

全长粘结式注浆锚杆抗拔力分析

李万喜, 刘建民

(西北工业大学 土木工程系, 陕西 西安 710072)

摘 要 根据拉拔时锚杆所受粘结应力的理论分布, 分析了相应的锚杆最大抗拔力及其适用性和影响因素, 为全长粘结式注浆锚杆的设计计算提供理论依据。

关键词 注浆锚杆 应力分布 抗拔力

中图分类号 TD353+.6 **文献标识码** A **文章编号** 1672-7428(2004)06-0006-03

Discussion on Wholly Grouted Anchor Pullout Resistance/LI Wan-xi, LIU Jian-min (Northwestern Polytechnical University, Xi'an Shanxi 710072, China)

Abstract :Based on the theoretical distribution of frictional stress, the maximal pullout resistance formula of wholly grouted anchor is derived. The suitability and influence factors are also discussed. The authors provide theoretical principle for design and calculation of anchors.

Key words :grouted anchor ;stress distribution ;pullout resistance

0 前言

岩土锚固是岩土工程领域的重要分支,已在边坡、基坑、矿井、隧道、地下工程等工程建设中得到广泛应用。采用锚固技术,能充分调用和提高岩土体的自身强度和自稳能力,确保施工的安全和工程稳定,并能节约工程造价,加快施工速度,具有显著的经济效益和社会效益。按照锚杆内部拉筋与水泥浆体间传力方式的不同,可将注浆锚杆分为拉力型、压力型和剪切型 3 种^[1]。目前大部分工程中采用的是拉力型注浆锚杆。这类锚杆的传力方式是通过拉筋与水泥浆体以及水泥浆体与岩土体间的粘结将外力依次传递到岩土体中。对于拉力型锚杆,其承受拉力的能力,一方面取决于钢筋的截面积和抗拉强度,这容易精确地设计并满足使用要求;另一方面则取决于锚固体的抗拔力,锚固体的抗拔力是影响单根锚杆承载力的关键。但是由于锚杆在岩土介质中受力的复杂性,使得锚杆承载力设计一直停留在经验上,或者作一些过于粗糙的假设,有必要建立简单实用、适应性强的锚杆抗拔力计算式。

许多学者通过对锚杆荷载传递机理的理论分析^[2~4],掌握了一些较为实用的拉力型锚杆在岩土中杆体与水泥浆体间或水泥浆体与岩土体间的粘结应力分布。这些研究表明,无论是锚杆体与浆体还是浆体与岩土体间的粘结应力在锚固段上的分布是

极不均匀的,而且在锚固体前端应力集中并形成峰值 $\tau_{\max}$,然后逐渐向末端减小并趋于 0,这与大量的试验测试结果是一致的^[6~8]。本文将根据这些理论分布,分析探讨其相应的锚杆最大抗拔力、适用性和影响因素。

1 拉力型锚杆粘结应力分布及抗拔力分析

1.1 基于 Mindlin 解的粘结应力与抗拔力分析

文献[2]利用 Mindlin 问题的位移解,假设水泥浆体与岩体为性质相同的弹性材料,岩体视为半空间,锚杆为半无限长,在孔口处岩体的位移与锚杆体的总伸长量相等,导出了全长粘结式锚杆的粘结应力沿杆体的分布为:

$$\tau(x) = \frac{Ptx}{2\pi a} e^{-\frac{1}{2}ax^2} \quad (1)$$

式中 $\xi = \frac{1}{(1+\mu)(3-2\mu)a^2} \left(\frac{E}{E_b} \right)$; E, μ ——分别为岩体的弹性模量和泊松比; a ——锚杆体半径; E_b ——锚杆体的弹性模量; P ——锚杆所受的拉拔力。

以文献[2]为基础,由(1)式对 x 求导取极值,可得到:当 $x = \sqrt{1/\xi}$ 时, τ 有极大值,即:

$$\tau_{\max} = \frac{P\sqrt{\xi}}{2\pi a} e^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

取 $\tau_{\max}$ 为水泥浆体与杆体间的极限粘结应力

收稿日期 2004-02-17

作者简介 李万喜(1969-),男(汉族),陕西大荔人,西北工业大学硕士研究生在读、工程师,工民建专业、岩土工程专业,从事地下工程施工和科研工作,陕西省西安市西北工业大学 447 号信箱,(029)82374883,lwanxi@tom.com 刘建民(1962-),男(汉族),陕西户县人,西北工业大学副教授,工程力学专业,从事岩土力学的科研和教学工作。

τ_u , 由(2)式可得锚杆的最大抗拔力为:

$$P_u = \frac{2\pi a}{\sqrt{t}} e^{\frac{1}{2}} \tau_u \quad (3)$$

1.2 基于水泥浆体粘结能力的粘结应力与抗拔力分析

文献[3]假定在岩体中,锚杆的锚固能力主要取决于粘结材料的粘结能力,杆体所受的粘结应力与杆体和孔壁间的相对位移成正比,导出了杆体与水泥浆体间的粘结应力分布为:

$$\tau(x) = ce^{-\frac{x}{D}\lambda} \quad (4)$$

式中 $\lambda = \sqrt{8K/E_b}$; K ——水泥浆体的剪切刚度; E_b ——锚杆体的弹性模量; D ——锚杆体直径; c ——积分常数。

由文献[3]的结果可知, $\tau_{\max} = \tau(0) = c_0$ 。如取 c 为水泥浆体与锚杆间的极限粘结应力 τ_u , 则由(4)式可得锚杆的最大抗拔力为:

$$P_u = \int_0^L \pi D \tau_u e^{-\frac{x}{D}\lambda} dx = \frac{\pi D^2 \tau_u}{\lambda} (1 - e^{-\frac{L}{D}\lambda}) \quad (5)$$

式中 L ——锚固段长度。

1.3 基于锚固体与岩土体间粘结能力的粘结应力与抗拔力分析

文献[4]在假定锚固体与岩土体间的剪力与剪切位移呈线性增加关系的基础上,建立荷载传递的双曲函数模型,获得了锚固体表面粘结应力沿锚固段长度分布为:

$$\tau(x) = \frac{\beta P}{\pi D_a^2} \frac{\cosh(\beta \frac{L-x}{D_a})}{\sinh(\beta \frac{L}{D_a})} \quad (6)$$

式中 $\beta = \sqrt{\frac{4G_s}{\pi E_a}}$; D_a ——锚固体直径; E_a ——锚固体等效弹性模量; G_s ——锚固体与岩土体界面的剪切模量; P ——锚杆受的拉拔力。

由式(6)可知:

$$\tau_{\max} = \tau(0) = \frac{\beta P}{\pi D_a^2} \cosh(\frac{\beta L}{D_a}) \quad (7)$$

根据此结果,取 $\tau_{\max}$ 为浆体与岩土体间的极限粘结应力 τ_u , 可得锚杆的最大抗拔力为:

$$P_u = \frac{\pi D_a^2 \tau_u}{\beta} \text{th}(\frac{\beta L}{D_a}) \quad (8)$$

2 分析与讨论

2.1 抗拔力理论解的适用性

(1) 以上均为在弹性变形范围内的理论分析结

果,只适用于弹性范围内锚杆的抗拔力计算。当 $\tau_{\max}$ 达到屈服强度时,随着外力的增大,在锚杆杆体与水泥浆体或水泥浆体与岩土体界面上将产生材料屈服流塑,或者出现浆体开裂破坏,此时粘结应力的最大值位置将随着外力的增加而向深部转移^[5,8],相应的锚杆位移量增大,影响锚杆的正常使用,因而,一般把屈服承载力作为锚杆最大承载力。

(2) 基于 Mindlin 位移解的抗拔力分析,把水泥浆体与岩体视为性质相同的弹性材料,锚杆的抗拔力主要取决于锚杆体与水泥浆体间的粘结能力,也就是水泥浆体对锚杆体的握裹能力,而没有考虑水泥浆体与岩体间的粘结能力,因而式(3)对于水泥浆体的弹性模量与岩体弹性模量相当时的锚杆抗拔力计算是合适的,特别是用于直接浇注于混凝土中的拉力型锚杆,理论分析结果和试验实测结果能较好地吻合^[5]。对一般的岩体锚杆,在弹性状况下锚杆所受的粘结应力分布范围很小,大约 $(30 \sim 40) D$ 范围内^[6],只要锚杆有一定的长度,前面在推导中假设锚杆为无限长在一般情况下是合理的。

(3) 基于锚固体与岩土体界面间粘结能力的抗拔力分析,将锚杆体与水泥浆体视为一个整体——锚固体,锚杆的抗拔力主要取决于锚固体与岩土体间的粘结能力。对于软岩和土层中的普通钻孔锚杆,在锚杆、粘结材料和岩土体三者间,锚杆与粘结材料间的粘结强度远大于孔壁岩土体与粘结材料间的粘结强度^[5,8],锚杆破坏一般出现在浆体与岩土体界面上。因而式(8)适用于软岩和土层中注浆锚杆的抗拔力计算。

(4) 基于水泥浆体粘结能力的锚杆抗拔力分析,把粘结材料的粘结能力作为影响抗拔力的关键,适用于粘结材料剪切刚度较低的岩体锚杆抗拔力的计算。

2.2 影响抗拔力的因素

(1) 由以上分析可知,锚杆体与浆体或浆体与岩土体间的极限粘结应力 τ_u 是影响锚杆的抗拔力的关键。极限粘结应力 τ_u 除与岩体、浆体的物理力学参数有关外,还与岩体的裂隙、节理分布和岩体的破碎程度等特性有关, τ_u 值一般需要通过实验来确定。在实际工程中,通过提高水泥浆体强度和注浆质量,增强浆体与锚杆体、岩土体间的粘结能力,是提高锚杆抗拔力的有效途径。

(2) 适当增加锚杆(或锚固体)的直径和长度也可以增加锚杆的抗拔力。由于施工技术条件的限制,在实际工程中增加锚杆(或锚固体)的直径总是

有限的。大量的试验和工程实测表明^[8],在一定的有效长度范围内,增加锚杆长度可以提高抗拔力,锚杆长度超过这一有效长度,由于粘结应力分布的不均匀性,而且沿锚固段衰减很快,抗拔力随长度的增加是很少的。因而,一味增加锚杆长度并不能有效提高锚杆抗拔力。

(3) 锚杆的抗拔力还与锚杆体、粘结材料和岩土体本身性质有关,并通过(3)、(5)、(8)式中的 t 、 λ 、 β 体现出来,特别是粘结应力的分布形式受锚杆体、粘结材料和岩土体本身性质影响较大。通过取不同的 t 、 λ 、 β 值比较可以得到,当围岩较松软时,粘结应力的最大值较小,应力分布范围较大,分布比较均匀;反之,当围岩较坚硬时,粘结应力的最大值较大,应力分布范围较小,应力集中明显。因而在坚硬岩体中锚杆的有效锚固长度不大,而对于软岩或土层中的锚杆,所需的锚固长度较长。

3 结论

(1) 本文根据拉力型锚杆粘结应力的理论分布,给出了相应的锚杆最大抗拔力的解析式,为全长粘结式注浆锚杆的设计计算提供了理论依据。

(2) 以上锚杆抗拔力计算式都是在一定的假设

下推导的,都有其适用范围。在实际工程中确定拉力型锚杆抗拔力时,还应根据工程的实际情况,充分考虑各方面的因素。

(3) 全长粘结式锚杆的抗拔力主要取决于界面粘结应力、锚杆(或锚固体)的直径和长度,但当锚杆长度超过一定范围时,增加锚固段长度并不能有效提高锚杆抗拔力。

参考文献:

- [1] 陆士良,汤雷,杨新安. 锚杆锚固力与锚固技术[M]. 北京:煤炭工业出版社,1998.
- [2] 尤春安. 全长粘结式锚杆受力分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, (3) 339-341.
- [3] 汤雷,蒋金平. 锚杆支护强度[J]. 地下空间, 1997, (2) 265-69.
- [4] 张季如,唐保付. 锚杆荷载传递机理的双曲线函数模型[J]. 岩土工程学报, 2002, (2) 188-192.
- [5] 朱焕春,荣冠,肖明,等. 张拉荷载下全长粘结锚杆工作机理试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, (3) 379-384.
- [6] 赵震英,曾亚武. 岩锚吊车梁承载机理模型试验研究[J]. 岩土工程学报, 2002, (2) 150-153.
- [7] 贾金青,宋二祥. 滨海大型地下工程抗浮锚杆的设计与试验研究[J]. 岩土工程学报, 2002, (6) 769-771.
- [8] 程良奎,范景伦,韩军,等. 岩土锚固[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2003.

加大建设防灾减灾体系 《全国地质灾害防治规划》通过评审

国土资源部网站消息 经中国地质环境监测院一年的努力,《全国地质灾害防治规划》(2004~2020年)已经完成并于2004年4月29日通过了国土资源部组织的专家评审。

据统计,1995年以来,我国仅崩塌、滑坡、泥石流等突发性地质灾害就造成10499人死亡、失踪和65356人受伤,造成经济损失575亿元。到2003年,全国共查出地质灾害隐患点16万多个,重大隐患点2000多处,1150万人和2000亿元财产受到严重威胁,50%以上的国土面积受到地质灾害的严重影响。

为了满足我国社会和经济对地质灾害防治工作的需求,针对我国地质灾害现状、地质灾害发展趋势、地质灾害防治进展及地质灾害防治面临的形势,《规划》明确了2004~2020年我国地质灾害防治的总体目标,划分了地质灾害易发区和重点防治区,提出了实施地质灾害防灾减灾工程的内容和保障措施。

《规划》要求,2004~2010年,在完成全国陆地700个县(市)地质灾害调查与区划的基础上,全面完成主要地质灾害易发区、重要经济区、主要城市、国家重大工程建设区的地质灾害调查,并完成我国重要经济区的地质灾害风险区划;地质灾害群测群防监测网络基本覆盖全国,在三峡库区、长江三角洲地区、环渤海地区建成地质灾害专业监测网,在重点防治区实现地质灾害的有效监测预报;建成国家、省(区、市)、市三级地质灾害应急响应系统和全国地质灾害信息系统,完成三峡库区重大地质灾害隐患点的治理和危及城镇公

共安全重大地质灾害隐患点的治理,完成全国160万人受地质灾害隐患点威胁的搬迁避让工程。到2010年,全国大部分重点地质灾害防治区初步建成防灾减灾体系,使地质灾害造成的人员伤亡减少20%,因地质灾害造成的经济损失占国民生产总值的比例降低20%。

2011~2020年,开展第三轮全国地质灾害调查,完成覆盖全国的地质灾害风险区划,全面掌握我国陆地和近海地质灾害的分布与危害程度;建立全国相对完善的地质灾害监测网络和地质灾害应急响应系统,完成遭受地质灾害威胁的零散居民点的搬迁避让工程和乡镇以上城镇、居民集中点、铁路和重要交通干线地质灾害隐患点的治理工程;建立相对完善的地质灾害防治法律法规体系和监督管理体系,并使人为引发的地质灾害得到根本控制。到2020年,在全国重点地质灾害防治区建成完整的防灾减灾体系,使地质灾害造成的人员伤亡减少50%,因地质灾害造成的经济损失占国民生产总值的比例降低50%。

为了实现2004~2020年全国地质灾害防治目标,《规划》还依据调查划分了地质灾害易发区、地质灾害防治分区和地质灾害重点防治区,规划了2004~2020年地质灾害调查评价、地质灾害监测预警体系、地质灾害防治等16项防灾减灾工程,提出了健全法规制度、建立目标责任制、完善地方防治体系、依靠科技进步、加大经费投入和加强宣传教育等保障措施。