



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102140924 B

(45) 授权公告日 2012. 11. 28

(21) 申请号 201110034513. 0

(22) 申请日 2011. 02. 09

(73) 专利权人 中国矿业大学

地址 221116 江苏省徐州市南三环路中国矿业大学科技处

(72) 发明人 李冲 徐金海 卢爱红 周保精
张连英 万世文 吴锐 李明
李凯

(74) 专利代理机构 江苏圣典律师事务所 32237
代理人 程化铭

(51) Int. Cl.

E21D 21/00(2006. 01)

E21D 11/10(2006. 01)

E21D 9/14(2006. 01)

(56) 对比文件

JP 2011012490 A, 2011. 01. 20,

JP 2009154400 A, 2009. 07. 16,

CN 101906977 A, 2010. 12. 08,

CN 1594835 A, 2005. 03. 16,
CN 101235719 A, 2008. 08. 06,
CN 1306150 A, 2001. 08. 01,
CN 101749034 A, 2010. 06. 23,
盖建平等. 高应力巷道锚网壳支护技术研究. 《煤炭工程》. 2008, (第 5 期),
赵华玮等. 极软岩巷道耦合支护技术研究. 《矿山压力与顶板管理》. 2005, (第 2 期),
马春明等. 鹤煤九矿深部岩巷支护技术探讨. 《建井技术》. 2008, 第 29 卷 (第 1 期),

审查员 王丽

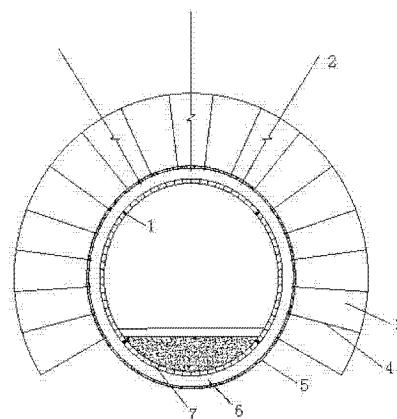
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 2 页

(54) 发明名称

深部软岩巷道双壳耦合支护方法

(57) 摘要

一种深部软岩巷道双壳耦合支护方法, 采用预应力短锚杆全长锚固加固巷道围岩, 使巷道浅部围岩形成具有不小于 1m 厚度的岩壳, 利用预留变形层的足够空间充分转化深部高应力能和膨胀变形能; 最大限度发挥塑性区承载能力。在巷道变形过程中, 对首先发生不连续变形或破坏的区域安装预应力锚索支护, 通过巷道表面位移的监测分析, 判定锚索支护的最佳时间。通过锚索支护作用使应力集中区向围岩深部转移, 减小围岩应力集中对岩壳的破坏, 最后架上三维网壳支架, 喷射混凝土, 使网壳与岩壳在强度、结构、刚度上完全耦合, 实现一次成巷全封闭双壳耦合支护。实现了深部软岩巷道工程稳定性的有效控制, 其方法简单、易行, 安全经济, 支护效果好。



1. 一种深部软岩巷道双壳耦合支护方法,其特征在于,包括以下步骤:

a. 根据巷道围岩特性,通过力学分析、物理相似模拟试验及有限元数值模拟确定预留变形层(6)的厚度(H):

$$H = \frac{P_0 r_0}{2} \left[\frac{P_0 (1 - \sin \varphi)}{C \cos \varphi + P_1} \right]^{\frac{1 - \sin \varphi}{2 \sin \varphi}} \left[\frac{P_0 \sin \varphi + C \cos \varphi}{(1 - 2\mu) P_0 + P_0 \sin \varphi + C \cos \varphi} \right] \left[\frac{1}{G_0} e^{-\frac{t}{\tau_0}} + \frac{1}{G_\infty} (1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}}) \right] \left[\sin \varphi + \frac{C}{P_0} \cos \varphi + (1 - 2\mu) \right]$$

式中: H 为预留变形层(6)的厚度, C 为围岩体的内聚力, φ 为内摩擦角, η_{ms} 为围岩松弛时间, t 为围岩滞后变形时间, G_0 为围岩瞬时变形模量, G_∞ 为长期剪切变形模量, μ 为围岩泊松比, r_0 为巷道半径, P_1 为一次支护强度, P_0 为原岩应力;

b. 根据井下运输、通风、设备安装的要求确定巷道设计的毛断面尺寸,根据巷道设计的毛断面尺寸设计三维网壳支架(7);

c. 根据预留变形层(6)的厚度(H)及巷道设计的毛断面尺寸确定巷道掘进预备空间断面尺寸;

d. 开挖巷道掘进预备空间,巷道掘进预备空间的断面尺寸大于巷道设计的毛断面尺寸,在巷道掘进预备空间断面与巷道设计毛断面之间形成预留变形层(6);

e. 采用预应力短锚杆(4)对开挖出的巷道进行锚喷支护,使巷道浅部围岩形成一定厚度的岩壳(3),预应力短锚杆(4)全长锚固,其间排距为0.4m~0.6m;

f. 对锚喷支护的巷道进行围岩变形观测,待锚喷支护的巷道围岩变形量达到预留变形层(6)的厚度(H)的70%时,开始加打预应力锚索(2)对岩壳(3)进行加固,然后架设三维网壳支架(7);

g. 待巷道围岩变形量达到预留变形层(6)的厚度(H)时,对架设的三维网壳支架(7)喷射混凝土,形成钢筋网壳衬砌结构,完成双壳耦合支护。

2. 根据权利要求1所述的深部软岩巷道双壳耦合支护方法,其特征在于:所述一定厚度的岩壳(3)不小于1m。

3. 根据权利要求1所述的深部软岩巷道双壳耦合支护方法,其特征在于:所述预应力短锚杆的长度为1~1.5m。

4. 根据权利要求1所述的深部软岩巷道双壳耦合支护方法,其特征在于:所述三维网壳支架(7)喷射的混凝土厚度为140~150mm。

5. 根据权利要求1所述的深部软岩巷道双壳耦合支护方法,其特征在于:所述的预应力短锚杆(4)的预紧力为20kN~70kN。

深部软岩巷道双壳耦合支护方法

技术领域

[0001] 本发明涉及深部软岩巷道双壳耦合支护方法,尤其适用于构造复杂区域以及深部复合型软岩巷道的支护。

背景技术

[0002] 深部巷道工程岩体开挖后处于塑性大变形阶段,深部的岩体处于“三高”状态(即高地应力、高温、高孔隙水压力),地质条件恶化,在浅部开采基础上发展起来的传统支护理论、设计方法及技术难以适应深部软岩巷道支护的要求。目前深部软岩巷道常常出现“前掘后修,重复翻修”的现象,维护费用高,锚杆长度过长,造成浪费。能否解决深部软岩巷道的支护难题,是我国煤炭开采向深部发展和安全生产的关键问题之一。深部软岩巷道采用传统 U 型钢、工字钢支护、锚网索或锚注支护难以满足生产的需求,采用一般的耦合支护形式(锚网索耦合、锚网索 U 型钢架耦合等)其支护费用高,支护效果不理想,往往不是钢架被压坏,就是钢架支护作用失效。其主要原因是支护体之间以及支护体与围岩之间出现刚度、强度和结构不耦合,造成巷道变形加剧,难以控制。

发明内容

[0003] 技术问题:本发明的目的是针对已有技术中存在的问题,提供一种方法简单、经济、安全、能够一次成巷的深部软岩巷道双壳耦合支护方法。

[0004] 技术方案:本发明是通过以下技术措施实现的:

[0005] 1. 一种深部软岩巷道双壳耦合支护方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0006] a. 根据巷道围岩特性,通过力学分析、物理相似模拟试验及有限元数值模拟确定预留变形层的厚度(H):

$$[0007] \quad H = \frac{P_0 r_0}{2} \left[\frac{P_1 (1 - \sin \varphi)}{C \cos \varphi + P_1} \right]^{\frac{1 - \sin \varphi}{2 \sin \varphi}} \left[\frac{P_1 \sin \varphi + C \cos \varphi}{P_1 \sin \varphi + C \cos \varphi} \right] \left[\frac{1}{G_0} e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{1}{G_\infty} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \right] [\sin \varphi + \frac{C}{P_1} \cos \varphi + (1 - 2\mu)] \quad (1)$$

[0008] 式中: H 为预留变形层的厚度, C 为围岩体的内聚力, φ 为内摩擦角, τ_{rel} 为围岩松弛时间, t 为围岩滞后变形时间, G_0 为围岩瞬时变形模量, G_∞ 为长期剪切变形模量, μ 为围岩泊松比, r_0 为巷道半径, P_1 为一次支护强度, P_0 为原岩应力;

[0009] b. 根据井下运输、通风、设备安装的要求确定巷道设计的毛断面尺寸,根据巷道设计的毛断面尺寸设计三维网壳支架;

[0010] c. 根据预留变形层的厚度 H 及巷道设计的毛断面尺寸确定巷道掘进预备空间断面尺寸;

[0011] d. 开挖巷道掘进预备空间,巷道掘进预备空间的断面尺寸大于巷道设计的毛断面尺寸,在巷道掘进预备空间断面与巷道设计毛断面之间形成预留变形层;

[0012] e. 采用预应力短锚杆对开挖出的巷道进行锚喷支护,使巷道浅部围岩形成一定厚度的岩壳,预应力短锚杆全长锚固,其间排距为 $0.4\text{m} \sim 0.6\text{m}$;

[0013] f. 对锚喷支护的巷道进行围岩变形观测,待锚喷支护的巷道围岩变形量达到预留变形层的厚度的 70% 时,开始加打预应力锚索对岩壳进行加固,然后架设三维网壳支架;

[0014] g. 待巷道围岩变形量达到预留变形层厚度时,对架设的三维网壳支架喷射混凝土,形成钢筋网壳衬砌结构,完成双壳耦合支护。

[0015] 所述一定厚度的岩壳不小于 1m;所述预应力锚杆的长度为 1 ~ 1.5m;所述三维网壳支架喷射混凝土的厚度为 140 ~ 150mm;所述预应力短锚杆的预紧力为 20 kN ~ 70kN。

[0016] 有益效果:本发明针对构造复杂区域以及深部复合型软岩巷变形大、压力大、节理化的特性,采用双壳耦合支护,通过预应力短锚杆全长锚固加固巷道围岩,使巷道浅部围岩形成一个不小于 1m 厚度的三向受压区域,即岩壳。由于深部软岩巷道变形大,不能用支架硬顶,必须释放一定的压力,本着“先柔后刚,柔让适度”的支护原则,预留一定的变形空间,允许巷道围岩变形但不产生松动破坏,利用预留变形空间充分转化深部高应力能和膨胀变形能;最大限度发挥塑性区承载能力。通过各支护体之间的耦合以及支护体与围岩之间的耦合,对深部软岩巷道进行双壳耦合支护,即网壳与岩壳耦合,充分利用围岩的自承能力,同时又最大程度发挥各个支护体的作用,使各个支护体之间及支护体与围岩之间在强度、刚度、结构上实现耦合,即网壳支架与岩壳在强度、刚度、结构实现双壳耦合支护。实现了深部软岩巷道工程稳定性的有效控制,适用于构造复杂区域以及深部软岩地下工程,特别是煤矿井下复合型软岩巷道的支护,节约了工程支护材料,降低了施工成本,减少浪费。其方法简单、易行,安全经济,支护效果好,具广泛的实用性。

附图说明

[0017] 图 1 是本发明的双壳耦合支护布置示意图。

[0018] 图 2 是本发明的全封闭三维网壳支架支护结构立体示意图。

[0019] 图 3 是本发明的三维网壳支架横截面结构示意图。

[0020] 图 4 是本发明的三维网壳支架平面图结构示意图。

[0021] 图 5 是本发明的每榀网壳构件结构示意图。

[0022] 图 6 是本发明的巷道变形量与变形时间关系曲线图。

[0023] 图中:1—联接板,2—预应力锚索,3—岩壳,4—预应力短锚杆,5—初喷层,6—预留变形层,7—三维网壳支架,8—每榀网壳构件,9—横向桥形架。

具体实施方式

[0024] 下面结合附图对本发明的实施例作进一步的描述:

[0025] 图 1 所示,本发明的深部软岩巷道双壳耦合支护方法,主要是控制深部高应力、节理化、膨胀型软岩巷道的稳定性,例如某矿运输大巷断面形状为椭圆形,采用锚网索 +U₃₆ 型钢联合支护时,巷道变形、破坏严重;大巷埋深 850m,位于井底车场的南部,在由断层形成的地堑构造内,大巷围岩主要为黑色泥岩和深灰色泥质砂岩,也有灰色粉砂岩、细砂岩和灰岩等,呈破裂结构,节理、层理、软弱夹层发育,属于高应力、强膨胀、节理化的复合型软岩。具体实施步骤如下:

[0026] 1、预留变形层 6 的厚度确定:

[0027] 根据巷道围岩地质力学测试及岩石物理力学实验,得到巷道围岩特征参数,建立

力学模型推导出预留变形层 6 的厚度 H 的计算式,

$$[0028] \quad H = \frac{P_0 r_0}{2} \left[\frac{P_0 (1 - \sin \varphi)}{C \cos \varphi + P_1} \right]^{\frac{1 - \sin \varphi}{2 \sin \varphi}} \left[\frac{P_1 \sin \varphi + C \cos \varphi}{(1 - 2\mu) P_0 + P_1 \sin \varphi + C \cos \varphi} \right] \left[\frac{1}{G_0} e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{1}{G_\infty} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \right] [\sin \varphi + \frac{C}{P_0} \cos \varphi + (1 - 2\mu)] \quad (1)$$

[0029] 式中： H 为预留变形层 6 的厚度(m)； C ， φ 分别为围岩体的内聚力，MPa 和内摩擦角(度)； τ_{rel} 为围岩松弛时间； t 为围岩滞后变形时间； G_0 ， G_∞ 为分别为围岩瞬时和长期剪切变形模量(MPa)； μ 为围岩泊松比； r_0 为巷道半径(m)； P_1 为一次支护强度(MPa)； P_0 为原岩应力(MPa)；

[0030] 2、根据井下运输、通风、设备安装的要求确定巷道设计的毛断面尺寸，根据巷道设计的毛断面尺寸设计三维网壳支架 7；

[0031] 3、根据预留变形层 6 的厚度 H 及巷道设计的毛断面尺寸确定巷道掘进预备空间断面尺寸；巷道掘进预备空间断面的半径等于预留变形层 6 的厚度 H 加上巷道设计的毛断面半径；

[0032] 4、开挖巷道掘进预备空间，巷道掘进预备空间的断面尺寸大于巷道设计的毛断面尺寸，在巷道掘进预备空间断面与巷道设计毛断面之间形成预留变形层 6；

[0033] 5. 采用预应力短锚杆 4 对开挖出的巷道进行锚喷支护，使巷道浅部围岩形成厚度不小于 1m 的岩壳 3，预应力短锚杆 4 全长锚固，其间排距为 0.4m~0.6m，预应力锚杆的长度为 1~1.5m；预应力短锚杆 4 的预紧力为 20 kN~70kN；

[0034] 预应力短锚杆 4、预应力锚索 2 支护参数的确定：根据地应力测量结果分析，得到围岩所受应力状态，通过煤岩力学试验，得到围岩特性参数，通过观察及钻孔窥视结果分析，清楚巷道围岩结构。再结合模拟实验及现场实测分析，得出软岩巷道围岩变形破坏规律，根据围岩结构特点、强度、应力状态及变形破坏规律，通过理论分析，数值模拟、相似模拟确定合理预应力短锚杆 4 支护参数(预应力短锚杆 4 杆体为 22 # 左旋无纵筋螺纹钢，杆尾螺纹 M24，预应力短锚杆 4 长度 1.0m~1.5m，间排距 0.4m~0.6m，预应力短锚杆 4 杆体直径 18mm~25mm，锚杆预紧力为 20 kN~70kN；采用高强锚杆螺母 M24，配合高强托板调心球垫和尼龙垫圈，托盘采用拱形高强度托盘，托盘大小 100mm×100mm×10mm~150mm×150mm×10mm、全长锚固，初喷层 5 的厚度 60mm)。通过预应力短锚杆 4 全长锚固加固复原巷道围岩性质，使巷道围岩形成不小于 1m 厚的岩壳 3。根据具体围岩结构、强度选择预应力锚索 2 支护参数。

[0035] 6. 对锚喷支护的巷道进行围岩变形观测，待锚喷支护的巷道围岩变形量达到预留变形层 6 的厚度 H 的 70% 时，开始加打预应力锚索 2 对岩壳 3 进行加固，然后架设三维网壳支架 7；网壳支架 7 喷射的混凝土厚度为 140~150mm；

[0036] 预应力锚索 2 支护关键部位及最佳支护时间的确定：首先发生不连续变形或破坏的区域就是预应力锚索 2 支护关键部位。通过对巷道围岩变形特征的分析，根据围岩的裂纹扩展特征确定支护关键部位；巷道围岩在出现明显变形之前，通常在局部位置出现微裂纹和高应力腐蚀等现象，可以推断裂纹产生的部位和高应力腐蚀的准确部位，进而确定预应力锚索 2 支护关键部位；如图 6 所示，在现场施工中，通常根据位移 - 时间 ($U-t$) 曲线进行判定，通过对巷道表面位移的监测，可以判定巷道表面位移变化速率由快到趋于平缓的拐点作为预应力锚索 2 的最佳支护时间；巷道表面各点变形量达到预留变形层 6 的厚度 H

的 70% 时,即进入耦合支护的时间。

[0037] 7. 待巷道围岩变形量达到预留变形层 6 的厚度 H 时,对架设的三维网壳支架 7 喷射混凝土,形成钢筋网壳衬砌结构,三维网壳支架 7 设计及永久喷层厚度:

[0038] 如图 2 所示,三维网壳支架 7 由数榀网壳构件 8 组成,每榀网壳构件 8 之间用螺栓通过联接板 1 联接。每榀网壳构件 8 纵截面为拱形,如图 5 所示,将各种钢筋组合成双层网壳,用较少的钢材构成空间稳定性很强的承载结构。三维网壳支架 7 由四榀网壳构件 8 组成,两端各焊接一块带螺栓孔的联接板 1,两榀网壳构件 8 拼装时用 $\phi 24$ 螺栓进行联接,联接板 1 厚 50mm。如图 3、4 所示,每榀网壳构件 8 有 9 根纵向钢筋,在构件横截面内分成 3 组,3 根为 1 组,均按三角形布置。布置成 3 个三角形的 9 根纵钢筋由横向桥形架 9 连成整体。1#、2#、5#、6# 纵骨筋采用 $\phi 12$ 圆钢,3#、4#、8# 纵骨筋采用 $\phi 14$ 圆钢,7#、9# 弦杆采用 $\phi 24$ 圆钢,横向桥形架 9 各联筋采用 $\phi 8$ 圆钢。每榀网壳构件 8 的宽度为 800mm,纵骨筋之间间距 160mm,三维网壳支架 7 的厚度 120mm,根据巷道设计的毛断面确定每榀网壳构件 8 的长度,三维网壳支架 7 至少要保持 20mm 厚的喷层保护,永久喷层厚度为 140mm~150mm。

[0039] 整个施工工艺过程:按照巷道爆破成形→挑顶刷帮、保证巷道有良好的成形→临时支护→锚网支护→初喷混凝土→巷道表面位移的监测→形成柔性喷层→按设计间排距打预应力锚索 2 →上两帮网壳→上顶网壳→上底网壳→矿压观测→复喷混凝土至覆盖三维网壳支架 7 钢筋,并保持至少 20mm 厚的保护层→形成钢筋网壳衬砌结构,形成全封闭双壳耦合支护。

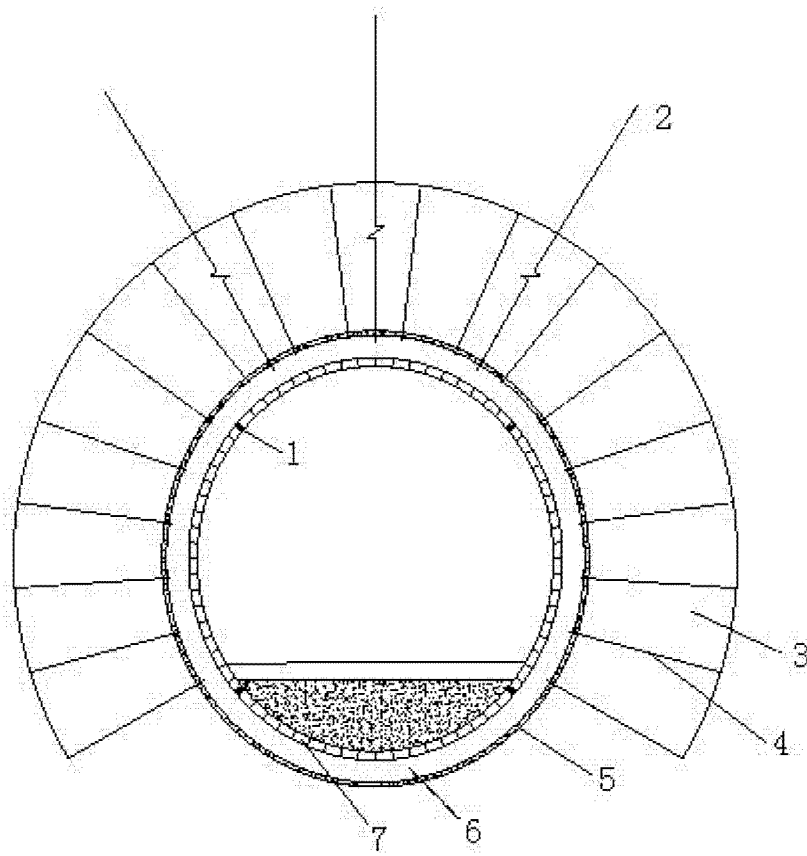


图 1

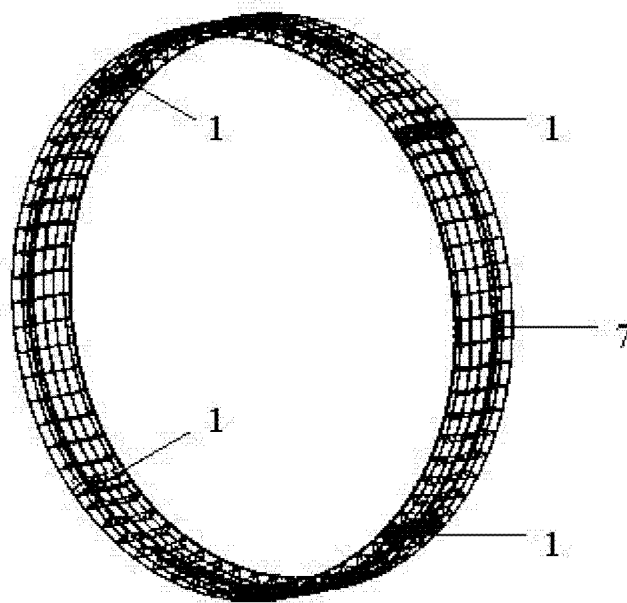


图 2

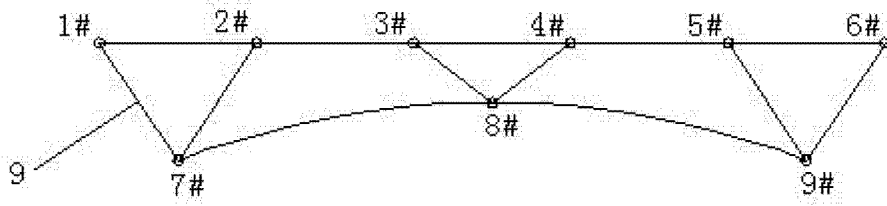


图 3

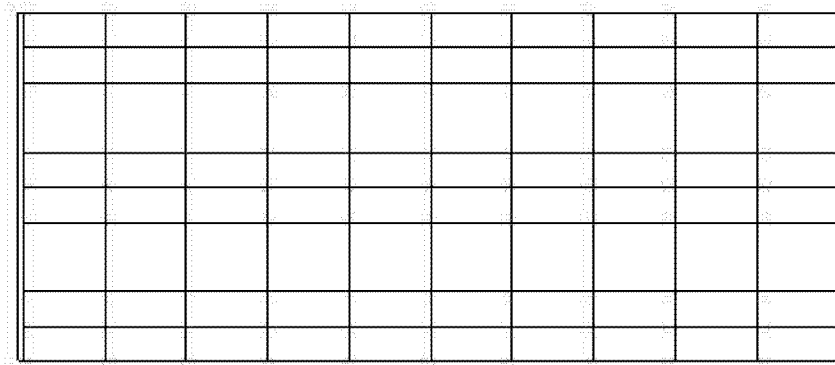


图 4

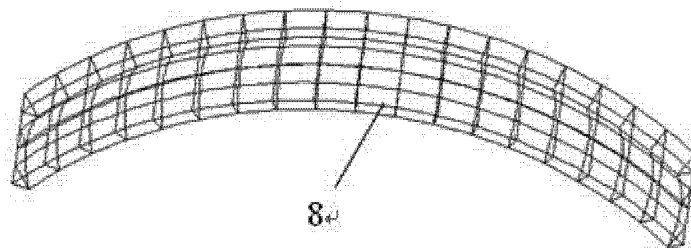


图 5

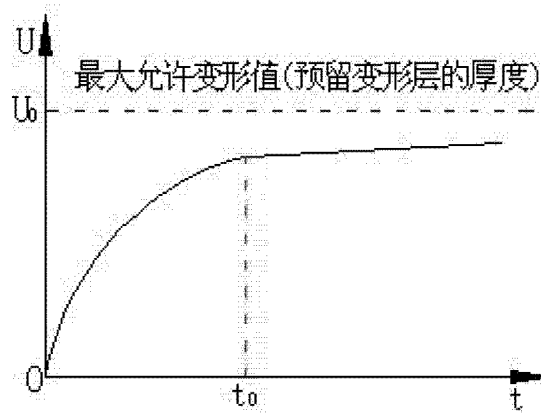


图 6