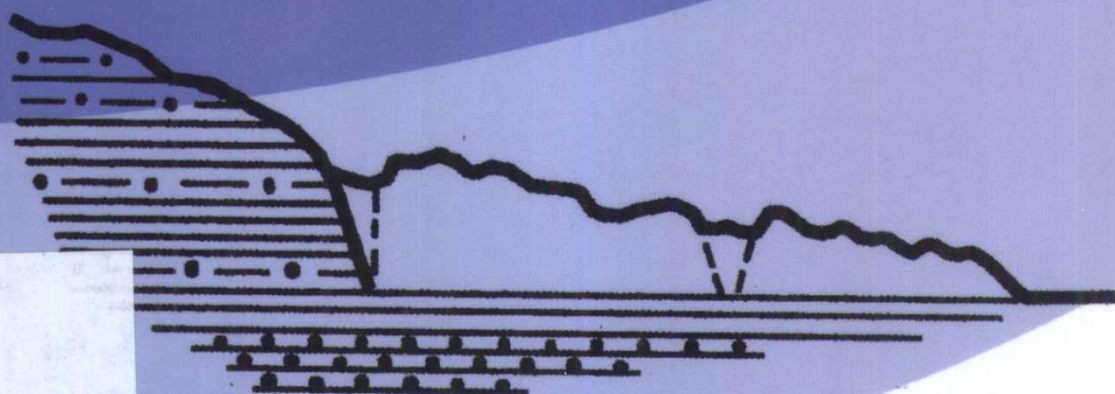


滑坡文集

(第十五集)



2.22

中国铁道出版社

P642.22
1162

滑 坡 文 集

(第十五集)

《滑坡文集》编辑委员会 主编



A1021467

中 国 铁 道 出 版 社

2002年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本集选文 18 篇,主要内容涉及滑坡机理分析与防治措施,勘探、监测技术和稳定性分析等方面,每篇文章后附有英文提要,以便国际交流。

本文集可供工程地质工作者和土建工程设计人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

滑坡文集 第 15 集/滑坡文集编委会主编. —北京:中国铁道出版社,2002.1
ISBN 7-113-04417-4

I. 滑… II. 滑… III. 滑坡—研究—文集
IV. P642.22—53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 076830 号

书 名:滑坡文集(第十五集)
作 者:《滑坡文集》编辑委员会 主编
出版·发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街 8 号)
责任编辑:许士杰
封面设计:陈东山
印 刷:中国铁道出版社印刷厂
开 本:787×1092 1/16 印张:9 字数:221 千
版 本:2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月第 1 次印刷
印 数:1~1500 册
书 号:ISBN 7-113-04417-4/TU·680
定 价:28.00 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

目 录

一、机理分析及防治措施

浅谈抗滑桩的设计.....	刘光代(1)
虹吸排水降低边坡和滑坡地下水位的应用技术	张颖钧 张永防(11)
山区铁路隧道变形与坡体病害的防治措施	郑 静 马惠民(21)
京珠高速公路粤境韶关段路堑边坡的破坏形式及加固工程	陈少文 李聚金(31)
河谷区的地质基本特征与滑坡的形成	叶宗荣 仇祥凯(41)
深圳经济特区滑坡的成因及其分布规律	郑 静(47)
预应力锚索桩技术在滑坡整治中的应用	储成伍(53)
深圳市水贝松泉滑坡的形成机制及西段抗滑工程效果分析	郑 静(58)
京珠高速公路粤境段宝林山隧道南出口高边坡加固施工技术	黄国玉 齐明柱(68)
坡体病害地段隧道变形机理及其防治技术	马惠民 陈阿能 华 明(73)
108 国道茆经段蚂蝗沟滑坡的特征及滑动机制	宋响军 李芙林(86)
南昆线八渡车站滑坡的形成与发展	韩 龙 李荷生 陈正平(93)
高速滑坡的动力学特征及其地质力学分析.....	孔纪名(101)
公路工程建设中滑坡防治问题的思考.....	崔建恒 喻文学(108)

二、勘探、监测技术及稳定性分析

综合电探技术在深汕高速公路 K101 东滑坡勘探中的应用	侯殿英 王 鸿(113)
动态监测技术在深汕高速公路 K101 滑坡整治工程中的 应用	陈木春 朱本珍 韩 龙(119)
成昆线 K284 毛头马 1 号隧道减载工程爆破安全监测的 研究.....	张 霖 郭洪江 陈光雄(126)
路堑高边坡稳定性分析的方法.....	宋学安 安孟康(132)

PROCEEDINGS OF LANDSLIDES

VOLUME FIFTEEN

Elementary Study on Design of Anti-slide Pile	Liu Guangdai(1)
Application Technique of Siphon Drainage for Decreasing Underground Water of Slope and Landslide	Zhang Yingjun Zhang Yongfang(11)
Controlling Measures for Tunnel Deformation and Slope Disasters along Mountainous Railway	Zheng Jing Ma Huimin(21)
Slope Failure Form and Stabilized Engineering of Cutting Slope at Shaoguan Section in Guangdong along Beijing-Zhuhai Express Highway	Chen Shaowen Li Jujin(31)
The Elementary Geological Characteristic and the Formation of Hill-Creep	Ye Zongrong Chou Xiangkai(41)
Formation and distribution of landslide in Shenzhen Economic District	Zheng Jing(47)
Application of Prestressed Anchor Rope Pile Technique in Landslide Control	Chu Chengwu(53)
The Formation Mechanism of Shuibeshongquan Landslide in Shenzhen and its Analysis on West Section of the Anti-Effective slide Engineering.....	Zheng Jing(58)
Stabilized Technique for High Slope at South Exit of Baolinshan Tunnel in Guangdong Section along Beijing-Zhuhai Express Highway	Huang Guoyu Qi Mingzhu(68)
Mechanism of Tunnel Deformation in Slope Disaster Section and Its Control Technique	Ma Huimin Chen Arneng Hua Ming(73)
Characteristics and Sliding Mechanism of Mahuanggou Landslide in Yingjin Section along 108 State Road	Song Xiangjun Li Fulin(86)
Formation and Development of the Landslide in Badu Railway Station along Nanning-Kunming Railway Line	Han Long Li Hesheng Chen Zhengping(93)
Dynamical Characteristics of Landslide at High Speed and Its Analysis of Geomechanics	Kong Jiming(101)
Study on Landslide Control in Road Engineering Construction	Cui Jianheng Yu Wenxue(108)
The Application of Comprehensive Electrical Prospecting Technique to Survey of Landslide at K101 along Shenzhen-Shantao Express Highway	Hou Dianyong Wang Hong(113)
Application of Dynamic Monitoring Technique to Control Engineering of Landslide at K101 along Shenzhen-Shantao Express Highway	Chen Muchun Zhu Benzhen Han Long(119)
An Investigation of Safety Monitoring of Blasting Construction over No1 Tunnel at the Maotouma Section at K284 along Chengdu-Kunming Railway Line	Zhang Lin Guo Hongjiang Chen Guangxiong(126)
Analytical Method for High Cut Slope Stability	Song Xuean An Mengkang(132)

浅谈抗滑桩的设计

刘光代

(铁道部科学研究院西北分院, 兰州, 730000)

摘 要

文章简要地介绍了铁路部门自 1967 年在成昆线首次实现挖孔抗滑桩以来不断完善、创新的新支挡结构类型, 并阐述了一般抗滑桩设计中各计算参数取得的途径、计算步骤和设计中尚待探讨的问题。

关键词: 挖孔抗滑桩 新型支挡结构 地基应力校核

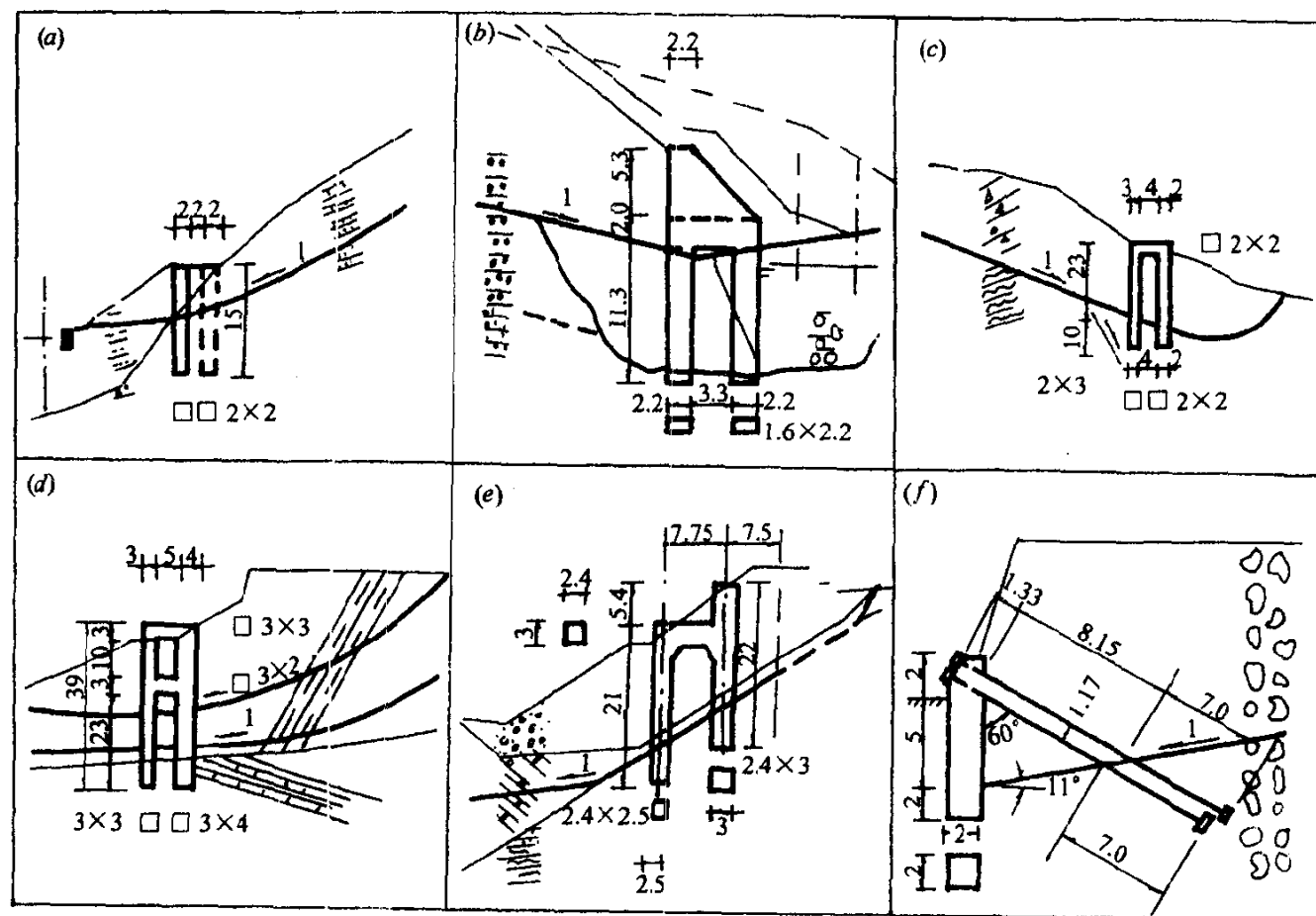
一、概 况

桩作为治理滑坡(侧向受力为主)的抗滑措施, 从已收集的资料来看: 在国外始于 20 世纪 30 年代初(1931 年 11 月 12 日, 美国工程新闻杂志《滑坡和桩的作用》), 美、苏、日、英、德、意、波兰、捷等国使用较早; 在国内 20 世纪 50 年代初开始使用。1954 年宝成线史家坝 4[#] 隧道北口左侧灰岩边坡产生顺层坍滑, 采用钢筋混凝土樁桩治理(相当于“插笔”, 只考虑抗剪作用, 功能较单一)。1965 年在川黔线楚米铺堆积层滑坡采用沉井及打入式管桩(钢筋混凝土废桥桩)治理(沉井按挡墙设计, 相当于埋式挡墙作用, 密排布置; 打入式管桩仅按材料力学方法计算锚固深度且施工时不易深入基岩中。两者均采用大截面或小间距, 因此难于推广)。1967 年始相继在成昆线沙北、拉普、嘎立、甘洛 2[#] 等滑坡首次成功地采用大截面挖孔抗滑桩治理(全面考虑了构件的抗弯、抗剪等作用), 实现了挖孔抗滑桩新型支挡结构, 为滑坡整治增添了一种切实可行的新手段, 现已大量推广到其它新线及厂矿并不断完善、创新, 由一般抗滑桩排(西南工指路基战斗组)发展为椅式桩墙(1975 年枝柳线施溶溪滑坡, 铁四院)、门型刚架桩排(1976 年枝柳线罗依溪滑坡, 铁四院)、排架式抗滑桩排(1979 年成昆线玉田滑坡, 成都铁路局)、h 型排架抗滑桩(1983 年川黔线 K180 路堤滑坡, 成都铁路局)、预应力锚索抗滑桩(1984 年松藻矿务局金鸡岩滑坡, 铁科院西北分院)。在设计方面: 前四者将两根以上的桩组合在一起联合受力, 加大桩的刚度, 提高抗滑能力, 后者将被动式受力的悬臂结构和刚架结构改变为主动式受力的梁式结构, 使结构受力更趋合理, 从而减小桩的侧应力、弯矩、截面和埋深, 节约圬工、钢材和投资。在施工方面: 国外由于施工机械、钢材较多, 过去常采用小孔径的钻孔插入或打入桩, 现亦采用大截面挖孔桩; 国内由于施工条件限制, 由大截面的沉井式施工和小间距的打管式施工改变为大截面的间隔挖孔施工, 使施工方便灵活。目前最大的单桩截面达 7.0 m × 3.5 m, 深达 40 余米(襄渝线赵家塘车站滑坡), 耗材 1 000 m³ 混凝土、百吨钢的巨型桩。

二、抗滑桩的类型

1. 按桩与桩周介质的相对刚度分——刚性桩、弹性桩。

2. 按桩顶固定程度分——桩头固定(桩顶用钢筋混凝土台板或梁联结)、桩头自由。
3. 按桩身埋置情况分——全埋式(包括棒桩)、半埋式(悬臂)。
4. 按平面布置形式分——密排和相互间隔的单排及多排。
5. 按断面形式分——圆型、矩型、方型桩及管桩。
6. 按桩材分——木桩、钢筋(轨)混凝土桩、钢筋混凝土管桩、钢管及钢管中加 H 型型钢桩、钢轨及钢板桩。
7. 按施工方法分——沉井桩、钻孔插入或打入桩、挖孔桩。
8. 按受力条件分——一般抗滑桩、椅式桩墙、门型刚架桩、排架式桩、h 型排架桩、预应力锚索抗滑桩(图 1)。



注:1. 滑动面,图中尺寸以 m 计。

图 1

(a)一般抗滑桩排;(b)枝柳线施溶溪滑坡椅式桩墙;(c)枝柳线罗依溪滑坡抗滑刚架桩;(d)成昆线玉田滑坡排架抗滑桩;(e)川黔线 K180 路堤滑坡 h 型排架抗滑桩;(f)松藻矿务局金鸡岩滑坡预应力锚索抗滑桩。

三、抗滑桩的适用范围及优缺点

抗滑桩适用于除流塑性滑坡以外的各种类型滑坡,是目前广泛使用的治理滑坡的有效措施。它具有可灵活选择桩位(单排或多排,单独或结合其它工程使用),施工简便、工作面多、挖方量小、工期短、收效快、费用低、对滑体扰动少、安全可靠,并可根据具体情况随时修改设计以符合实际需要之优点。不足之处是与一般可就地取材的抗滑工程相比用钢材和水泥较多。

四、抗滑桩的设计和计算

(一) 设计原则

抗滑桩是凭借桩的强度,滑面以下锚固部分桩周土、石的弹性抗力来平衡其滑面以上滑体下滑力的水平分力,使滑坡保持稳定的一种抗滑结构。

根据桩身与桩周介质的相对刚度把桩视作刚性杆件或弹性地基梁来考虑,当桩周岩土变形在弹性阶段时把桩周介质视为弹性介质。

桩在外力作用下(水平和竖直力),滑面以下任何深度处的土石由于桩的刚性转动变位(忽略其弹性挠曲变形量)或弹性变形包含转动变位引起的压缩对桩产生的弹性抗力(地基反力)均应用弹性地基梁的计算理论,按文克尔假设计算,即作用在桩上的受荷地层岩土的弹性阶段的侧(竖)向弹性抗力等于土石的侧(竖)向弹性抗力系数与变形方向一致的岩土的压缩变形值(弹性阶段的位移或挠度)的乘积($\sigma_y = C' \Delta x$, $\sigma_0 = C_0 \Delta y$),如图 2。

就刚性桩而言: $\sigma_y = B_p C' \Delta x = B_p m y (y_0 - y) \Delta x$;

就弹性桩而言: $EI = \frac{d^4 x}{dy^4} = -p = -m y \cdot x \cdot B_p$,用幂级数求解位移 X_y 、转角 ϕ_y 、弯矩 M_y 、剪力 Q_y 、抗力 σ_y 。

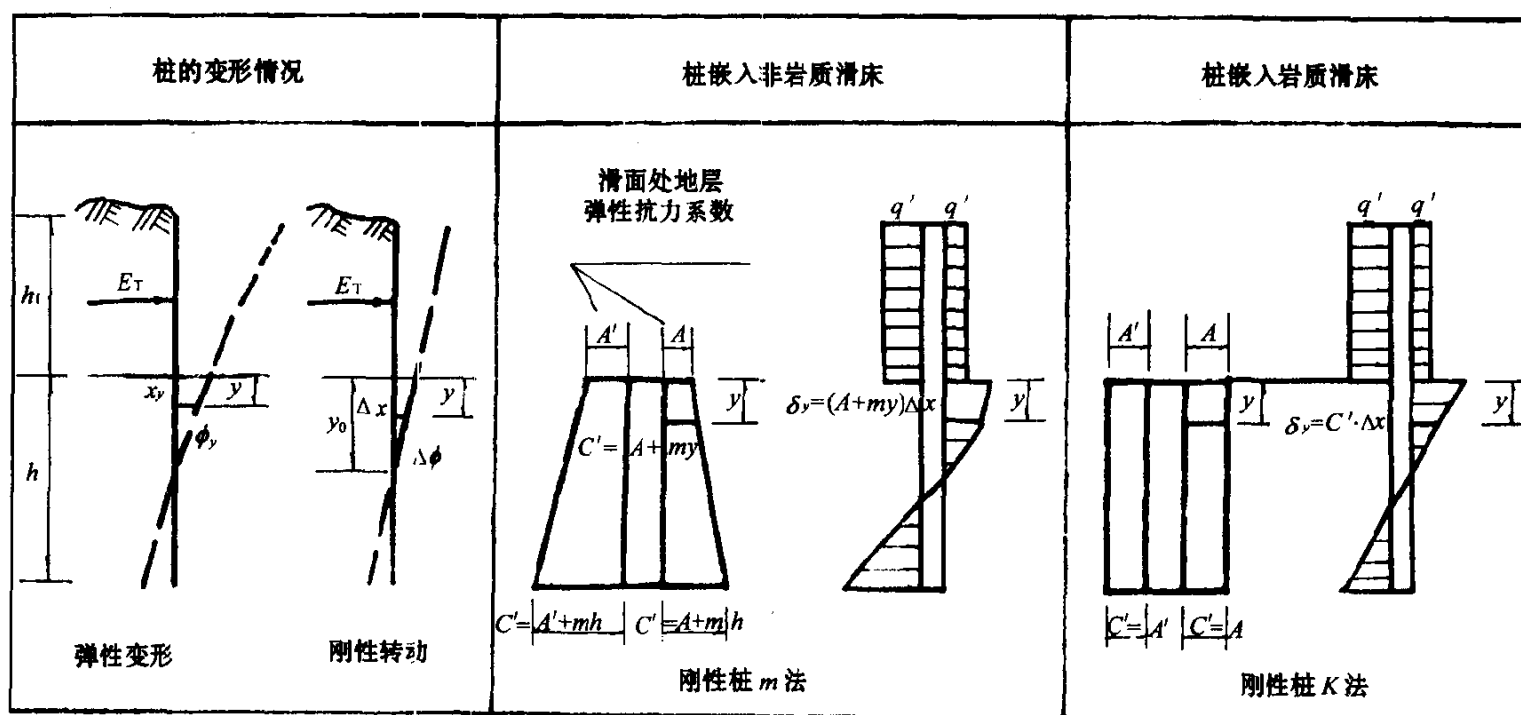


图 2

(二) 外荷载的考虑及其分布图式

目前在桩的计算中对外荷载的考虑及分布图式均存在不同的认识。

对外荷载的考虑,有的把桩后滑面以上的滑坡推力当外荷载,滑面以下桩前后及滑面以上桩前的土石产生的弹性抗力均当内力考虑(在滑面以上桩前滑体基本稳定或凭借其它结构物保持稳定的条件下);有的以滑面为界,把滑面以上桩后的滑坡推力及桩前的剩余抗滑力或被动土压力之间的小者均当外荷载(桩前滑面以上滑体松动可能滑走不能产生弹性抗力则按悬臂桩计算)。滑面以下桩周土石产生的弹性抗力当内力。

对滑坡推力的分布图式,可根据滑体不同的物质选用三角形、矩形、抛物线形、梯形图式。由于分布图式不同,合力着力点和力臂亦异,作用于滑面上的弯矩差异较大。在无实测资料证

明哪种图式更接近实际时,采用矩形分布图式较为安全(图 3)。

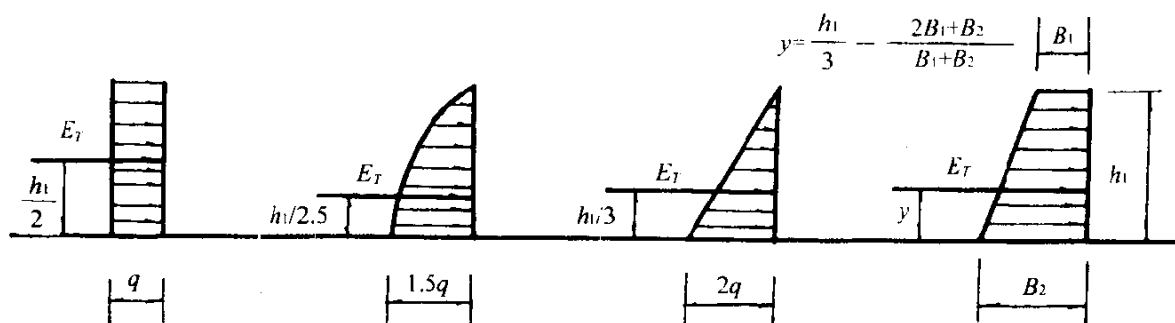


图 3

(三)抗滑桩的平断面设计

1. 设桩位置,一般单排桩宜设在滑坡前缘,纵断面上的抗滑部分即滑体厚度较薄、滑面相对较缓或反翘点附近,这样桩承受推力相对较小;多排桩则增设在主滑段的适当位置以分挡部分推力(桩排间推力的分配问题尚待探讨)。平面上桩排的走向与滑体的滑动方向垂直成直线或成弧形间隔设置或品字形设置。桩的间距,在有实测的土石自然成拱作用资料时,参照能形成自然拱的跨距作间距,否则可根据滑体的密实程度、含水情况、推力大小、桩截面尺寸等综合考虑,一般采用 2~5 倍桩径,或采用 6~10 m 间距,并注意在推力较大的主轴附近密些,两侧边缘推力较小处稀些;桩截面大承担推力大稀些,相反密些,防止土从桩间滑出。

2. 桩的截面一般采用矩形或圆形,除依据推力大小确定外还应考虑施工对滑体的扰动情况,通常截面小,开挖数量少,干扰小,时间短,易支撑,易恢复平衡,但由于间距小,桩数量相对较多,截面大则相反。

(四)计算宽度

一般桩底截面按实际宽度计算。桩侧的土石在承受水平荷载时,实际的应力状态是很复杂的空间受力状况,但为了简化计算,将桩当作平面受力的情况来考虑时,还必须将各种截面形状桩的实际宽度(变截面取其平均宽度或直径)换算成与平面受力条件下相当的宽度,从而需引入一个受力换算系数,亦即将实际宽度乘以受力换算系数 $(1 + \frac{1}{B})$ 或 $(1 + \frac{1}{d})$ 及形状换算系数(1.0 或 0.9)。矩形桩 $B_p = B + 1$;圆形桩 $B_p = 0.9(d + 1)$ 。

(五)抗滑桩的长度

一般桩的长度为设桩处滑体厚度与计算嵌入滑床深度之和(樨桩除外)。嵌入滑床深度需满足桩稳定条件的要求,即任一截面处的侧向弹性抗力必须小于桩周土石的侧向容许承载力,否则需调整嵌入段桩长或桩的截面、间距、以调整桩侧弹性抗力使之满足要求。在检算滑体不冒顶滑出的情况下,亦可减短滑面以上桩的长度以节约材料。

(六)地基应力校核

一般使桩不同深度各截面的计算侧向应力均应小于或等于该处桩周土石的侧向容许承载力来满足稳定条件。目前对不同深度处桩周土石的侧向压应力实测资料较少,在这种情况下对岩质的侧向容许承载力(压应力)只有以岩石的极限抗压强度的百分数来确定垂直向容许压应力,再以垂直向容许压应力的百分数来确定侧向容许压应力。岩质的容许侧向压应力常用下述经验系数计算:

铁路路基设计手册:

$$[\sigma]_{\text{垂直}} = \left(\frac{1}{4} \sim \frac{1}{10} \right) R = (0.25 \sim 0.1) R \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{对软弱或破碎岩层一般取较大的系数,} \\ \text{对坚硬岩层则取小些。} \end{array} \right.$$

$$[\sigma]_{\text{侧}} = \left(\frac{1}{2} \sim 1.0 \right) [\sigma]_{\text{垂直}} = (0.5 \sim 1.0) [\sigma]_{\text{垂直}}$$

当围岩为:①密实土或砂层时,其系数值为0.5;②较完整的半岩质岩层时,其系数值为0.6~0.75;③块状或厚层少裂隙的岩层时,其系数值为0.75~1.0。

$$\text{铁道部大桥工程局:} [R_{\text{垂直}}] = \frac{1}{2} [R_{\text{极限}}]$$

$$[R_{\text{侧向}}] = \frac{1}{2} [R_{\text{垂直}}]$$

对土质的侧向容许承载力(压应力)常取各不同深度的主被动土压力差值来确定:

$$\text{①考虑粘聚力起作用时:} [\sigma_y] = \frac{4}{\cos \varphi} [r(y + h') \tan \varphi + c], \text{适用全埋式桩。}$$

$$[\sigma_y] = \frac{4}{\cos \varphi} (ry \tan \varphi + c), \text{适用悬臂桩。}$$

$$\text{②未考虑粘聚力起作用时:} [\sigma_y] = r(y + h') \left[\tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) - \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \right], \text{适用全埋式桩。}$$

$$[\sigma_y] = r \cdot y \left[\tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) - \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \right], \text{适用于悬臂式桩。}$$

若桩身任何深度的侧向弹性抗力大于该处围岩的容许承载应力时,则需调整桩的埋深、间距、截面尺寸重新计算以满足稳定条件,但对围岩有随深度而逐渐增大强度时,可允许在滑面以下1.5 m以内产生塑性变形,且在塑性变形深度内围岩抗力采用其容许值。

(七)弹性抗力系数(地基系数侧面 C' 、 K 、 K_H 或底面 C_0 、 K_0 、 K_v)

弹性抗力系数被定义为单位面积的土石在弹性限度内产生单位变形值时所需施加的压力,即 $C = \frac{\sigma}{\Delta}$ (kN/m^3)。或桩与土接触面上任一给定点处的压力 p 与荷载作用下该点所产生的位移 x 之比,即 $C = \frac{p}{x}$ (kN/m^3)。它随深度而变化的比例系数以 m 代之,即 $m = \frac{C}{y}$ (kN/m^4)。 C 或 K 取决于地层的物理力学性质,受荷面积大小、形状、荷载强度及地层的成因等因素,应理解为假定的计算指标,它与土的物理力学指标 E 、 μ 不同,与弹性压缩系数 a (kN/m^2) 更不同。它可较粗略的代表土的抗变形能力。

对于弹性抗力系数通常采用下述两种假定:

1. 在较完整的岩层或固结黏土地基中,认为侧向弹性抗力系数是常数,不随深度而变化。此常数通常以符号“ K ”表示之,相应的计算方法称为 K 法。

2. 在密实土层或严重风化破碎岩层地基中,认为侧向弹性抗力系数是随深度呈直线规律变化,即相应于地基深度为 y 处的侧向弹性抗力系数 $C' = my$ (按悬臂) 或 $C' = A + my$ (刚性桩); $C' = A + my^n$ (弹性桩); n 为线性指数,按悬臂考虑滑面处地层的弹性抗力系数,其垂直方向的弹性抗力系数 $C_0 = m_0 y$ 。由于弹性抗力系数随深度变化的比例系数(常数)通常以符号“ m ”表示,相应的计算方法称为 m 法。

目前还无适应于抗滑桩边界条件的 C 及 m 值。计算时还只好套用桥、隧规范方面的表列值详见路基手册⁽²⁾表 12—10, 11, 12。而桥规(1975 年)方面的 C_0 值是从荷载位移曲线中找出相应于水平位移 6 mm (早期为 10 mm^[3]) 的荷载值换算求得。其试验的深度不详,不同深

度应如何选用尚待研究。6 mm或10 mm的水平位移值是由墩台顶的允许偏移量而定。抗滑桩顶的允许偏移量目前虽未讨论确定,但实践证明是可以较大地大于墩台的允许偏移量。如何合理的套用桥、隧规表列值,尚应深入探讨。有的资料列出由极限强度 R 值,直接查弹性均压系数 $C_z = C_0$ 值。最好通过旁压仪实测或大型实体推桩试验探求适合抗滑桩边界条件的 C 值。

桥墩台中的垂向 m_0 值采用表列侧向 m 值。当平均深度约为10 m时,其 m 值接近竖直作用下的 C_0 值,所以 $C_0 \approx 10m_0$ 值或 $C' \approx 10m$ 值。对于非岩质地基 $C' = mh$, $C_0 = m_0h$, 桩底面各点 C_0 为常数。

从其他资料叙述来看,桥隧及桩基础的垂向和侧向弹性抗力系数与房建机械基础的均压 ($C_z = C_0$) 和均剪 ($C_x = C'$) 弹性系数近似或一致。多数资料表只列出垂向弹性抗力系数而计算侧向弹性抗力系数(后期不计桩基底的弹性抗力)。为此了解两种系数的比值将有利于换算。但由于各种资料所处的条件不同,取值亦不同(表 1),对抗滑桩而言该怎样选择值得探讨。

表 1

	铁路隧道手册	地基与基础	建筑规范	铁路标准设计通讯
$\xi = \frac{C'}{C_0}$	0.8	0.5	0.7	1.0*
$\eta = \frac{C_0}{C'}$	1.25	2.0	1.428	1.0

注:铁路路基设计手册, $\beta = \frac{K_H}{K_V} = 0.6 \sim 0.8$; 厚层块状整体岩层 $K_H = K_V$ 。

* 如上述当 $h \approx 10$ m时, $m = m_0$, $C' = C_0$, 则 $\xi = 1$; 置于基岩面时 C_0 为常数, $C' = mh$, 则 $\xi = \frac{mh}{C_0}$ 。

(八) 刚性桩与弹性桩的判别

据大量的试验资料表明,除优先从桩周岩土裂隙性质与疏松程度上定性外,当侧向受荷桩埋入稳定地层内的计算深度(桩的埋深 h 与桩的变形系数 α 或 β 的乘积)为某一临界值时,可视桩的刚度为无限大,其在水平荷载作用下的极限承载力只取决于地层弹性抗力的大小而与桩的刚度无关。判别刚性桩和弹性桩的临界值如下:

1. 滑床为石质及硬黏土,按 K 法计算(C' 为常数)

当 $\beta h \leq 1$ 时,属刚性桩;
当 $\beta h > 1$ 时,属弹性桩。 } 铁路路基手册

当 $\beta h \leq 2.25$ 时,属刚性桩;
当 $\beta h > 2.25$ 时,属弹性桩。 } 铁路路基手册

当 $\beta h \leq 2.0$ 时,属刚性桩;
当 $\beta h > 2.0$ 时,属弹性桩。 } 日本,申润植。

其中 β 为桩的变形系数,以 m^{-1} 计,可按下式计算:

$$\beta = \left(\frac{K_H \cdot B_p}{4EI} \right)^{\frac{1}{4}}$$

式中 K_H ——侧向弹性抗力系数,不随深度而变,当桩周介质为两类以上时,选用控制层的 K_H 值(kN/m^3);

B_p ——桩的正面计算宽度(m);

E ——桩的弹性模量(kPa);

I ——桩的截面惯性矩(m^4)。

2. 滑床为土质及软岩,按 m 法计算($C' = my$)

当 $ah \leq 2.5$ 时,属刚性桩;
当 $ah > 2.5$ 时,属弹性桩。 } 铁路路基手册

当 $ah < 2.0$ 时,属刚性桩,
当 $2.0 < ah < 4.0$ 时,属半刚性桩,
当 $ah > 4.0$ 时,属弹性桩。 } 美国, B. B. Broms

其中 α 为桩的变形系数,以 m^{-1} 计,可按式计算:

$$\alpha = \left(\frac{mB_p}{EI} \right)^{\frac{1}{5}}$$

式中 m ——侧向弹性抗力系数随深度变化的比例系数,当桩周介质为两类以上时,选用控制层的 m 值(kN/m^4),其余符号意义同前。

(九)公式推导及已采用过的计算公式

1. 基本假定

(1)就桩对桩周介质的相对刚度而言,大截面短桩被认为是刚性桩,长桩被认为是弹性桩。

(2)滑坡推力与滑面平行,为简化计算,只计其水平分力 E_x ,忽略其垂直分力 E_y ;桩的自重和桩底反力(因其影响甚微),以及桩变位时与其周围土体间产生的摩阻力、粘聚力均忽略不计。

(3)将桩周介质视为弹性介质,当桩受力变位时,土与桩之间产生的压应力和变位可认为成比例的变化。

(4)桩底面下土石的垂向弹性抗力系数 K_v 为常数,桩侧面土石的侧向弹性抗力系数 K_H 随深度呈直线规律变化(m 法)或为常数(K 法)。

(5)当按悬臂桩考虑时,把滑面以上桩后的滑坡推力和桩前的抗力折算成作用在滑面上的弯矩和剪力均作为外荷载;把滑面下桩周介质视为弹性介质来计算侧向应力和抗力,从而计算桩的内力。有的在桩前滑面以上土体凭借其它构筑物保持稳定的条件下,把桩前及滑面以下介质均视为弹性介质来计算侧应力和抗力。

2. 公式推导(详见各相关资料)

3. 已采用过的不同类型桩的假设条件及计算公式

由于滑面下桩周的地层和地质情况,桩的作用机理及假设条件的不同,因而用同一理论推导出的公式和计算方法亦略有差异。接近判别式的临界值时,用刚性及弹性桩公式计算的结果近似。现根据桩的使用先后将其公式推导的假设条件和计算的侧向应力图式(图4)简介于后,供参考。

(1)单纯考虑桩的抗剪切强度而推导的公式,其结构相当于后期的“插笔”措施(宝成线史家坝4#隧道北口顺层滑坡采用)。

(2)将桩视为全嵌固的悬臂梁,单纯考虑桩的埋深,以桩侧向位移及转动产生应力之和为依据而推导的公式。桩嵌固段顶的侧应力需小于该处的侧向容许承载力,如图4(a)。(川黔线楚米铺滑坡,涪陵432厂滑坡采用)。

(3)三变位法及角变位法:桩的变位轴线为直线,受转角 $\Delta\varphi$ 和变位 Δx 控制,按悬臂及全

埋式桩计算,一般滑面以上桩前后的作用力均当外力,亦有在一定的保证条件下,将桩前滑面以上当弹性抗力考虑的,如图 4(b)、(c)、(d)(较广泛采用)。

(4)板桩公式:利用桩前后的主被动土压力计算,如图 4(e)(成昆线嘎立车站滑坡采用)。

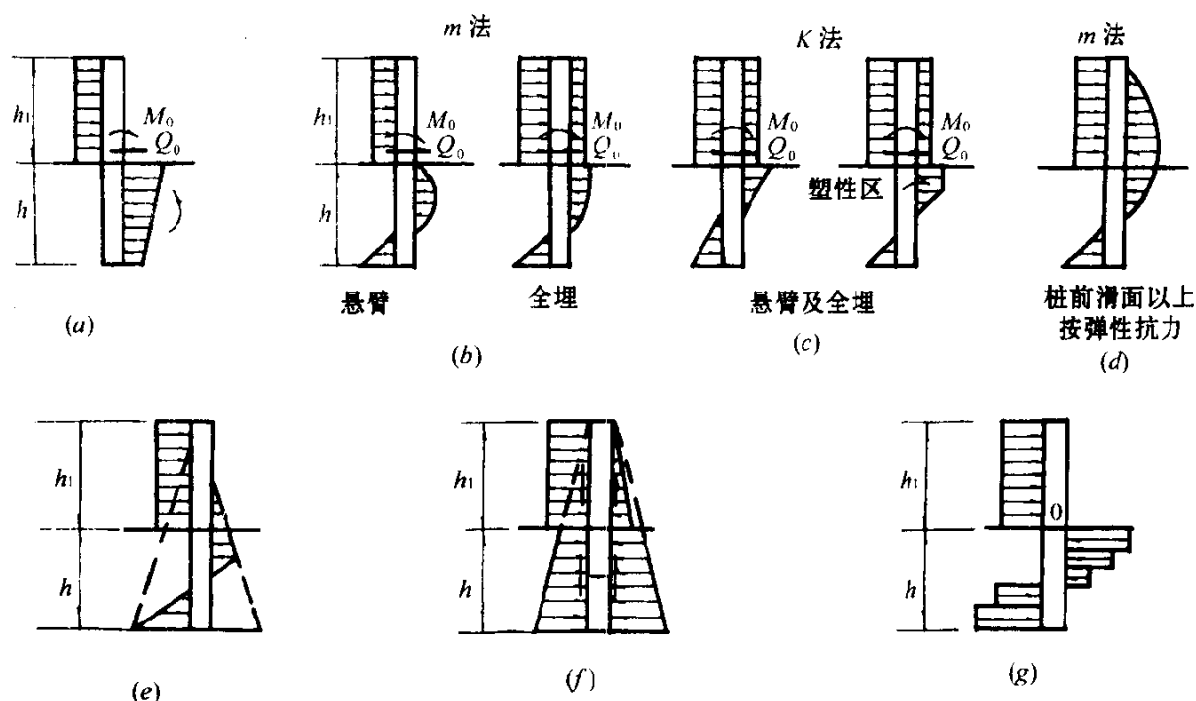


图 4

(5)极限平衡公式:利用桩前后的主被动土压力及桩左右的摩擦力计算,与一般挡墙计算一样需达到抗滑、抗倾稳定要求,如图 4(f)(太焦线松村滑坡,湘黔线老罗堡滑坡采用)。

(6)无量纲系数法:将构件变形轴的挠曲微分方程式 $EI \frac{d^4 x}{dy^4} = +p = -E_s x = -K \cdot y \cdot x$, 采用初参数解,并按桩底为自由端和固定端进行量纲分析,分别列出无量纲系数表,使复杂的计算大为简化。

(7)m 法:按弹性地基梁的挠曲微分方程式 $EI \frac{d^4 x}{dy^4} = -p = -my \cdot x \cdot B_p$, 用幂级数法求解。查表先求出三种桩底情况(全嵌于土石中、局部嵌入基岩,置于基岩面)下滑面处的 $X_0 \cdot \varphi_0$, 再计算得桩身任意截面处的位移(X_y)、转角(φ_y)、侧应力(σ_y)、剪力(Q_y)、弯矩(M_y)。

(8)链杆法:桩受力后绕固定点 O 转动 φ_0 角、平移 μ_0 位移,由于 $\varphi_0 \cdot \mu_0$ 及外荷载的作用下,在任一链杆切口所产生的相对变位之和等于零,因而可得出准则方程式。每一个链杆都可建立一个方程,共 n 个,再加上静力平衡二个方程,共 $(n+2)$ 个方程,可解 $(n+2)$ 个未知数。单位力在 i 点作用引起 k 点处的地基变位 μ_{ki} ; 桩的挠度 ω_{ki} ; $\delta_{ki} = \omega_{ki} + \mu_{ki}$, 用图乘法求解系数 δ_{ki} , 用矩阵法解方程。如图 4(g)。

(9)混合法:滑面以上按均布荷载的弹性地基梁;滑面以下按无荷载的弹性地基梁计算。

(10)椅式桩墙,门型刚架桩,排架抗滑桩,h 型排架桩,预应力锚索抗滑桩等算法(图 1), 近期亦有按桩土、结合法计算的。详见各计算资料。

(十)计算步骤

1. 根据检算断面确定桩位及桩前后的单宽水平外力;再根据外力、滑体厚度和嵌入地层情况试定桩的截面、间距及埋深。

2. 根据桩前后的单宽水平外力及间距计算每桩前后承受的总水平外力和荷载强度。
3. 把桩嵌入滑床部分截作分离体,计算桩上段作用于滑面处的剪力和弯矩(桩前滑面以上当弹性抗力考虑的桩除外)。全埋式桩还需查定桩前后滑面处地层的弹性抗力系数 A 和 A' 。
4. 根据滑体及滑床的岩土情况选定各自的 γ 、 $\varphi_{\text{总}}$ 、 m 或 C' 值及桩前岩土侧向容许承载力值。
5. 计算桩的惯性矩、计算宽度。确定采用混凝土强度及其弹性模量值。
6. 根据嵌入滑床的岩土情况选择判别式,计算变形系数,再结合桩的埋深得出计算深度,从而判明桩属刚性还是弹性。
7. 根据桩嵌入滑床的岩土情况选择相应的计算公式,计算刚性桩转点位置,刚、弹性桩的转角及不同截面处的侧向位移值,再计算各截面的侧应力、剪力、弯矩值及三者的最大值。
8. 检算桩身各截面(着重桩底及最大侧应力截面)的侧向容许承载力是否满足稳定条件。否则需调整桩长、截面尺寸及间距重新计算。
9. 绘制全桩的侧应力、剪力及弯矩图、材料覆盖图,供配筋计算用。
10. 配筋计算(参照土建规范,不唯规范)。

五、设计中尚待进一步探讨的问题

(一)滑坡推力的分布图式及桩受力产生变形而引起桩前后土石弹性抗力的分布图式均需实测验证。

(二)埋入土层中桩前后各截面的弹性抗力按弹性地基梁计算,又把散体主被动土压差值作为各截面的侧向容许承载力来满足桩的稳定条件,两者结合是否匹配,值得探讨。

(三)桩底及桩侧的垂向和侧向弹性抗力系数值,侧向弹性抗力系数随深度而变的比例系数值,目前多引用桥梁深基础的试验数值,而桩与桥墩受力情况及要求变位标准不一样,尚需实测适合抗滑桩边界条件的数值。

(四)尚需实测深埋条件下桩基及桩周土石的垂向和侧向抗压强度。

(五)多排桩及桩墙结合分级支挡设计中,桩排间及桩墙间的推力分配量,尚需实测。

(六)链杆法用于平置在弹性地基上的梁,地基各点的压缩模量 E 及弹性抗力系数 C_0 相同。引用于竖直埋入弹性地基内的桩,埋入岩层中尤可;埋在土层中,地基各点的 E 及 C' 均随深度及侧压力的增加而增加,似不适应。

参 考 文 献

- 1 铁道部科学研究院西北研究所编. 滑坡防治. 北京:中国铁道出版社,1977
- 2 铁道部第一勘测设计院主编. 滑坡地段路基. 铁路工程设计技术手册. 路基. 北京:中国铁道出版社,1992
- 3 铁三院一总队改规组. 桥梁墩台基础考虑土壤弹性抗力的计算. 铁路标准设计通讯,1972年7期
- 4 王道堂. 刚性桩的无量纲解法. 铁路标准设计通讯,1973年12期
- 5 铁道部科学研究院西北研究所主编. 滑坡文集(第一集、第三集、第六集). 北京:中国铁道出版社,1976、1982、1988

Elementary Study on Design of Anti-slide Pile

Liu Guangdai

(Northwest Branch, China Academy of Railway Sciences, Lanzhou, 730000)

ABSTRACT

This paper simply presents the new type of retaining structures since a new type of retaining structure of dug Anti - slide pile first used along Chengdu-Kunming Railway Line in 1967. It also expounds the way of obtaining various Calculated parameters, design procedures in normal anti-slide pile design and questions needing discussion in design.

Key words: dug anti-slide pile, new type retaining structure, subgroand stress check

虹吸排水降低边坡和滑坡地下水位的应用技术*

张颖钧 张永防

(铁道部科学研究院西北分院, 兰州, 730000)

摘 要

本文利用虹吸排水原理, 降低边坡和滑坡过高的地下水位, 以达到坡体稳定之目的。

关键词: 边坡 滑坡 地下水 虹吸排水

一、前 言

以往排除浅层地下水可以采用渗沟(边坡渗沟、支撑渗沟、截水和引水渗沟等等);排除深层地下水可采用渗水隧洞。但其工程数量大、施工困难、造价高。20世纪70年代国外发展水平钻孔排水, 大孔径竖井结合水泵抽水等项先进技术。这些措施在降低地下水位、提高边坡、滑坡的稳定性方面起着重要作用。但这些工程措施有的需要水平钻机, 技术条件要求高, 有的需要管理人员定期去井位抽水。上述种种原因限制了这些先进技术在我国的推广。

虹吸排水是一种古老的排水方法。在我国黄河中下游沿岸, 部分河岸高出两侧农田的地区, 可以利用虹吸管对这些农田进行灌溉和排淤^[2]。20世纪80年代末, 法国运用虹吸排水这一技术, 来解决边坡地下水位过高的问题, 降低了地下水位, 稳定了边坡, 取得了满意的效果。如代焦(Dijon)附近一公路由于地下水离路面标高只有2 m, 造成公路破裂而往下蠕动, 影响了公路的正常使用。后来采用虹吸排水方法, 在公路内侧打了35个垂直钻孔, 安装了塑料管虹吸排水系统, 使地下水位降低至8 m深。边坡蠕动消失, 保证了公路路面的稳定^[2]。

在完成了室内虹吸排水试验5组共40次;完成了虹吸排水形成和恢复方法的研究和试验, 湘黔线K93和成渝线K492路堑滑坡虹吸排水工点的设计、施工和观测;完成了漳龙线K8路堑滑坡工点的虹吸排水设计的基础上, 提出了边坡、滑坡地区虹吸排水虹吸管的最大可能安装高度、结构形式、排水井位布置, 形成和恢复了虹吸排水所需采取的措施。

由于此项研究工作——虹吸排水降低边坡、滑坡地下水位的应用技术直接来源于生产实践, 它在排除地下水方面具有独特的优点, 可根据地下水的情况, 自动排除地下水, 并且施工简单, 投资少, 日常保养和维修工作量少等特点。这一研究成果适宜于南方多雨地区的边坡和滑坡病害的整治工作。推广后将具有较高的经济效益。

二、虹吸排水室内试验

虹吸管的形成是由于管中真空的存在, 真空使得水充满了储水管道。在大气压力的作用

* 参加铁道部课题研究的还有广州铁路局张朝林、谭德山等和重庆铁路分局秦朝应、邱肇谦等。

下,利用管道进口和出口的水头差,使边坡、滑坡中的地下水通过管道越过某一高度到达低处的管路,称之为边坡、滑坡地下水虹吸排水管路系统。

1. 虹吸排水最大可能安装高度 Z

为了保证虹吸管的虹吸作用,必须正确地确定虹吸管高出供水池水位的超高值 Z ,如图1所示。以图1中的2—2水面为准,就断面1—1和虹吸管顶断面C—C可写出伯努利方程式,经简化后得虹吸管的安装高度 Z :

$$Z = h_{am} - h_c - (1 + \lambda L_1 / d + \sum \xi) v^2 / 2g \quad (1)$$

式中 h_{am} ——当地大气压水柱高度,其水柱高度与海拔高度的关系见表1^[3];

h_c ——虹吸管顶C—C处的防气化管顶压力水柱高度,管顶压力越大,真空值越小,虹吸作用越顺畅,一般取 $h_c = 1.0 \sim 2.0$ m水柱高度;

λ ——沿程水头损失系数;

L_1 ——虹吸管上升部分的长度(m);

d ——虹吸管管径(m);

ξ ——虹吸管局部损失系数;

v ——管中水流速度(m/s);

g ——重力加速度,取 9.8 m/s^2 。

表1 大气压力和海拔高度的关系

工点的海拔高度(m)		0	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000
大气压力	水银柱高度(mm)	760	742	724	707	690	674	658	635	594
	水柱高度(m)	10.33	10.08	9.84	9.60	9.37	9.16	8.94	8.62	8.12

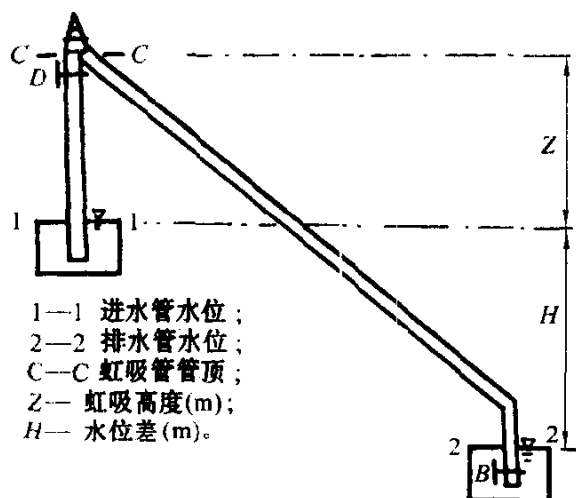


图1 虹吸原理示意图

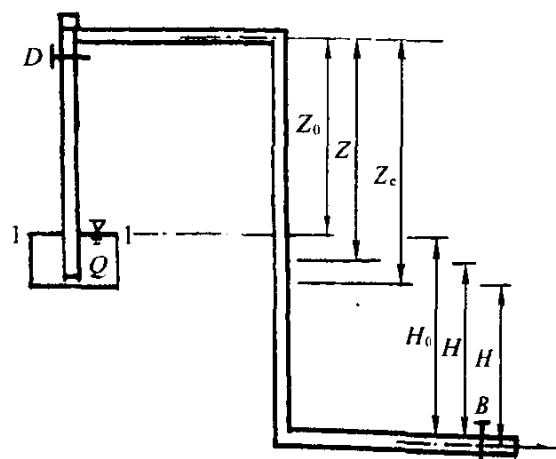


图2 虹吸排水试验结构示意图

当虹吸管中水流速度 $v = 0$ 时,就可求得当地虹吸管的安装高度 Z_0 ,式(1)就简化成:

$$Z_0 = h_{am} - h_c \quad (2)$$

或近似为: