

文章编号: 1674—8247(2018)03—0018—05

全长粘结型水泥砂浆锚杆设计及基本试验浅析

张耀

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要: 全长粘结型锚杆广泛应用于多种工程的岩土体加固中,其设计的关键的是采用正确的计算方法和适宜的设计参数,为验证设计参数和施工工艺,施工前应进行锚杆抗拔测试的基本试验。本文针对现行相关规范对锚杆设计及基本试验的相关规定不尽相同这一情况,从全长粘结型锚杆的加固机理出发,对锚杆的设计方法进行了比选,提出了适宜的计算方法。并就基本试验的主要目的进行了分析,提出了最大试验抗拔力预估值、试验锚杆直径和试验锚杆长度应满足的条件。

关键词: 全长粘结; 锚杆设计; 基本试验

中图分类号: U213.1+52.1 **文献标志码:** A

Brief Analysis on Design and Basic Test of Full-length Bonded Cement Mortar Anchor Bolt

ZHANG Yao

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: Full-length bonded anchor bolt is widely used in the rock and soil reinforcement of various projects, its key design is to use the correct calculation method and appropriate design parameters. In order to verify the design parameters and construction technology, the basic test should be carried out before construction. But the relevant regulations on the anchor bolt design and basic test of full-length bonded bolt in current codes are not identical. In view of this situation, based on the reinforcement mechanism of full-length bonded anchor bolt, the design method is compared and selected in this paper, and the suitable calculation method is proposed. The main purpose of the basic test is analyzed too, and the conditions for the pre-estimate of maximum test pulling resistance, the diameter of test bolt and the length of test bolt to be satisfied are put forward.

Key words: full-length bonded; anchor bolt design; basic test

全长粘结型普通水泥砂浆锚杆是非预应力锚杆的一种常见类型,适用于被锚固岩土体容许有适度变形的加固工程,广泛应用于交通工程、矿业工程及水利工程^[1]。在铁路工程中,全长粘结型水泥砂浆锚杆多应用于隧道围岩、路堑边坡及基坑的岩土体加固,通过锚杆与原位岩土体形成复合结构,提高岩土体强度,充分发挥岩土体自身结构强度潜力,达到对岩土体加固的

目的。

在锚杆的设计过程中,锚杆的几何尺寸根据锚杆拉力设计值,通过选取相关设计参数计算确定。为验证锚杆设计参数和施工工艺的合理性,须在锚杆施工前进行锚杆极限抗拔力测试基本试验。本文基于全长粘结型水泥砂浆锚杆的加固机理对锚杆设计和基本试验目的、试验设计等进行分析和探讨。

收稿日期:2018-01-31

作者简介:张耀(1988-),男,工程师。

引文格式:张耀. 全长粘结型水泥砂浆锚杆设计及基本试验浅析[J]. 高速铁路技术,2018,9(3):18-22.

ZHANG Yao. Brief Analysis on Design and Basic Test of Full-length Bonded Cement Mortar Anchor Bolt [J]. High Speed Railway Technology, 2018,9(3):18-22.

1 全长粘结型锚杆加固机理

全长粘结型锚杆由全长粘结的杆体、垫板和紧固件组成。锚杆杆体一般采用普通螺纹钢筋,长度1.5~12 m,注浆体一般采用水泥注浆材料。全长粘结型锚杆是一种原位岩土加筋技术,其对岩土体的加固作用主要体现在以下几个方面^[2]。

(1)增加岩土体强度作用。在岩土体内设置一定长度与分布密度的锚杆,与岩土体共同作用形成复合体,加以钻孔高压注浆,充填土体空隙或岩体节理裂隙,使岩土体的整体性得到加强,被加固岩土体的自身强度得以提高。

(2)骨架约束作用。锚杆在岩土体内分布的空间组合成复合体的骨架,使复合体构成一个整体,从而约束岩土体的变形。另外,锚杆与岩土体间摩阻力的发挥,也具有约束岩土体变形的作用。

(3)荷载分担作用。在复合体内,锚杆与岩土体共同承担外荷载和自重应力,岩土体进入塑性状态后,应力逐渐向锚杆转移。由于锚杆较岩土体具有很高的抗拉、抗剪和抗弯刚度,从而使复合体具有塑性变形延迟、渐进开裂等特点。

(4)应力传递与扩散作用。路堑边坡开挖后,边坡内部应力调整导致边坡岩土体发生变形,从而使穿过滑裂面的锚杆进入持力状态,滑裂域内部分应力通过锚杆传递到稳定岩土体中,并分散在较大范围内,从而降低了应力集中程度。

(5)约束坡面变形作用。锚杆与坡面传力结构有效连接,二者共同作用,对边坡变形起到约束作用。

锚杆通过加固和约束岩土体,既可增强岩土体的整体刚度,又能提高岩土体的抗拉、抗剪强度。在荷载作用下,锚杆、被加固岩土体及注浆材料间保持相对稳固是确保加固效果的基础。因此,在锚杆的设计过程中,合理确定设计参数并在施工前通过基本试验验证设计参数和确定施工工艺至关重要。

2 全长粘结型锚杆设计

全长粘结型锚杆设计及施工基本流程如图1所示。其设计主要包括锚杆受力分析、初拟设计参数、确定锚杆尺寸三个方面。

2.1 受力分析

受力分析是锚杆设计的基础。旨在确定锚杆承受的轴向荷载,一般根据岩土体的破坏形式确定计算方法。全长粘结型锚杆主要应用于浅层或局部岩土体加固,应根据被加固岩土体内部潜在破裂面的位置来计

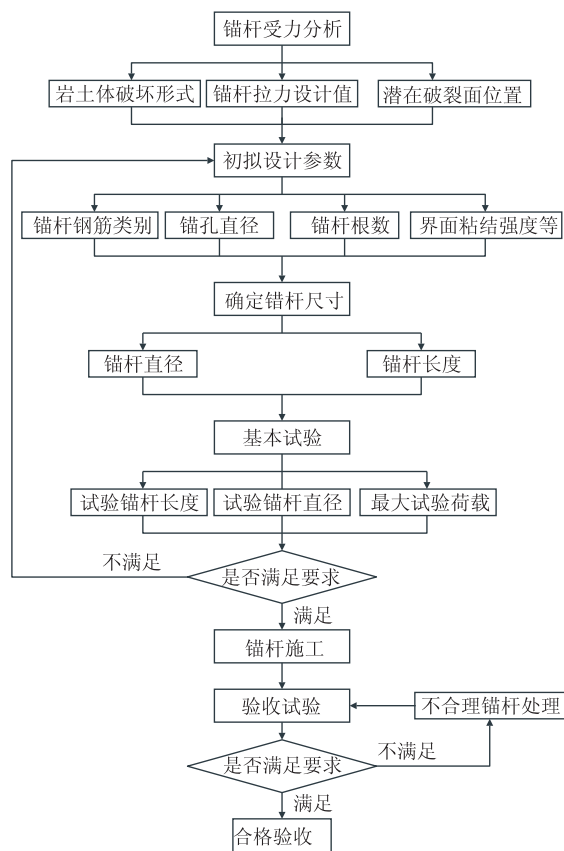


图1 全长粘结型锚杆设计及施工基本流程

算锚杆受力大小及锚杆的非锚固段长度,潜在滑面可视实际情况按工程经验、理论计算或相关规范确定。

2.2 初拟设计参数

初拟锚杆设计参数是锚杆设计的重点。锚杆钢筋类型、锚孔直径、锚杆根数可结合工程实际需要或根据经验拟定,锚杆、锚固体、锚固地层间的界面粘结强度、锚固段长度对极限粘结强度的影响系数、多根锚杆钢筋界面粘结强度降低系数等应根据相关规范^[3-5]进行拟定。

2.3 锚杆尺寸计算

现行相关规范中锚杆设计的计算方法不尽相同。文献[3]中锚杆轴向荷载采用锚杆拉力设计值,根据标准作用组合下的轴向拉力标准值、作用分项系数和工作条件系数确定。锚杆钢筋强度、锚杆与锚固体间粘结强度均采用强度设计值,计算锚杆截面和根据锚杆与锚固体间粘结强度计算锚固段长度时不再考虑额外的安全储备。锚固体与地层间粘结强度采用标准值,通过抗拔安全系数(取决于锚杆服务年限、破坏后果和地层蠕变特性等因素)反应不同安全等级下锚固体与地层间粘结强度的设计值。此外,通过锚固段长度对极限粘结强度的影响系数来反应“锚固体与锚固地层间平均粘结应力随锚固段长度增加而减小”的应

力分布规律^[7-8]。

文献[4]中锚杆轴向荷载采用锚杆拉力设计值,锚杆钢筋强度、界面粘结强度均采用强度标准值,通过抗拉、抗拔安全系数分别保证锚杆截面及锚固段长度的安全储备,同样考虑了锚固段长度对极限粘结强度的影响。由于抗拉安全系数规范取值较大,锚杆截面计算结果一般偏于保守。另外,锚杆钢筋和锚固体的物理力学性质相对可控,因而锚杆钢筋强度、锚杆与锚固体间粘结强度宜采用强度设计值,不再考虑安全储备,以使计算结果经济合理。

文献[5]中锚杆轴向荷载采用锚杆拉力标准值,锚杆钢筋强度、锚杆与锚固体间粘结强度均采用强度设计值,锚固体与地层间粘结强度采用标准值,通过抗拉、抗拔安全系数分别保证锚杆截面及锚固段长度的安全储备,但未考虑了锚固段长度对极限粘结强度的影响,可能导致计算结果有一定的误差。

综上,锚杆几何尺寸宜按照文献[3]确定,计算公式如下:

$$N_d = 1.35 \cdot \gamma_w \cdot N_k \quad (1)$$

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot N_d}{f_y \cdot n \cdot \pi}} \quad (2)$$

$$l_a \geq \text{MAX} \left(\frac{K \cdot N_d}{f_{mg} \cdot \pi \cdot D \cdot \psi}, \frac{N_d}{f'_{ms} \cdot n \cdot \pi \cdot d \cdot \xi} \right) \times 10^{-3} \quad (3)$$

$$l \geq l_a + l_e \quad (4)$$

式中: N_d ——锚杆拉力设计值(N);

N_k ——锚杆拉力标准值(N);

γ_w ——工作条件系数,一般情况取 1.1;

K ——锚固段注浆体与地层间的粘结抗拔安全系数;

f_y ——普通钢筋抗拉强度设计值(MPa);

f_{mg} ——锚固段注浆体与地层间极限粘结强度标准值(MPa);

f'_{ms} ——锚固段注浆体与筋体间粘结强度设计值(MPa);

ψ ——锚固段长度对极限粘结强度的影响系数;

ξ ——采用 2 根或 2 根以上钢筋时,界面粘结强度降低系数,取 0.70 ~ 0.85;

n ——锚杆钢筋根数;

d ——锚杆钢筋直径(mm);

D ——锚杆锚固段钻孔直径(mm);

l_a ——锚固段长度(m);

l_e ——非锚固段长度(m);

l ——锚杆钢筋长度(m)。

3 锚杆基本试验

锚杆的基本试验是在工程锚杆施工前,为验证锚杆设计参数和施工工艺,在现场进行的锚杆极限抗拔力试验,正确的试验方法和合理的试验设计是达到试验目的、验证和优化设计方案、确保工程质量和安全的基础。

3.1 试验目的

锚杆基本试验的目的是验证锚杆设计参数与施工工艺。从锚杆的设计过程可知,锚杆钢筋几何尺寸与普通钢筋抗拉强度设计值(f_y)、锚固段注浆体与筋体间粘结强度设计值(f'_{ms})及锚固段注浆体与地层间极限粘结强度标准值(f_{mg})3 个参数密切相关。对于确定类型的普通螺纹钢筋和确定抗压强度的灌浆体,由于二者的物理力学特性具有很小的离散性, f_y 和 f'_{ms} 均为定值。而岩土体由于具有各向异性、非均匀性的特点,同一类别的岩土体与锚固体间的极限粘结强度具有较大的离散性,故 f_{mg} 的取值难以用一确定值表示,规范中均为一个取值范围,亟待通过现场试验予以验证。因此,锚杆基本试验对设计参数的验证主要是验证锚固体与岩土层间的粘结强度。

3.2 试验设计

3.2.1 试验方法

锚杆基本试验一般采用多循环加卸载法,其加载及卸载过程如图 2 所示。

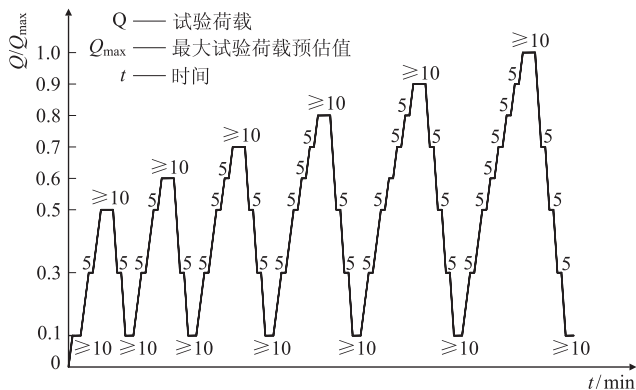


图2 多循环加卸载试验加载及卸载过程

多循环加卸载初始荷载宜取最大试验荷载预估值的 10%,第一循环的最大试验荷载值为预估最大试验荷载值的 50%,依次增加 10%,至第六循环加载至预估最大试验荷载的 100%。在每一循环的非最大荷载作用下,每级荷载加载或卸载完成后持荷 5 min,并在第 0 min、5 min 测读锚头位移。在每一循环的最大荷载作用下,应在加载完成后,每隔 5 min 测读一次锚

头位移,直至锚头位移相对稳定后方可卸载。当加载至最大试验荷载预估值,尚未出现终止加载的情况时,宜按最大试验荷载预估值10%的荷载增量继续进行1~2个循环的加卸载试验^[6]。

通过多个循环的加载和卸载过程,测定锚头在各级荷载下的弹(塑)性位移,从而确定锚杆的极限抗拔力,并据此计算锚固体与岩土层间的粘结强度。

3.2.2 最大试验荷载预估值

为避免试验过程中杆体出现破坏危及试验人员安全,并防止试验结果中混入杆体自身的非线性变形量,锚杆试验的最大试验荷载预估值应按杆体的最大容许拉力值进行控制。文献[3]中规定“锚杆的最大试验荷载应取杆体极限抗拉强度标准值的75%或屈服强度标准值的85%”,文献[4]中规定“锚杆的最大试验荷载不宜超过锚杆杆体极限承载力的0.8倍”,文献[5]中规定“基本试验时最大的试验荷载不应超过杆体标准值的0.85倍,普通钢筋不应超过其屈服值0.90倍”,文献[6]中规定“钢筋锚杆杆体应力不应超过杆体屈服强度标准值的0.90倍”。

可见,现行相关规范对最大试验荷载均有规定,但标准不尽相同。由于杆体承受的荷载强度超过屈服极限标准值后,杆体将产生显著的塑形变形,因此,通过试验确定锚固体与锚固地层间的相对位移时,杆体应力不应超过杆体的屈服强度标准值。综合考虑各规范规定,锚杆基本试验的最大试验荷载宜按照文献[5]、文献[6]执行。

3.2.3 试验锚杆尺寸

锚杆在加载过程中可能出现四种情形:一是锚固体与锚固地层之间破坏;二是杆体与锚固体之间破坏;三是锚杆杆体破坏;四是均不发生破坏。由于锚杆承受的最大试验荷载强度小于其屈服强度,因此锚杆在小于最大试验荷载强度的各级荷载作用下处于弹性变形阶段,不会发生杆体的破坏,出现情形三的原因是达到最大试验荷载后均未发生破坏而继续加载,导致杆体应力超过其屈服强度所致。

显然,后三种情形无法确定锚固体与锚固地层间的粘结强度,应通过加大试验锚杆直径或减小试验锚杆锚固段长度,使锚固体与锚固地层间成为抗拔的最薄弱环节,在加载过程中发生锚固体与锚固地层间的破坏。此时锚固体与锚固地层间的预估破坏荷载(理论计算值)作为基本试验的试验抗拔力,若试验结果锚杆极限抗拔承载力大于试验抗拔力,则说明设计参数 f_{mg} 取值满足要求,反之,则取值不满足要求。

另外,由于 f_{mg} 取值具有不确定性,文献[6]规定

“最大试验荷载预估值较预估破坏荷载大0%~50%”,考虑多循环加卸载试验的加载特点,宜将最大试验荷载预估值确定为1.25倍试验抗拔力,如此则第四循环的最大荷载($0.8Q_{max}$)正好等于试验抗拔力,从而根据本循环的锚头位移情况,即可判定锚杆抗拔是否满足设计要求。

为此,最大试验荷载预估值、试验锚杆的直径和锚固段长度需满足以下条件:

$$Q_{max} \leq 0.9 \cdot f_{yk} \cdot A_s \quad (5)$$

$$Q_{max} = 1.25 \cdot Q_b \quad (6)$$

$$Q_b \leq f'_{ms} \cdot n \cdot \pi \cdot d_0 \cdot l_{a0} \cdot \xi \quad (7)$$

$$Q_b = f_{mg} \cdot \pi \cdot D \cdot l_{a0} \cdot \psi_0 \quad (8)$$

$$A_s = \frac{1}{4} \cdot n \cdot \pi \cdot d_0^2 \quad (9)$$

式中: Q_{max} ——最大试验荷载预估值(N);

Q_b ——试验抗拔力(N);

f_{yk} ——普通钢筋抗拉强度标准值(MPa);

A_s ——试验锚杆截面积(mm^2);

ψ_0 ——试验锚杆锚固段长度对极限粘结强度的影响系数;

d_0 ——试验锚杆直径(mm);

l_{a0} ——试验锚杆锚固段长度(mm)。

其余符号意义同前,且与对应设计参数取值一致。

值得一提的是,在基本试验过程中,为了减小承载板下土体应力对试验结果的影响,试验锚杆宜设置0.5~1.0m的自由段。

3.3 试验结果

根据各级荷载对应的锚头位移绘制荷载—位移($Q-s$)曲线、荷载—弹性位移($Q-s_e$)曲线和荷载—塑性位移($Q-s_p$)曲线,并按照锚杆破坏(或位移稳定)的判定标准,确定单根试验锚杆的极限抗拔承载力,通过对各试验锚杆的极限抗拔力进行数理统计,确定该批锚杆的极限抗拔力(Q_u)。

若按试验预期,试验锚杆均发生锚固体与锚固地层间的破坏,则可根据试验确定的极限抗拔力,按式(10)计算锚固体与锚固地层间的粘结强度。否则,说明设计参数 f_{mg} 取值较保守,实际粘结强度较大,如需确定锚固体与锚固地层间的粘结强度(q_{sk}),应调整最大试验荷载预估值或试验锚杆参数重新进行试验。

$$q_{sk} = \frac{Q_u}{\pi \cdot d_0 \cdot l_{a0} \cdot \psi_0} \quad (10)$$

式中: Q_u ——锚杆极限抗拔承载力(N);

q_{sk} ——锚固体与锚固地层间的粘结强度(MPa)。

其余符号意义同前,且与对应试验参数取值一致。

4 结论

(1) 全长粘结型锚杆是通过与岩土体形成复合体起到对岩土体的加固和约束作用。锚杆设计应根据岩土体的破坏形式确定计算方法,根据潜在破裂面的位置确定受力大小。

(2) 锚杆几何尺寸计算中,锚杆钢筋强度、锚杆与锚固体间粘结强度宜采用强度设计值,并应考虑“锚固体与锚固地层间平均粘结应力随锚固段长度增加而减小”的应力分布规律。

(3) 锚杆基本试验对设计参数的验证中,最主要的是验证锚固体与岩土层间的粘结强度,因此,最大试验荷载预估值、试验锚杆直径及长度间应满足相应条件,使加载过程中发生锚固体与锚固地层间的破坏,从而确定二者间的粘结强度,达到指导和优化设计的目的。

参考文献:

- [1] 程良奎. 岩土锚固研究与新进展[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(21): 3803-3811.
CHENG Liangkui. Research and New Progress in Ground Anchorage [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(21): 3803-3811.
- [2] 李海光. 新型支挡结构设计工程实例[M]. 北京: 人民交通出版

社, 2011.

LI Haiguang. Design and Project Cases of New Retaining Structures [M]. Beijing: China Communications Press, 2011.

- [3] GB 50086-2015 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范[S].
GB 50086-2015 Technical Code for Engineering of Ground Anchorages and Shotcrete Support [S].
- [4] CECS 22-2005 岩土锚杆(索)技术规程[S].
CECS 22-2005 Technical Specification for Ground Anchors [S].
- [5] GB 50330-2013 建筑边坡工程技术规范[S].
GB 50330-2013 Technical Code for Building Slope Engineering [S].
- [6] JGJ/T 401-2017 锚杆检测与监测技术规程[S].
JGJ/T 401-2017 Technical Specification for Testing & Monitoring of Anchors [S].
- [7] 韩军, 陈强, 刘元坤, 等. 锚杆灌浆体与岩(土)体间的粘结强度[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(19): 3482-3486.
HAN Jun, CHEN Qiang, LIU Yuankun, et al. Bond Strength between Anchor Grout and Rock or Soil Masses [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(19): 3482-3486.
- [8] 尤春安. 全长粘结式锚杆的受力分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(3): 339-341.
YOU Chun'an. Mechanical Analysis on Wholly Grouted Anchor [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2000, 19(3): 339-341.

(编辑: 刘会娟 苏玲梅)

(上接第17页)

理、取值等进行了研究,提出最小坡段长度取值应在满足基本要求(长度不小于450 m)的前提下根据纵断面具体条件计算获得,并分析得出最大坡度对应最大坡段长度取值。

参考文献:

- [1] 易思蓉. 铁路选线设计(第四版)[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2017.
YI Sirong. Principles of Railway Location and Design (Fourth Edition) [M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2017.
- [2] 易思蓉. 铁道工程(第三版)[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2012.
YI Sirong. Railway Engineering (Third Edition) [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2012.
- [3] 朱颖, 易思蓉. 高速铁路曲线参数动力学分析理论与方法[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2011.
ZHU Ying, YI Sirong. Theory and Method for Dynamic Analysis of Curve Parameters of High Speed Railway [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2011.
- [4] 朱颖, 吕希奎, 许佑顶. 动车组牵引计算与仿真系统[M]. 北京: 中

国铁道出版社, 2015.

ZHU Ying, LYU Xikui, XU Youding. Traction Calculation and Simulation System of EMU [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2015.

- [5] TB 10621-2014 高速铁路设计规范[S].
TB 10621-2014 High Speed Railway Design Specification [S].
- [6] 中铁二院工程集团有限责任公司. 高速铁路建造技术(设计卷)[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. High Speed Railway Construction Technology (Design Volume) [M]. Beijing: China Railway Press, 2015.
- [7] 白宝英. 高速铁路线路纵断面设计标准及其应用研究[J]. 铁道标准设计, 2010, 54(7): 4-7.
BAI Baoying. Study on the Design Standard and Application of Longitudinal Section of High Speed Railway Line [J]. Railway Standard Design, 2010, 54(7): 4-7.
- [8] 郝瀛. 铁道工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2000.
HAO Ying. Railway Engineering [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2000.

(编辑: 车晓娟 苏玲梅)