

FISV360 植 筋 锚 固 技 术

张 志 强

(云南怡成建筑设计有限公司 昆明 650032)

(Yunnan Yicheng Architectural Design Compang, Ltd.)

筑 龙 网
www.zhulong.com

摘要 在多项工程、近 3000m 长度的植筋设计与施工实践中,参考欧洲规范、慧鱼集团 FISV360 植筋系统技术资料,结合我国规范标准,对植筋锚固设计与适用条件提出相应的方法及建议,供工程设计参考。

关键词 标准操作 砼基材 超规范设计 锚固长度

ABSTRACT In the nearly 3000m FISV360 design and practical construction for many engineering projects, reference to European Code and technical data of FISV360 system as well as combination with the national regulation and standard, for the FISV360 anchorage design and applicable conditions, give the relevant methods and suggestions for your reference.

KEYWORDS Standard operation Concrete foundation material to anchor FISV360 Overcode design Anchorage length

一、FISV360 锚固系统简介

FISV360 注射式植筋系统是一套由德国慧鱼集团(fischer)提供的化学粘结锚固植筋技术,适用于抗震加固、结构改造及工程补救中的螺纹钢钢筋种植和螺杆种植。

系统由 11 个部件组成,形成机具式、成品注射剂标准操作组合工法,本文暂且称之为“标准操作”。系统组成:注射剂 FISV360、注射接头、静力混合管、注射式锚栓套管(FIP、FIH、FIPM)、刷子、气泵、注射枪 FIPP、气动注射枪。注射剂为主剂及硬化剂 2 剂硬包装,混合型高强乙烯基酯砂浆,不含苯乙烯,安全无毒,对湿度敏感度低,常温下不蠕变,抗酸碱、抗老化,固化时间短,施工快捷简便。基材温度施工范围: $-5^{\circ}\text{C} - +40^{\circ}\text{C}$; 适用于不同基材:砼、天然石块、实心砌体、空心砌体,本文着重探讨砼基材情况下的锚固问题。

二、植筋设计及施工现状

目前的工程实际中,钢筋种植在设计方面暂无规范可循,施工上也存在 2 种工法,即本文所指的标准操作工法和人工操作工法。2 种工法最大的区别在于:标准操作采用成品包装注射剂胶结材料,由机具组合成操作系统;人工植筋工法则需现场拌制胶结材料,并采用人工灌填方法。因此不同的植筋方法、不同的胶结材料会在质量和效果上产生差异,这一点在设计上不容忽视。

植筋设计中,设计人员通常依据所选材料商家提供的技术资料进行设计,未考虑不同工法、不同材料所产生的差异。笔者通过对 FISV360 和 HY150 植筋系统的工程应用实践,并参考慧鱼集团提供的技术资料及拉拔试验资料^[5],对标准操作工法的植筋锚固设计与施工提出一些看法。

三、植筋锚固设计理论

1. 锚固设计思路

设计思路依据欧洲代号 2^[1],并与我国现行建筑结构设计统一标准^[2]、荷载规范^[3]及砼结构规范^[4]所采用的分项系数表达式统一。对于钢材、胶结剂、砼材料分项系数取值如下:钢筋 $\gamma_s = 1.08 - 1.09$ (直径 $\geq 28\text{mm}$ 时: 1.09);胶结剂 $\gamma_g = 1.35$ (与砼统一);砼 $\gamma_c = 1.35$ (同规范^[4])。

2. 3 种破坏模式

植筋锚固的破坏有 3 种模式:钢筋拉断破坏(图 1)、胶结剂粘结强度破坏(图 2)和砼粘结强度破坏(图 3)。

锚固设计的原则是必须保证种植钢筋的设计强度能充分发挥。因此设计上需要确定一个基本锚固长度 L_d ,当植筋锚长达到这一深度值时,其破坏模式必须为钢筋拉断破坏。

各破坏模式下抗拉承载力设计表达式如下^[7]。

(1) 钢筋抗拉承载力设计值为:

$$R_{td} = d^2 f_{tk} / (4 \gamma_s) \quad (1)$$

式中: R_{td} 为钢筋抗拉承载力设计值(N); d 为钢筋直径(mm); f_{tk} 为钢筋抗拉强度标准值(MPa); γ_s 为钢筋材料分项系数, 取 1.08 ~ 1.09。

(2) 粘结剂与钢筋之间的粘合表面所承受的力随植筋锚固长度线性增长, 但只是随钢筋直径的平方根增长。这是由瑞士联邦技术学院的 MARTI 教授根据对一组压力数据的分析而得到的结论。因此, 粘结抗拉承载力设计值 R_{bd} (N) 的表达式为:

$$R_{bd} = 25 \pi L_{bd} d / \gamma_b \quad (2)$$

式中: L_{bd} 为粘结剂粘结破坏模式下的临界锚固长度(mm); γ_b 为胶结剂材料分项系数, 与砼材料统一取 1.35。

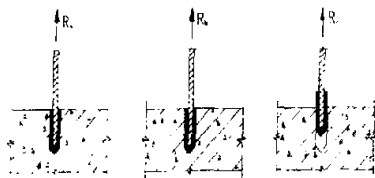


图 1

图 2

图 3

(3) 砼粘结力随孔深而线性增加, 但它只是随砼的立方体强度与孔穴直径乘积的平方根而增长, 这一结果同样来自于 MARTI 教授对测试数据的综合分析而得:

$$R_{td} = 4.5 \pi L_{de} \sqrt{f_{cu,k} D / \gamma_c} \quad (3)$$

式中: R_{td} 为砼粘结抗拉承载力设计值(N); L_{de} 为砼粘结破坏模式下的临界锚固长度(mm); $f_{cu,k}$ 为砼立方体强度标准值(MPa); D 为钻孔直径(mm); γ_c 为砼材料分项系数, 与我国规范统一^[4], 取 $\gamma_c = 1.35$; ψ 为砼立方体抗压强度按适合于欧洲规范的圆柱体抗压强度的换算系数, 按表 1 取用。

表 1 砼立方体强度换算系数

砼强度等级	≤ C25	C30	C40	C45
换算系数 ψ	0.800	0.833	0.811	0.778

3. 基本锚固长度 L_b 的确定

确定的原则是, 若植筋锚长超过这一数值则钢材被充分利用。因此可建立表达式:

$$R_{bd} \geq R_{td} \quad (4)$$

(胶结剂强度 ≥ 钢筋强度)

以及

$$R_{td} \geq R_{bd} \quad (5)$$

(砼粘结强度 ≥ 钢筋强度)

将式(1)~(3)分别代入(4)、(5)式经整理后得:

$$L_{bd} \geq d^{3/2} f_{tk} \gamma_b / (100 \gamma_s) \quad (6)$$

$$L_{bd} \geq d^2 f_{tk} \gamma_c / (18 \gamma_s \sqrt{\psi f_{cu,k} D}) \quad (7)$$

所以基本锚固长度 L_b 就是以上 2 个临界锚固长度的最大值, 即:

$$L_b = \text{MAX} [d^{3/2} f_{tk} \gamma_b / (100 \gamma_s); d^2 f_{tk} \gamma_c / (18 \gamma_s \sqrt{\psi f_{cu,k} D})] \quad (8)$$

四、FISV360 植筋抗拉拔试验^[5]

1. 试验目的 通过抗拉拔试验测定 FISV360 植筋胶与砼和钢筋之间的胶结能力; 在环境气温 12°C 条件下测定其 2h 固化的极限拉拔荷载值并观察试件破坏模式。

2. 试验结果 通过一组(3件)Φ22 螺纹钢筋种植在 C30 砼块上(试块尺寸为 1000 × 1000 × 400mm)的植筋, 其钻孔孔径为 $D = 28\text{mm}$, 孔深 $L = 13.6d = 300\text{mm}$ 。参照美国 ASTM E488-90 试验方法, 由上海市建筑科学研究院检测站进行试验, 其结果见表 2。

表 2 FISV360 植筋系统抗拉拔试验

试件编号	螺纹钢筋直径 d (mm)	钻孔孔径 D (mm)	植筋深度 L (mm)	拉拔极限荷载 (kN)	破坏模式
1	Φ22	28	300	257	砼呈锥形破坏
2	Φ22	28	300	261	
3	Φ22	28	300	255	

3. 结果

(1) 德国慧鱼集团开发的 FISV360 植筋系统, 其植筋胶与砼和螺纹钢筋的胶结性能良好。

(2) 试件均呈锥形破坏模式。

(3) 植筋极限荷载基本值分别为 257kN、261kN、255kN, 均超过钢筋抗拉拔强度标准值(127.3kN), 说明钢材在达到一定锚深后可充分发展作用。

五、工程实际应用中的锚固设计

1. 用于钢材充分作用的植筋设计

对于本文所指机具式组合系统的标准操作工艺, 植筋直径 d 对应的基本锚固长度 L_b 、钻孔直径 D 以及砼基材强度等级数值关系参考表 3、表 5 取用。

表 3 钢筋直径 d 与钻孔直径 D 的关系

d (mm)	≤ Φ14	Φ16	≥ Φ18
D (mm)	$d + 4$	22	$d + 8$

笔者根据慧鱼集团提供的基材砼 C25-C40 及 FISV360 胶结剂在不同锚深、不同钢筋直径下的一组拉拔测试数据的分析^[6], 得出 2 种破坏模式下, 对应于钢筋屈服时的锚固长度如表 4 所示。

表4 2种破坏模式下钢筋屈服时的临界锚长

植筋直径 锚固长度等级	C25		C30		C40	
	胶结破坏	砼破坏	胶结破坏	砼破坏	胶结破坏	砼破坏
$d \leq 22\text{mm}$	12 - 15d	16d	12 - 15d	15d	12 - 15d	12d
$d = 25\text{mm}$	17d	19d	17d	17d	17d	12d
$d \geq 28\text{mm}$	18d	21d	18d	19d	18d	16d

从表4中注意到,随着植筋直径的增大,临界锚固长度与直径的倍数关系加大;随着砼强度等级的增加砼临界锚长逐渐减小。因此在砼强度等级 $> \text{C30}$ 时基本锚长由胶结性能临界锚长 L_{b0} 确定,反之砼强度等级 $< \text{C30}$ 时基本锚长由砼粘粘临界锚长 L_{bc} 确定。经综合表4数据,得到工程设计中基本锚长 L_b ,按表5取用。

表5 基本锚固长度 L_b

基材砼强度等级	C25	$\geq \text{C30}$
植筋直径 $d \leq 22\text{mm}$	16d	15d
植筋直径 $d \geq 25\text{mm}$	19 - 21d	17 - 19d

2. 特殊情况下的锚固设计

锚固长度超过基本锚长在工程中是没有意义的,因为它超过了钢材发挥能力。相反,锚长低于基本锚长的植筋在实际中非常有必要。如:受构件尺寸限制而达不到基本锚长的植筋、用于受压的植筋、用于构造性非受力钢筋的连接植筋等。这类植筋在设计上应满足植筋构造上的要求,对于受拉植筋需进行抗拉拔承载力验算。

下面对几种植筋锚固设计方法进行介绍。

(1) 小于基本锚长的植筋锚固设计

首先按表5查出其基本锚长 L_b ,然后参照欧洲2号^[1]有关规定并综合后得到钢筋最小锚长 L_{bmin} 之表达:

$$L_{bmin} = \text{MAX}[0.6I_b(\text{mm}); 10d(\text{mm}); 100(\text{mm})] \quad (9)$$

对于受拉钢筋还应对其抗拉拔承载力进行验算,与规范^[4]统一的表达式为:

$$\gamma_0 N \leq R_d \quad (10)$$

式中: γ_0 为重要性系数,按规范^[4]取用; N 为钢筋上作用的拉力组合设计值,与规范^[3]统一取用荷载分项系数; R_d 为植筋对应于锚长 L_{bmin} 时的系统抗拉拔承载力设计值,按式(11)计算:

$$R_d = \text{MIN}[R_{sd}; R_{bd}; R_{cd}] \quad (11)$$

式中: R_{sd} 、 R_{bd} 、 R_{cd} 分别为钢筋强度、胶结强度、砼粘粘强度对应的抗拉拔承载力设计值,按式(1)、(2)、(3)计算,此时各临界锚深用 L_{bmin} 取代。

(2) 构造钢筋锚固设计

如分布钢筋之类非受力钢筋的锚固,按 $10d$ 锚长设计。

(3) 基材为素砼时锚固设计

对于钢筋砼基材,锚固力是由植筋通过砼与内锚钢筋之间的粘结进行传递的,植筋到基材的边距及植筋之间的间距要求并不很重要。但是对于基材为素砼时则不同,设计上除按基本锚长控制外,对植筋的空间位置(边距、间距等)必须充分考虑,原则是:保证砼粘粘破坏锥体的完整性,避免应力锥太大的重叠。从而降低锚固作用。

3. FISV360 植筋锚固系统适用条件

锚固系统的适用条件为:钢筋砼基材或素砼基材,后者应控制植筋边距与间距;砼强度等级 $\geq \text{C15}$, $\text{C15} \sim \text{C20}$ 砼基本锚固长度可通过试验确定;植筋采用螺纹钢;基材环境: $-5^\circ\text{C} \sim +40^\circ\text{C}$;工程量较大或不同基材时宜选用本文标准操作功法。

六、结语

1. 本文植筋锚固设计方法,适用于标准操作功法及钢筋砼基材、素砼基材。

2. 保证钢材充分发挥作用的基本锚固长度取值不能一概以 $15d$ 而论,而是与砼强度等级、钢筋直径大小相关。

3. 锚长大于基本锚长 L_b 无意义,小于 L_b 有其适用性。此时除按构造要求确定锚长外,受拉钢筋还应进行抗拉承载力验算。

4. 本文锚固设计系标准操作条件下,适宜大批量植筋施工。对于其它植筋量较小的工程,采用了非机具式系统标准操作功法的人工工法植筋,其锚固设计应考虑不同的胶结材料和人工灌填方法产生的差异。

5. 基本锚固长度并不随砼强度等级提高而减小,当基材砼 $> \text{C30}$ 后基本锚长大小取决于胶结性能临界锚长,砼粘粘临界锚长已不起控制作用。

参考文献

- [1] 欧洲代号2 ENV1992-1-1《混凝土结构设计第1部分总则及建筑条例》[5]
- [2] 《建筑结构设计统一标准》GBJ68-84
- [3] 《建筑结构荷载规范》GBJ9-87
- [4] 《混凝土结构设计规范》GBJ10-89
- [5] 《植筋抗拉拔试验报告》QU00402-013. 上海市建筑科学研究院检测站,2000年4月5日。
- [6] 砼 C25、C30、C40,不同直径、不同锚长承载力标准值数据表; FISV360 注射剂不同直径、不同锚长承载力标准值数据表。慧鱼集团技术资料
- [7] 《HLTI 固定技术手册-钢筋固定指南》(编号:B2.2)