

# 某洞库裂缝原因分析及加固设计

时卫民 杨 智 舒蕴忠

(兰州军区司令部工程科研设计所, 甘肃兰州 730000)

**【摘要】** 在分析某洞库裂缝原因的基础上, 采用间隔增设二次衬砌的方法对洞库进行了加固设计, 提出了以控制原衬砌混凝土不出现裂缝的原则来确定二次衬砌间距的确定方法, 并利用叠合构件位移协调的条件推导出了二次衬砌上荷载的计算公式, 为洞库的二次衬砌加固提供了一套设计方法。

**【关键词】** 洞库裂缝; 二次衬砌; 加固间距; 荷载确定; 加固设计

**【中图分类号】** U 452

**【文献标识码】** B

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2012.04.006

## Reinforcement Design and Crack Causes Analysis for Underground Storage Cavern Structure

Shi Weimin Yang Zhi Shu Yunzhong

(Institute of Engineering designing, military district of Lanzhou, Lanzhou 730000, Gansu, China)

**【Abstract】** Based on the analysis of crack causes for underground storage cavern structure, the methods according to the space were to added on the second lining in underground storage cavern. The calculation methods for determining the space between the second lining was putting forward by controlling the crack not existing in the original concrete lining, and the load calculation formula of second lining was reduced by using the compatible displacement conditions of composite members, put forward a design method reinforced the underground storage cavern by adding second lining.

**【Key words】** crack of storage cavern structure; second lining; space between the new lining; load calculation; reinforcement design

### 0 引言

某洞库建成年代较早, 且为素混凝土被覆结构, 加上近年来频繁发生的地质灾害, 致使洞库出现了拱顶裂缝和侧墙裂缝, 并出现了渗漏水现象。这些裂缝和渗漏水的产生, 对洞库的储存环境产生了不良影响, 已经影响到洞库的正常使用, 因此急需对这些洞库进行适应性整修加固, 以尽快恢复储存功能。本文结合具体工程的治理, 对洞库产生裂缝的原因进行了分析, 并就洞库二次衬砌加固的设计方法进行了研究。

### 1 洞库裂缝原因分析

根据分析研究多年的实践经验, 通常洞库内的裂缝主要有纵向裂缝、横向裂缝、不规则裂缝和侧墙裂缝四种情况<sup>[1]</sup>, 各种裂缝产生的原因如下:

1) 纵向裂缝。该裂缝的表现形式为拱顶被覆层沿洞库轴线方向的裂缝, 通常裂缝比较长。产生这种裂缝的主要原因: 一是由于洞库被覆均为素混凝土,

不具备承受拉力的能力, 在外界条件变动的情况下(如不均匀变形、沉降、地震)等, 使被覆结构的受力发生变化, 导致原本受压的部位产生拉力, 导致裂缝的产生; 二是施工被覆中, 震捣不充分, 混凝土密度不均匀。此类裂缝宽约 1.5~5 mm, 缝长不定。这类裂缝开裂过大会对结构的安全产生影响。

2) 横向裂缝。该裂缝的表现形式为拱顶被覆层沿与洞库轴向垂直方向的裂缝, 此类裂缝多属于早期裂缝。产生拱顶横向裂缝的原因主要是由于混凝土浇注时遗留的施工缝和伸缩缝, 其缝隙长不超过洞宽, 缝宽最大不超过 4 mm, 通常不影响结构的安全。

3) 不规则裂缝。该裂缝的表现形式为拱顶被覆层上杂乱无章的裂缝, 此类裂缝多属后期裂缝。产生这类裂缝的主要原因是拱顶上部的石碴塌方造成的, 由于早期的被覆不配筋, 当坍塌的石碴量大, 超过被覆层所能承受的冲击力时, 就会使被覆层产生

裂缝,甚至造成被覆层坍塌。这类裂缝如不及时妥善处理,会对洞库的安全构成威胁,进而对库存物资的安全造成极大的危害,甚至产生严重后果。

4)侧墙裂缝。该裂缝的表现形式为沿侧墙水平方向产生水平向的裂缝。产生这类裂缝的主要原因:一是由于侧墙在砌筑中,由于灰缝砂浆不饱满不密实,在拱顶外表面积水沿侧墙下渗的过程中,由于引、排水不畅,引起侧墙基础不均匀沉降,导致此类裂缝的产生;二是岩体发生侧向移动,使侧墙的侧压力增大,超过墙体的承载能力,引起侧墙的开裂。

## 2 加固的目的和实施方案

1)加固的目的。根据现场观测和上述裂缝原因的分析,库区内洞库的裂缝主要为纵向裂缝、横向裂缝和侧墙裂缝,未发现危害严重的不规则裂缝。虽然这些裂缝在正常情况下不会对洞库的安全构成威胁,但在外界突发因素(地震、滑坡、爆炸)的影响下,由于洞库自身的裂缝缺陷,很可能对洞库的安全产生潜在的威胁。同时,由于裂缝的存在使得地下水渗入洞库,使库内环境变潮,破坏库内储存条件,不利于物资的储存,因此有必要对洞库的裂缝进行加固处理,避免潮气或水分通过裂缝进入,恢复洞库的储存条件。

2)加固整修方案。洞库的结构形式为贴壁式结构,其衬砌不仅受到自重的作用,而且也受到岩体的侧向压力。为了节省资金,加固采取间隔二次被覆与裂缝堵塞和整体粉刷相结合的加固整修方案。主体结构加固采用间隔设置的二次衬砌来提高结构的承载能力,抑制裂缝的继续发展,使结构达到正常使用的要求,其宽度和间距根据本文提出的方法计算确定;裂缝堵塞用于堵塞结构缺陷,封闭渗漏通道;整体粉刷用于消除修补疤痕,达到外观统一的要求。

## 3 衬砌加固间距的计算

为了节约经费,采用间隔实施二次衬砌的加固方法,即间隔一定距离加固一段,使洞库形成新的受力体系。这样加固后原衬砌可以看做是支撑在二次衬砌(拱梁)上的连续板,新衬砌可以看作是原结构的支座。分段加固后改变了原结构的受力方式,为了使原结构不破坏,就要求原衬砌不出现裂缝,即结构中的拉应力应该小于混凝土的抗拉强度。为了满足这个要求,我们对该新衬砌的加固间距进行了分析计算。

1)计算条件:侧墙厚 0.55 m,净跨为 10 m,侧墙高 2.6 m,拱矢高 3.4 m,底板厚 0.2 m,拱顶被覆厚 0.45 m,拱顶超挖 0.3 m,围岩重度 23 kN/m<sup>3</sup>,

原衬砌的混凝土强度等级为 C20。

2)荷载计算。按 II 类围岩进行计算,依据被覆垂直压力计算公式得<sup>[2]</sup>:

$$q_j = 0.1\gamma + \text{回填土重} + \text{被覆自重} = 0.1 \times 23 + 0.3 \times 23 + 0.45 \times 23 = 19.55, \text{kN/m}$$

作用在拱顶上的设计荷载为:

$$q = q_j \times 1.2 = 19.55 \times 1.2 = 23.46, \text{kN/m}$$

3)间距的计算。加固后原结构受到的支座弯矩  $M$  可按连续梁来考虑,近似按下式计算:

$$M = ql^2/12$$

原结构的截面抵抗矩  $W$  按矩形截面计算,其计算公式如下:

$$W = bh^2/6$$

加固后支座处原衬砌混凝土边缘受到的拉应力  $\sigma$  为:

$$\sigma = M/W = ql^2/(2bh^2)$$

由拉应力  $\sigma < f_t$  (混凝土的抗拉强度),可得到二次衬砌加固的最大间距  $l$  为:

$$l < \sqrt{2bh^2 f_t/q}$$

将  $b = 1 \text{ m}$ ,  $h = 0.45 \text{ m}$ ,  $f_t = 1.1 \text{ N/mm}^2$ ,  $q = 23.46 \text{ kN/m}$ ,代入上式得:

$$l < \sqrt{2 \times 1 \times 0.45^2 \times 1.1 \times 10^3 / 23.46} = 4.59/\text{m}$$

设计时二次衬砌的加固间距取 4 m,就可以满足衬砌不产生裂缝的要求。

## 4 二次衬砌的配筋设计

1)二次衬砌上的荷载计算。要进行二次衬砌的设计,首先需要确定二次衬砌上的荷载。由于二次衬砌是后增加的,因此存在应力滞后的问题,只有当新衬砌施工完毕后,原衬砌产生新的位移变形后,二次衬砌才能发挥作用。为了确定新增衬砌上的荷载,我们以图 1 中的两根叠合在一起的简支梁来分析荷载在两根梁上的分配。

梁 1 的高度为  $h_1$ ,宽度为  $b_1$ ,弹性模量为  $E_1$ ,截面惯性矩为  $I_1$ (见图 1)。梁 2 的高度为  $h_2$ ,宽度为  $b_2$ ,弹性模量为  $E_2$ ,截面惯性矩为  $I_2$ 。梁上部作用的均布荷载为  $Q$ ,假设梁 1 实际承受的荷载为  $Q_1$ ,梁 2 承受的荷载为  $Q_2$ 。

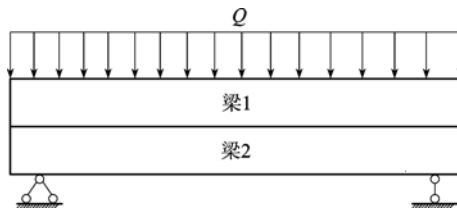


图 1 叠合梁计算简图

在荷载作用下,叠合梁会同时产生向下的变形,即两根梁的变形是协调的,根据均布荷载下梁跨中的位移计算公式可得<sup>[3]</sup>:

$$\frac{5Q_1 l^4}{384E_1 I_1} = \frac{5Q_2 l^4}{384E_2 I_2} \quad (1)$$

化简后得:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{E_2 I_2}{E_1 I_1} \quad (2)$$

由上式可以看出,叠合构件承受的荷载是按其刚度进行分配的。

对于梁宽度相同、材料相同的矩形叠合构件,式(2)可简化为:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{E_2 I_2}{E_1 I_1} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^3 \quad (3)$$

由  $Q = Q_1 + Q_2$  得:

$$Q_2 = \frac{(h_2/h_1)^3}{1 + (h_2/h_1)^3} Q \quad (4)$$

本工程,原衬砌厚度  $h_1$  为 350 mm,二次衬砌设计厚度  $h_2$  为 300 mm,结构受到的荷载为加固间距为 4 m 范围内拱顶上的荷载,即:

$$Q = 4q = 4 \times 23.46 = 93.84, \text{ kN/m}$$

将以上数据带入式(4),得到二次衬砌所承受的荷载  $Q_2$  :

$$Q_2 = \frac{(300/350)^3}{1 + (300/350)^3} \times 93.84 = 36.2, \text{ kN/m}$$

2)内力和配筋计算。二次衬砌的计算模型采用圆拱直墙形进行计算。二次衬砌的宽度取 1 m,新增部分的混凝土强度等级为 C30,钢筋种类采用 HPB235,按以上条件采用理正衬砌软件进行计算,得到的衬砌弯矩图见图 2。

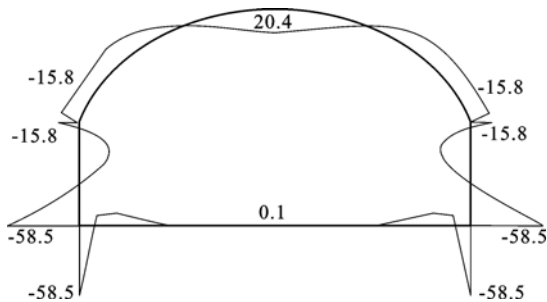


图2 二次衬砌弯矩图(单位:kN·m)

以受力最大的侧墙为例进行配筋计算。侧墙的最大弯矩为 58.5 kN·m。依据混凝土结构设计规范可得<sup>[4]</sup>:

$$f_c = 14.3 \text{ N/mm}^2 \quad f_t = 1.43 \text{ N/mm}^2$$

$$f_y = 210 \text{ N/mm}^2$$

$$h_0 = h - a'_s = 350 - 25 = 325 \text{ mm}$$

$$\alpha_s = M / (f_c b h_0^2) =$$

$$58.5 \times 10^6 / (14.3 \times 1000 \times 325^2) = 0.039$$

截面相对受压区高度:

$$\xi = 1 - (1 - 2\alpha_s)^{0.5} = 1 - (1 - 2 \times 0.039)^{0.5} = 0.040$$

截面所需的受拉钢筋面积:

$$A_s = f_c b \xi h_0 / f_y =$$

$$14.3 \times 1000 \times 0.040 \times 325 / 210 = 885 / \text{mm}^2$$

地下结构的最小配筋率为 0.15%, 按此计算得到的二次衬砌的最小配筋为:

$$A_{s\text{min}} = 0.15\% \times 1000 \times 350 = 525 \text{ mm}^2 < A_s$$

因此计算得到的加固衬砌内的纵筋配筋面积为 840 mm<sup>2</sup>, 实配  $\phi 12 @ 125$  (905 mm<sup>2</sup>), 二次衬砌的配筋见图 3。

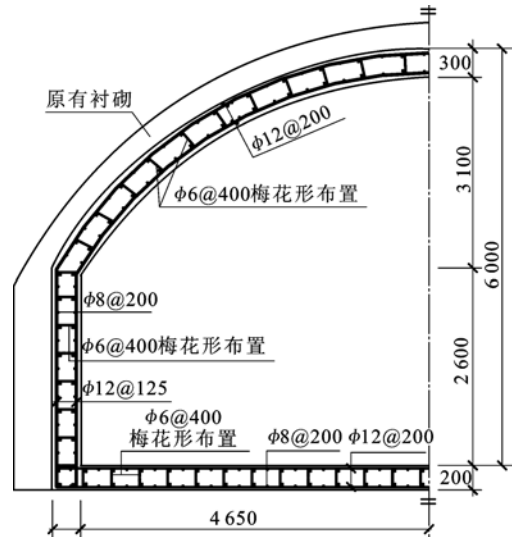


图3 洞库二次衬砌配筋图

### 5 洞库加固施工

二次衬砌施工前,应对洞库的渗漏水点先进行处理,处理时应坚持防排结合的原则。对施工缝漏水,可采用埋设引流管的方式将水引至边洞内的排水沟;对渗漏水点,采用注浆和抹聚合物防水砂浆、水泥砂浆或防水涂层等方式进行处理。渗漏水处理完毕后,按下列步骤进行二次衬砌的施工。

- 1)清洁表面。对原结构表面进行清理,将抹灰层以及风化、酥松部分剔掉后,并清扫干净;
- 2)将拟增设二次衬砌部位的原有地面去除,并用水泥砂浆找平。
- 3)在清理后的地面及墙面上涂刷一层混凝土界面处理剂;
- 4)按设计图纸绑扎钢筋;
- 5)浇注混凝土,并做好后期养护。

(下转第 191 页)

主动土压力,总的结果是使墙背总土压力增大,墙前总土压力减小,从而使改进抗滑动稳定系数减小,而常规抗滑动稳定系数计算方法不能有效地反应出墙体两侧的土压力随转动点位置的不同而引起的变化;当入土深度大于 5.8 m 时,改进抗滑动稳定系数趋于稳定,这是因为随墙体入土深度增大,转动点位置的改变,墙体两侧土压力逐渐趋于均衡状态,从而使抗滑动稳定系数也逐渐趋于稳定。但是常规抗滑动稳定系数值依然在随墙体入土深度增大而增大,其系数值不能反应这种因转动点位置的改变而导致的土压力的变化。

#### 4 结 论

1)随挡土墙宽度的增大,改进抗滑动稳定系数和常规抗滑动稳定系数值同时增大,但改进的抗滑动稳定系数比常规抗滑动稳定系数值小,随最小倾覆系数转动点位置因墙体宽度增大而逐渐下移,改进抗滑动稳定系数值与常规抗滑动稳定系数差值逐渐减小,并趋于相等。

2)保持悬臂长 5 m 不变时,当入土深度较小时,墙体倾覆转动点位置位于墙底,因此两者的抗滑动稳定系数值也相同;当入土深度大于 4.4 m 时,转动点位置开始上移,使土压力分布状态改变,因此改进的抗滑动稳定系数值迅速减小到 2~2.5 之间,并逐渐稳定到 2.25,但常规抗滑动系数依然随入土增大而增大。

3)改进抗滑动稳定系数值能反应因挡墙转动点位置的变化而导致墙体两侧土压力的变化,但常规抗滑动稳定系数不能反应这种变化;常规抗滑动系

数由于未能考虑墙前主动土压力和墙背被动土压力使其值偏大,随墙体宽度增大和入土深度增大均快速增大,与实际不符。

#### 参 考 文 献

- [1] 赵同新、高需生. 深基坑支护工程的设计与实践[M]. 北京:地震出版社,2010.
- [2] 刘 杰、孙志亮、付宝亮,重力式水泥搅拌桩挡土墙稳定性的分析研究[J]. 四川建筑科学研究,2006,32(5):102-105.
- [3] 李卫超、熊巨华、杨 敏. 水泥土围护结构抗倾覆验算转动点位置讨论[J]. 低温建筑技术,2010,32(2):28-30.
- [4] 刘昌辉、时红莲. 基础工程学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2005.
- [5] 王成华、张守良、戴北冰. 水泥土搅拌桩挡墙抗倾覆稳定验算[J]. 低温建筑技术,2006(5):101-104.
- [6] 李卫超、熊巨华、杨 敏. 分层土中水泥土围护结构抗倾覆验算方法的改进[J]. 岩石力学,2011,32(8):2435-2440.
- [7] 方 云、林 彤、谭松林. 土力学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2002.
- [8] 侍 倩. 地基处理技术[M]. 武汉:武汉大学出版社,2011.
- [9] 郑 莉、董 渊、张瑞丰. C++语言程序设计(第3版)[M]. 北京:清华大学出版社.
- [10] 陈家骏、郑 滔. 程序设计教程用C++语言编程. 北京:机械工业出版社.

收稿日期:2012-02-14

(上接第 187 页)

6)整体进行粉刷,完成加固整治。

#### 6 结 论

洞库裂缝整治的关键是要找准裂缝产生的原因,然后针对裂缝产生的原因采取相应的加固措施,从而达到既治表又治本的目的。本文在加固中采用了间隔增设二次衬砌的方法对洞库进行了加固设计,提出了间隔增设二次衬砌进行加固的间距及荷载的确定方法,并结合具体的工程进行了应用,取得了经济合理的治理效果,可供其它洞库裂缝整治时参考。

#### 参 考 文 献

- [1] 王世贤、白明德、赵剑宇. 国防洞库裂缝及防潮问题探析[J]. 仓储管理与技术,2002,(4):36-37.
- [2] 《人民防空工程结构设计》编写组. 人民防空工程结构设计手册(第一册)[M]. 1982:142-147.
- [3] 唐锦春、郭鼎康. 简明建筑设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1992,52-53.
- [4] 中华人民共和国标准. GB 50010-2002 混凝土结构设计规范[S],北京:中国建筑工业出版社,2002.

收稿日期:2011-03-14