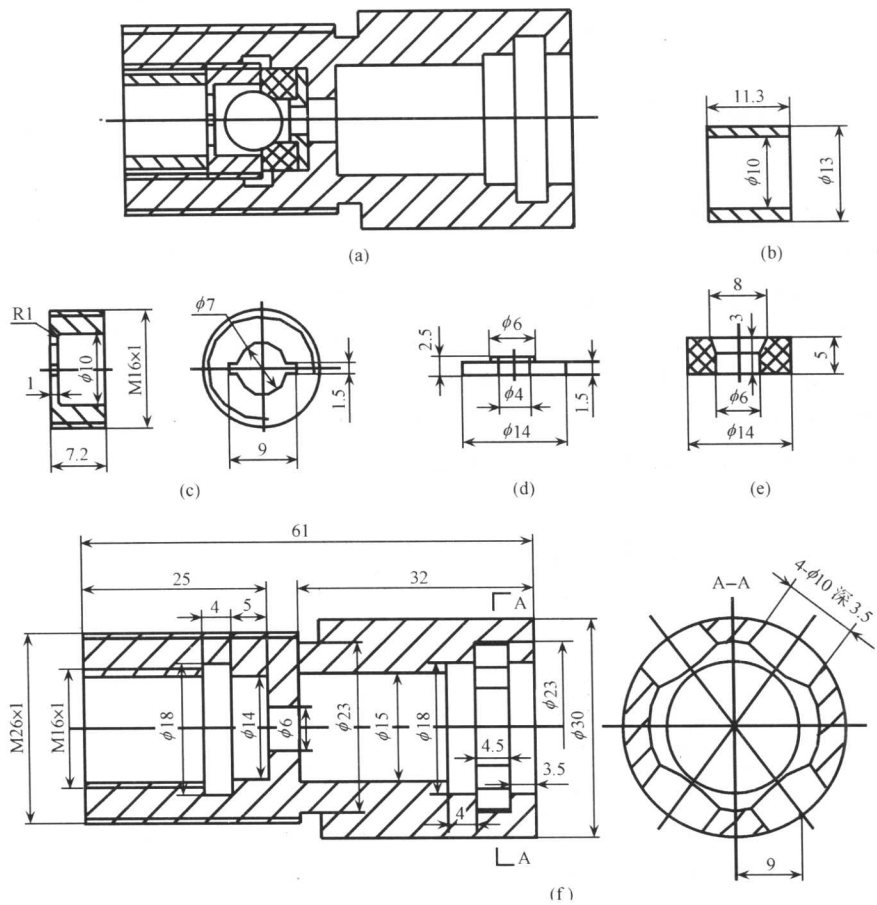


图 2.8 液压三轴箱零件图(单位:mm)

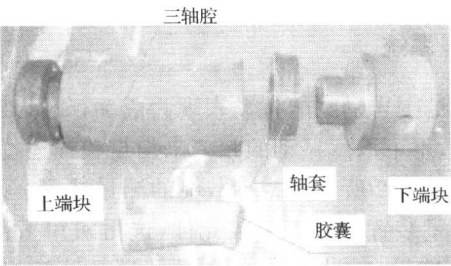


图 2.9 气压三轴箱的图片

2.4 扰动载荷加载方式及其测试系统

2.4.1 扰动加载方式

采矿工程和隧道工程中的围岩所受到的扰动主要来自与掘进时的放炮和采场覆岩运动,在这些扰动下地下工程中不同深度的围岩将产生不同程度的持续的扰动变形。

为了使岩石流变扰动效应试验成果更接近工程实际,确定扰动加载的方式采用两种形式:其一是在三轴压力箱底座中留出模拟爆炸扰动载荷的加载腔,如图 2.10(a)所示的三轴箱底部的圆孔,在该加载腔中实施模拟爆破加载,以模拟现实巷道开拓施工中的放炮扰动;其二是在上承压板或加载砝码之上,采用下落钢环或砝码形成重力冲击载荷,如图 2.10(b)所示。

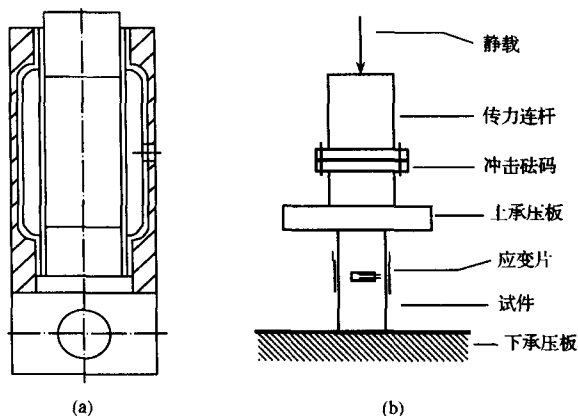


图 2.10 扰动加载方式示意图

2.4.2 扰动载荷测量系统

工程实际中的巷道围岩受到的扰动表现为震动,如爆破所产生震动波等,可用振幅描述扰动的强弱,用下承压振动的频率来衡量和描述扰动的频率特性。因此,选择了如图 2.11 和图 2.12 所示的扰动载荷的测量装置。扰动测量装置中选用测振型速度传感器为测量装置的数据采集元件,选用四川拓普数字设备有限公司的 TOPBOX-508 型振动信号自记仪作数据处理和记录设备。通过数据采集传感器将被测量的物理量垫板的振幅和振动的频率转换为电信号,经过适当地放大后输入到由微型电脑芯片控制的信号处理和记录装置进行处理和记录,通过触发控制最终输出特定测量时段的扰动载荷的波形、振幅和频率等参数。该扰动测量装置的整