

# 透水软管排水系统试验研究

张海霞

(河海大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210098)

**摘要:**介绍透水软管的形式及其在几种应用工况下的受力条件 and 设计方法. 针对软管受压稳定性和淤堵等关键问题, 进行室内模拟试验, 获得设计参数. 透水软管作为新型的排水设施在降低场地地下水水位、堤坝浸润线、洞室和边坡衬砌外水压力等方面有广泛的适应性. 模拟试验结果表明, 合理采用透水软管的尺寸和外包土工织物型号能获得好的效果.

**关键词:**透水软管; 排水系统; 土压力; 刚度

**中图分类号:**TV640.32

**文献标识码:**A

**文章编号:**1006-7647(2002)02-0031-03

## 1 透水软管的形式

透水软管的最基本形式为圆形管状体, 沿管长度方向有大的柔性, 径向有较大的刚度. 它的最内层承载结构为不同直径和螺距的钢丝弹簧, 弹簧外侧包裹加筋织物, 再在加筋织物外设置不同型号的土工织物作为反滤材料. 有时为了加强弹簧衬砌的稳定性, 沿长度方向增加肋条. 常见透水软管的结构剖面见图 1.



图 1 透水软管示意

透水软管埋在地下用于排水或洞室衬砌外侧用于降低地下水水位时, 在软管四周承受不等的土压力作用. 当土体发生不均匀沉降时, 透水软管还会产生拉伸和剪切变形. 为了保证透水软管能够正常工作, 必须满足稳定性要求. 由于透水软管的用途、外侧压力大小和分布在不同工程 and 不同工程部位变化很大, 为了安全、经济、合理的使用目的, 透水软管的断面形态、结构和刚度必须设计成多种数值, 供设计人员按照具体工程需要选择.

当透水软管暗埋在土体中, 各向土压力相差不大, 如初始竖向土压力为  $\sigma$ , 侧向土压力为  $ka\sigma$ ,  $k$  的大小变化于主动土压力系数与被动土压力系数之间, 且透水变形后, 在土压力大的方向有较大变形,

使土压力进行调整, 各个方向的土压力趋于均匀. 这时最好设计成圆形断面. 但有些情况下, 透水软管的变形更增加了外压力的不均匀性, 这时需要选择刚度大的软管以抵抗这种不利的变形.

## 2 透水软管的刚度和选型

**a. 透水软管的直径.**当构成透水软管的钢丝材料、断面尺寸、螺距等确定后, 透水软管的直径越大刚度越小. 使用中, 直径大的透水软管, 通水量也大. 选型时, 从经济、安全使用要求的角度考虑, 应选择通水量满足要求的最小断面的软管或受力条件好的圆形管. 采用加大透水软管的铺设密度以增加透水量的方法往往比使用大断面的软管经济并且排水效果好.

**b. 透水软管的钢丝直径和螺距.**国内生产透水软管的钢丝一般选用弹簧钢. 生产厂家之间材料性能相差不大. 对于相同直径的透水软管, 一般通过增加钢丝直径和减小螺距的方法增加透水软管的刚度.

**c. 透水软管加筋.**为了增加软管受力后的稳定性, 有些厂家在软管上添加纵向塑料加筋条. 这样, 软管的轴向和径向刚度均明显地增加了, 但同时软管适应地基土大变形的能力也降低了. 有时会产生局部的应力集中使软管破坏. 因此, 对于软土地基, 变形量比较大的情况, 最好不要采用有纵向加筋的软管或通过计算论证后采用. 对于在变形小的砂土或与基岩接触带中铺设的透水软管, 则可采用加筋透水软管以降低造价和增加软管稳定性.

作者简介: 张海霞(1965—), 女, 甘肃镇原人, 工程师, 主要从事土工试验研究.

### 3 常见工况下透水软管的受力条件

#### 3.1 用于降低地下水位的透水软管

粘性土体的强度随含水率的增加而降低,因此,控制土体含水率,降低地下水位是工程中常用的提高土体强度的方法.在需要降低地下水位的地基或土工建筑物内铺设透水软管网,可减小地下水的渗径使地下水及时排出.高速公路路堤下的透水软管网如图 2 所示,尾矿坝中的透水软管网如图 3 所示.透水软管主要为水平铺设,四周受较均匀的土压力作用,因此常用圆形断面的软管.由于软管外与土或粉煤灰等接触,外包土工织物的孔径有较严格的要求,以防止淤堵和土粒进入软管而产生堵塞现象.



图 2 路堤下的透水软管排水系统

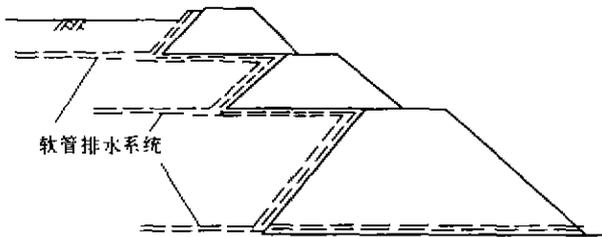


图 3 尾矿坝中的透水软管排水系统

#### 3.2 用于聚水和导水的透水软管

在边坡、地下隧道等工程中,常用透水软管来集中岩石中的裂隙水,使其沿透水软管网排出,以减小作用于支护结构上的水压力.透水软管在支护结构浇筑期间,需要采取合适的施工措施,防止水泥堵塞透水管及透水管与岩石的交界面,以保证软管的渗透性和裂隙水能够按照设计要求及时渗入软管,由软管构成的排水系统及时排出.我国正在开发半圆形透水管,它与岩石接触面较大,有利于裂隙水的排出.喷锚支护边坡排水系统见图 4,内支撑隧道排水系统见图 5.透水软管形成的网状结构在工作期间的作用是及时排出裂隙水,减小支护结构外水压力.设计时,需要选择合适的外包反滤土工织物以防止岩体裂隙水中的泥土堵塞排水通道或对土工织物产生淤堵.

在不同的使用工况和不同的工程中,透水软管的受力条件有很大的差别.受力方面,主要是软管径向外力的大小和分布.顺管方向力的变化和剪切力大小在不同工程中有很大差别.一般径向外力越大

或径向外力分布越不均匀,软管越易变形或失稳.由于弹簧状构造的特点,软管顺管方向的刚度较小,当顺管方向力的变化和剪切力较大时,易产生失稳.针对具体问题进行分析,施工或设计前进行室内模拟试验或现场模拟试验,获得软管需要的刚度和直径等参数,对保证工程的正常运行非常必要.渗透方面,透水软管既要集中地下水,又要保证软管不被淤堵.因此要进行外包土工织物的渗透性测试和淤堵试验、软管的通水量测试.

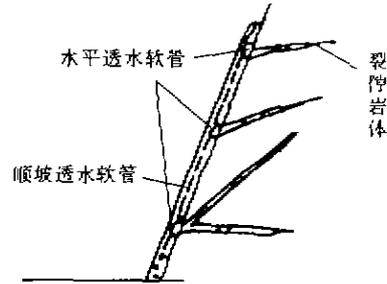


图 4 喷锚支护边坡中的排水系统

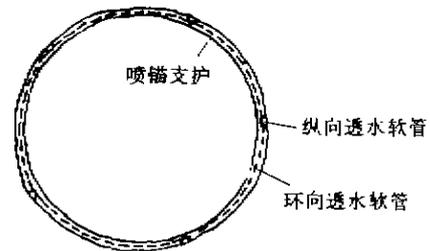


图 5 内支撑隧道衬砌外侧排水系统

### 4 透水软管测试主要内容

#### 4.1 透水软管的稳定性

透水软管一般为圆形,在使用中,四周受不等的法向外力作用或剪力作用,变成椭圆状甚至失稳成不规则形状.随着变形的增加,通水量减小,失稳后,不规则的形状使其透水量仅为原始形状的十分之几甚至百分之几,这时认为透水软管失效,不能满足设计功能.因此,将外力作用下透水软管失稳时的作用力定义为极限作用力.一般,圆形透水软管承受各向相等的法向外力的能力最强,承受剪力的能力最弱.因此,设计中尽量使透水软管承受各向等压的法向外力作用,避免承受剪力作用.

埋在地面以下接近水平土层中的水平铺设透水软管,法向外力垂直方向为自重应力,水平方向为静止土压力,这时,室内试验可采用图 6 所示的加载装置,垂直方向施加外力,量测透水软管垂直方向的应变与竖直方向压力的关系(图 7).图 7 中,竖向应力为图 6 中的外加均布压力  $p$ ,软管径向应变定义为竖向变形量  $\delta$  与软管直径  $d$  的比值.我们进行的不

同直径(50~200 mm)圆形透水软管的试验结果发现,软管失稳的应变在8%~10%的范围内.在地表面接近水平面的土层中的竖直铺设透水软管,任一深度处的四周法向外力相等,可用在软管外侧加水压力的方法进行试验,但一般仍使用图6所示装置试验,量测软管所能承受的竖直方向压力作为最大工作围压,这时结果偏于安全.

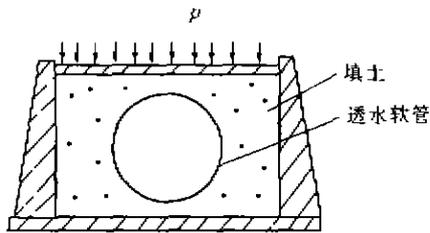


图6 土压力作用变形和稳定试验装置

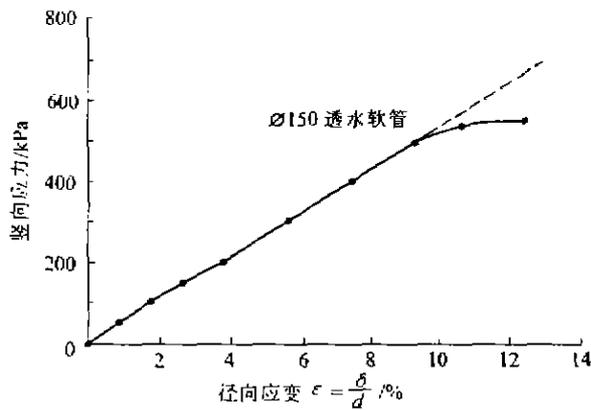


图7 透水软管的竖向应力与径向应变关系

#### 4.2 土工织物的渗透性和淤堵试验

一定条件下,土工织物的渗透性越大越好,能够在小的水力梯度下及时排出四周的地下水,降低地下水位或减小外水压力.但土工织物渗透性越大,表明它的孔隙越大,土粒能够通过孔隙进入软管内.较大的颗粒在软管内沉淀后,将引起软管淤堵.因此,要求土工织物的孔隙要细,能够挡住土粒进入.但若过细的孔隙挡住胶体颗粒,将使胶体颗粒在织物外部沉淀,

产生淤堵,使织物的渗透性迅速降低,甚至基本不透水而造成透水系统失效.因此要求土工织物既能够挡住易在流速较低的透水管内沉淀的较大土粒,又能透过不沉淀的胶体颗粒,以保持织物的透水性.

土工织物的渗透试验最好采用实际工程土层的土制成泥浆(含泥量低于10%)进行,当延续7~10 d后,织物的渗透系数仍能满足要求,该型号的织物渗透性和淤堵性均满足要求,可以作为软管外包织物.我们进行的三峡永久船闸排水系统外包200 g/m<sup>2</sup>聚丙烯无纺土工织物渗透试验结果见图8.

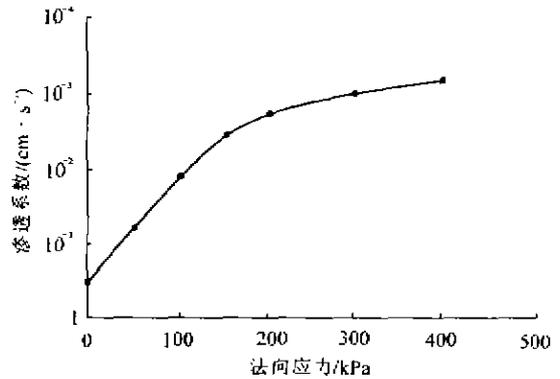


图8 土工织物的渗透系数与压力的关系

### 5 结论

透水软管排水系统具有施工速度快、质量有保障、价格较低等优点.但作为近几年才开始采用的新产品,工程经验较少,又有许多失败的教训,其推广应用设计人员心存疑虑.本文介绍的透水软管的形式、使用范围、受力情况、试验方法,主要是模拟工程条件的稳定试验和渗透试验.结论是它能够作为排水系统推广应用,在设计时,鉴于目前计算理论落后应用实际的具体情况,结合具体工程使用条件进行充分试验分析,以选择合适的参数,保证排水系统安全有效地运行.

(收稿日期:2001-02-20 编辑:张志琴)

#### ·简讯·



#### 南水北调工程可望 2002 年动工

据有关资料,我国水资源总量约为 28 100 亿 m<sup>3</sup>,人均约为 2 200 m<sup>3</sup>,仅为世界人均量的 1/4.我国水资源的分布又是不均匀的,占全国人口 54%的长江流域及其以南地区,水资源量约占全国的 80%,人均水资源约 3 480 m<sup>3</sup>.而长江流域以北地区,人口占全国的 44%,水资源量却只有全国的 15%,人均水资源仅 750 m<sup>3</sup>,属于缺水地区.从上述资料不难看出,从南方跨流域引水到北方的所谓的南水北调工程是人们渴望已久的.经过几十年不少专家学者的规划研究,先后提出了多种方案,通过 2001 年的审查,目前规划方案基本确定,分为东线、中线和西线三条输水路线.东线主要利用大运河,从江苏扬州附近引长江水,经山东到天津,主干线全长 1 150 km,修建梯级泵站 13 座,年输水量约 170 亿 m<sup>3</sup>.中线从加高的丹江口水库引汉江水,经河南到河北和北京,总干渠全长 1 264 km,年调水量为 130~140 亿 m<sup>3</sup>.西线从长江上游干支流引水到黄河上游.工程采用分步实施的方案,首先进行已具备开工条件的东线和中线,计划在 2010 年前完成东线的一期和二期以及中线的一期工程,预计总投资为 1 810~1 860 亿元,其中中线工程 1 100 亿元,“十五”期间将投资 400~450 亿元.南水北调工程是我国 21 世纪具有战略意义的一项宏伟工程,它将对我国今后国民经济的发展,人民生活的改善起着不可估量的作用.

(吴昊高供稿)