中国工程建设协会标准 CECS

CECS×××:2023

公路膨胀土边坡玻璃钢螺旋锚加固技术规程

Technical Standards for Highway Expansive Soil Slopes Reinforced with Glass Fiber Reinforced Screw Anchors

（征求意见稿 2022.12）

征求意见稿

前　言

根据中国工程建设标准化协会公路分会《关于开展 2020 年第二批中国工程建设标准化协会标准（CECS G）制修订项目编制工作的通知》（中建标公路[2020]150 号）的要求，标准编制组充分调查研究，认真总结工程实践经验，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分为 5 章，主要技术内容包括：总则、术语和符号、玻璃钢螺旋锚材料与结构、设计、施工与质量控制。

本标准由中国工程建设标准化协会公路专业委员会归口管理，由武汉大学负责具体技术内容解释。本标准在执行过程中，如有需要修改和补充之处，请将有关意见和建议寄至武汉大学土木建筑工程学院（地址：武汉市武昌区东湖南路 8 号，邮编：430072）。

本标准主编单位：武汉大学

本标准参编单位：上海交通大学、河南省水利第一工程局、武汉理工大学、中交第二公路勘察设计研究院有限公司、江苏九鼎新材料股份有限公司、南水北调河南质量监督站、广西交通科学研究院集团有限公司、武大巨成结构股份有限公司、长沙理工大学、中南大学、长安大学、苏交科集团有限公司、四川大学、上海工程技术大学。

本标准主要起草人员：邹维列、徐永福、王协群、郑烨炜、韩仲、李东森、吴万平、储开明、崔伯军、邱宗强、庄艳峰、王东星、

征求意见稿

靳记平、张红日、周剑波、张红星、肖杰、赵娜。

本规程主要审查人员：邓卫东、蔡正银、程展林、李小春、谢永利、杨广庆、姚仰平、赵勇。

征求意见稿

目　次

前　言 I

1　总　则 4

2　术语和符号 5

2.1　术　语 5

2.2　符　号 5

3　玻璃钢螺旋锚材料与结构 8

3.1　材料 8

3.2　结构 10

4　设计 16

4.1　一般规定 16

4.2　设计计算 16

4.3　结构与构造设计 20

5　施工与质量控制 32

5.1　施 工 32

5.2　质量控制 36

征求意见稿

1　总　则

1.0.1　为了在玻璃钢螺旋锚加固公路膨胀土边坡的设计和施工中贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全适用、技术先进、经济合理，并确保质量、保护环境，制订本规程。

1.0.2　本规程适用于玻璃钢螺旋锚加固公路膨胀土边坡的设计、施工及质量控制，也适用于粘土、粉质粘土、粉土边坡的加固。铁路、水利等工程的土质边坡加固均可参照本规程执行。

1.0.3　玻璃钢螺旋锚加固公路膨胀土边坡的设计与施工，应综合考虑工程地质及水文地质条件、环境条件、施工条件等因素。

1.0.4　玻璃钢螺旋锚加固公路膨胀土边坡的设计应贯彻因地制宜、保护环境、节约资源等原则，同时应强化施工质量控制与管理。

1.0.5　在玻璃钢螺旋锚加固公路膨胀土边坡的设计、施工以及质量控制中，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

征求意见稿

2　术语和符号

2.1　术　语

2.1.1　玻璃钢 glass fiber reinforced plastic

玻璃纤维增强塑料的俗称，是一种以树脂为基体，以玻璃纤维为增强材料的复合材料，具有强度高、质量轻、蠕变小、抗腐蚀能力强等优点，可克服钢质锚杆因易锈蚀而难以直接用于永久锚固工程的问题。

2.1.2　螺旋锚固 screw anchoring

一种将螺旋型锚片旋入土中，充分利用深层土体强度的锚固技术，具有施工设备简单、施工速度快、对土层扰动小和承载力能满足一般工程要求等特点。

2.1.3　玻璃钢螺旋锚杆 glass fiber reinforced plastic screw anchor

将由玻璃钢材料制成的螺旋型锚头、锚杆和锚尾三个部分，通过一定的方式加以连接而形成的、能承受拉拔力的整体杆件。

征求意见稿

2.2　符　号

2.2.1　作用和作用效应

e_P——锚杆拉拔破坏时，倒锥形破坏面上的被动土压力强度；

G—— 单根螺旋锚杆分担的格构梁计算单元的重量；

$P_{p'}$—— 锚杆拉拔破坏时，倒锥形破坏面单位周长上被动土压力在垂直于破坏面上的分量；

p_{ep}—— 水下膨胀土边坡的混凝土衬砌板承受的膨胀力；

p_s—— 膨胀土的常体积膨胀力；

W——锚杆拉拔破坏时，倒锥形破坏面内土体的自重。

2.2.2 材料性能和抗力性能

E_{EPS}—— 土工泡沫（EPS）板的初始切线压缩模量；

$K_{P'}$—— 被动土压力系数；

Q—— 锚杆的极限拉拔力；

T_{am} —— 玻璃钢材料的允许抗拔力；

T_{ap}—— 玻璃钢螺旋锚拉拔试验的允许抗拔力；

T_d—— 玻璃钢螺旋锚的设计抗拔力；

T_{up}—— 玻璃钢螺旋锚拉拔试验的极限抗拔力；

δ_{ep} —— 水下膨胀土边坡的混凝土衬砌板受到的膨胀力所对应的膨胀土的膨胀率；

δ_{epi}—— 水下膨胀土边坡第 i 层土的膨胀率；

φ—— 膨胀土的内摩擦角；

ρ—— EPS 板的密度；

γ—— 膨胀土的容重；

γ_G—— 混凝土格构梁的容重；

$\bar{\tau}$—— 灌浆锚固体与膨胀土之间界面的平均抗剪强度；

σ_t —— 玻璃钢材料的拉伸强度；

ψ_e—— 膨胀土膨胀变形经验系数。

2.2.3 几何参数

A_b—— 单根螺旋锚杆分担的格构梁计算单元的面积；

A_c—— 单根螺旋锚杆杆体的总横截面积；

A_s—— 单根螺旋锚杆所分担的混凝土衬砌板的面积；

b—— 螺旋锚锚片的半径；

B—— 螺旋锚锚片的直径；

征求意见稿

D—— 锚杆灌浆锚固体的半径；

H—— 锚杆入土深度；

h—— 产生膨胀变形的土层厚度；

h_G—— 格构梁横截面的高度；

h_i—— 水下膨胀土边坡第 i 层土的计算厚度；

n—— 浸水影响深度范围内膨胀土坡的土层数；

L—— 锚杆拉拔破坏时，锚固土体倒锥形破坏面的长度；

L_b—— 锚杆锚固段长度；

r——锚杆拉拔破坏时，倒锥形破坏在地表的影响区半径；

s—— 锚杆的拔出位移；

t—— 混凝土衬砌板的厚度；

α—— 螺旋锚杆轴线与水平线的夹角；

Δ—— EPS 板的厚度；

δ——锚杆拉拔破坏时，破坏面上被动土压力与破坏面法线的夹角；

θ—— 边坡倾角。

2.2.4 计算系数

F_s —— 玻璃钢螺旋锚抗拔力安全系数；

RF—— 玻璃钢材料强度综合折减系数；

RF_0—— 玻璃钢材料极限强度折减系数；

RF_1—— 玻璃钢材料制造工艺折减系数；

RF_2—— 玻璃钢材料固化过程折减系数；

RF_3—— 玻璃钢材料温度影响折减系数；

RF_4—— 玻璃钢材料交变荷载折减系数。

征求意见稿

3　玻璃钢螺旋锚材料与结构

3.1　材料

3.1.1　用于螺旋锚锚头的玻璃钢材料的力学指标应符合表 3.1.1-1 的规定，用于螺旋锚杆体的玻璃钢材料的力学指标应符合表 3.1.1-2 的规定。

表 3.1.1-1 锚头玻璃钢材料的力学性能要求

项目	技术参数
拉伸强度（MPa）	≥80
拉伸模量（GPa）	≥10
弯曲强度（MPa）	≥170
弯曲模量（GPa）	≥10
剪切强度（MPa）	≥70
压缩强度（MPa）	≥160

表 3.1.1-2 锚杆玻璃钢材料的力学性能要求

项目	技术参数
拉伸强度（MPa）	≥500
拉伸模量（GPa）	≥25
压缩强度（MPa）	≥400

注：拉伸强度和拉伸模量应按照《纤维增强塑料拉伸性能试验方法》（GB/T 1447）测试；压缩强度应按照《纤维增强塑料压缩性能试验方法》（GB/T 1448）测试；弯曲强度和弯曲模量应按照《纤维增强塑料弯曲性能试验方法》（GB/T

征求意见稿

1449）测试；剪切强度应按照《纤维增强塑料纵横剪切试验方法》（GB/T 3355）测试。

3.1.2 应根据玻璃钢螺旋锚应用的具体情况和环境条件，对玻璃钢材料进行耐久性能的相关测试，其性能应符合表 3.1.2-1 的规定。

表 3.1.2-1 锚头玻璃钢材料的耐久性能要求

项目	基本要求	材料强度最小保留率	
耐大气暴露性能	经规定时间耐大气暴露试验后，试验无变色、龟裂、老化等明显老化现象	≥60%	
耐湿热性能	经规定时间耐湿热性能试验后，试样不应有变色或被侵蚀的痕迹	≥80%	
耐水性能	经规定时间耐水性能试验后，试样表面不应出现软化、皱纹、起泡、开裂、被溶解、溶剂侵入等痕迹	≥85%	
耐化学介质性能	经规定时间耐水性能试验后，试样表面不应出现软化、皱纹、起泡、开裂、被溶解、溶剂侵入等痕迹	汽油	≥90%
		酸	≥80%
		碱	≥80%

注：耐大气暴露性能、耐湿热性能和耐水性能应按照《玻璃纤维增强塑料老化性能试验方法》（GB/T 2573）测试；耐化学介质性能应按照《玻璃纤维增强热固性塑料耐化学介质性能试验方法》（GB/T 3857）测试。

3.1.3 应考虑制造工艺、应用环境条件以及外部荷载等因素对玻璃钢材料强度的影响，对其拉伸强度进行折减。其综合折减系数 *RF* 应按式（3.1.3-1）确定。环境条件差、对工程影响大时取高值，反之取低值。综合折减系数 *RF* 不应小于 4.0。

征求意见稿

$$RF = RF_0 RF_1 RF_2 RF_3 RF_4 \qquad (3.1.3\text{-}1)$$

式中：RF_0—— 极限强度折减系数，一般取 2.0；

RF_1—— 制造工艺折减系数，机械操作取 1.4，手糊取 1.6，喷射取 3.0；

RF_2—— 固化过程折减系数，取值 1.1～1.5；

RF_3—— 温度影响折减系数，取决于树脂的热变形温度和工作温度，取值 1.0～1.25；

RF_4—— 交变荷载折减系数，取值 1.0～2.0。

【条文说明】：

玻璃钢材料强度的折减系数参考了英国 BS 标准。英国 BS 标准规定一般总安全系数不得小于 6.0，但是国外玻璃钢材料极限强度普遍比国内要高，如果国内材料取较大的安全系数，所得材料强度设计值较小，实用价值不大。考虑到螺旋锚一般使用场合的工程重要性不高，同时考虑到实际测得玻璃钢锚杆的蠕变应变极小，因此也在折减系数中不考虑玻璃钢长期特性的影响。

征求意见稿

3.2 结构

3.2.1 玻璃钢螺旋锚应由锚头、杆体和锚尾三个部分通过锚锁系统连接，使之在土体中形成一个能承受拉拔力的整体杆件，如图 3.2.1-1。

3.2.2 玻璃钢螺旋锚的锚头应为套筒结构，如图 3.2.2-1 所示，并应符合以下规定：

1 套筒的端部应为锥头；

2 螺旋型锚片环绕于套筒筒身；

3 套筒的根部应带有啮合口。

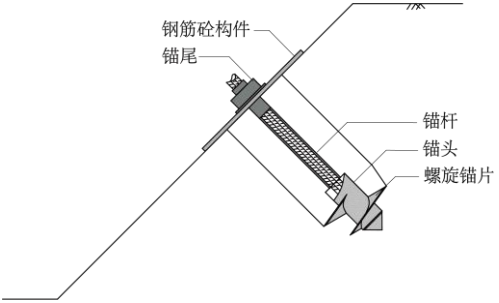


图 3.2.1-1 玻璃钢螺旋锚结构示意图

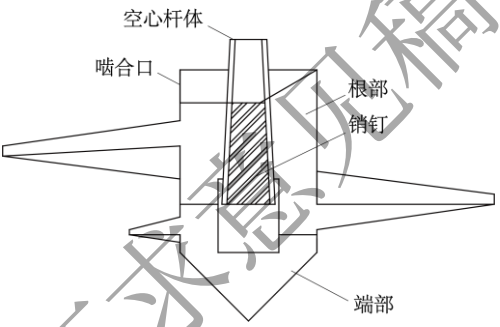


图 3.2.2-1 锚头结构示意图

征求意见稿

【条文说明】：

（1）与常规的钢质螺旋锚不同，玻璃钢螺旋锚锚头的套筒与螺旋型锚片是整体成型的，而常规的钢质螺旋锚的螺旋型锚片是设置在锚杆的杆体上的；

（2）为了在下锚过程中易于排开土中的砂砾和减小对土层的扰动，螺旋型锚片为渐开线型；为了使下锚钢管的转动扭矩传到套筒上，在下锚钢管底端设啮合口与套筒根部的啮合口（见图 3.2.2-1）啮合连接；

3.2.3 螺旋锚片的直径应由锚杆的设计抗拔力确定。

【条文说明】：

（1）可将螺旋形锚片视为刚性圆形平板，要求处于所锚固土体中该圆形平板面积的承载力特征值，不小于玻璃钢材料的允许抗拔力。

（2）随着锚片直径的增大，螺旋锚的极限抗拔承载力增大，但下锚所需的扭矩也越大，即锚杆被旋入土层的难度就越大。因此，在满足设计要求的前提下，锚板直径不宜过大。当土质较硬，螺旋锚难以进入土层时，应考虑适当减小锚板直径；

3.2.4 螺旋型锚片的厚度应按均布荷载下的抗弯和抗剪要求计算，并综合考虑土层的地质条件确定。应适当减小锚片边缘的厚度，并对锚片边缘进行加强处理。

【条文说明】：

根据工程经验，锚片太厚，下锚困难；锚片太薄，在下锚过程中锚片边缘容易磨损。为此锚片从紧连套筒的内缘到锚片的外缘，厚度是逐渐减小的，目的使锚片边缘形成刀口，利于锚片旋入土层。但锚片边缘变薄后，在下锚过程中容易磨损，严重时会导致锚片受力面积变小，难以达到工程所要求的抗拔要求。因此可沿锚片外边缘包一层薄铁片对外边缘加以保护。

3.2.5 螺旋型锚片的螺距应考虑土层条件选定，应利于锚片排开土中的小石或硬土结核，使螺旋锚顺利钻进。

【条文说明】：

征求意见稿

在均匀土层中，螺距越大，螺旋锚所需要的下锚扭矩越大。但在实际工程中，土层内可能含有小石或硬土结核。如果螺距太小，锚板无法排开小石或硬核，严重时可能导致螺旋锚无法钻进。因此在含姜石的膨胀土或含石量较大的土层中，应适当增大螺距。

3.2.6 玻璃钢螺旋锚杆的杆体应由多根等弧瓣状截面的锚筋所组成，杆体的截面为空心圆环，如图 3.2.6-1 所示。杆体的总截面尺寸由设计抗拔力确定。

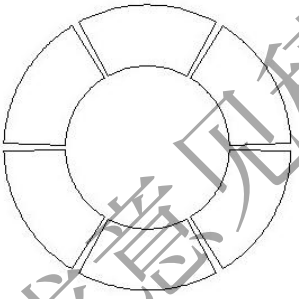


图 3.2.6-1 锚杆杆体的截面示意图

3.2.7 玻璃钢螺旋锚杆应采用楔缝式的锚锁系统连接锚杆的各个部分，可采用玻璃钢销钉将杆体与锚头和锚尾锁紧，杆体与锚头的锁固如图 3.2.2-1 所示，杆体与锚头的锁固如图 3.2.7-1 所示，

征求意见稿

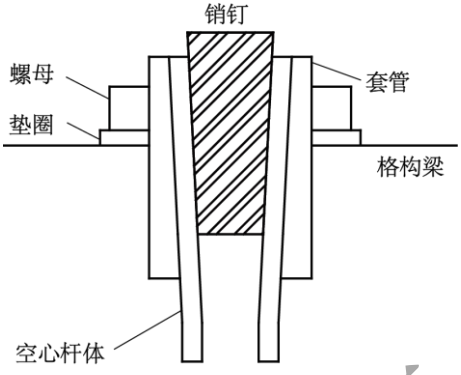


图 3.2.7-1 锚尾结构示意图

【条文说明】：

（1）锚头的套筒内径是渐变的，套筒与锚头端部（见图 3.2.2-1）的锥尖相连的开口端较宽，往里内径逐渐减小，形成 3°锥角；组成锚杆杆体的锚筋，其一端围绕着销钉圆周均匀布置，另一端穿过套筒。销钉使锚筋与套筒内壁之间锁紧，使锚筋和锚头成为一个整体（参见图 3.2.2-1）；

（2）锚尾采用中空螺杆和销钉进行锁固。螺杆外表面带螺纹、内表面带 3°锥角。将锚筋尾端插入螺杆，用玻璃钢销钉使锚筋和螺杆内表面锁紧，再借助于螺杆的外螺纹，用垫片和螺母在坡面上的预制或现浇钢筋混凝土构件（如格构梁）上将锚尾锁固（参见图 3.2.7-1）。

表 3.2.7-1 给出了常用玻璃钢螺旋锚各组成部分（或部件）的参考尺寸。图 3.2.7-2 为某工程加固膨胀土边坡采用的玻璃钢螺旋锚杆的结构与尺寸。

征求意见稿

表 **3.2.7-1** 玻璃钢螺旋锚各组成部分（或部件）参考尺寸

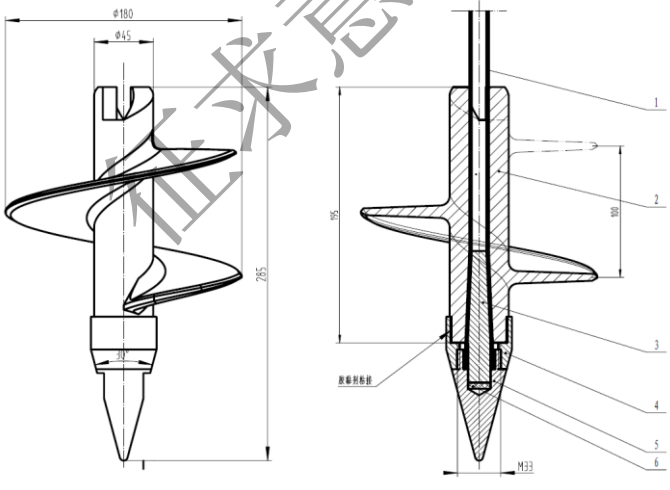
锚头									杆体	
套筒		锚片			啮合口	销钉				
内径 (mm)	外径 (mm)	外缘直径 (mm)	外缘螺距 (mm)	厚度* (mm)	口高 (mm)	细端直径 (mm)	长度 (mm)	锥度 (°)	内径 (mm)	外径 (mm)
15	45	180	100	6~3	30	8	70	3	8	14

表 **3.2.7-1** 玻璃钢螺旋锚各组成部分（或部件）参考尺寸(续)

锚尾								
中空螺杆				垫片	螺母	销钉		
细端内径（mm）	外径（mm）	长度（mm）	锥度（°）	口高 (mm)	内径 (mm)	细端直径 (mm)	长度 (mm)	锥度 (°)
8	12	65	3	30	12	8	70	3

注： 锚片的厚度从其紧连套筒的内缘向其外缘是逐渐减薄的（见图 3.2.2-1 和图 3.2.2-2）。

征求意见稿



1-杆体；2-套筒；3-销钉；4-连接环；5-锥尖；6-垫块

图 3.2.2-2 某工程采用的玻璃钢螺旋锚杆的结构与尺寸

4　设计

4.1　一般规定

4.1.1　玻璃钢螺旋锚锚固技术适用于填、挖方膨胀土边坡加固工程，也适用于非膨胀性的土质边坡加固工程。

4.1.2　在玻璃钢螺旋锚加固膨胀土边坡的设计、施工以前，应具备以下资料：

1 岩土工程勘察资料；

2 边坡环境条件资料；

3 施工场地和施工条件资料。

【条文说明】：

岩土工程勘察资料应提供边坡加固设计所需要的膨胀土层的基本物理、力学性质指标和胀缩特性指标。对于膨胀土的胀缩特性指标，应按照《膨胀土地区建筑技术规范》GB50112 的相关规定，取原状膨胀土土样进行膨胀力和不同压力下的膨胀率等试验。

4.1.3　玻璃钢螺旋锚应进行锚杆的基本试验，并应符合《建筑边坡工程技术规范》GB50330 的相关规定。

4.1.4　玻璃钢螺旋锚加固膨胀土边坡的设计应满足承载力、稳定性、变形和耐久性要求，并应符合《建筑边坡工程技术规范》GB50330 的相关规定。

4.2　设计计算

4.2.1　玻璃钢螺旋锚的设计抗拔力 T_d 应按下述方法确定：

征求意见稿

1 玻璃钢螺旋锚材料的允许抗拔力应由式（4.2.1-1）计算：

$$T_{\mathrm{am}} = \frac{\sigma_{\mathrm{t}} A_{\mathrm{c}}}{RF} \qquad (4.2.1\text{-}1)$$

式中：

T_{am} —— 玻璃钢螺旋锚材料的允许抗拔力（kN）；

σ_{t} —— 玻璃钢材料的拉伸强度（kPa）；

A_{c} —— 玻璃钢螺旋锚杆体的总横截面积（m^2）；

RF —— 玻璃钢材料强度的综合折减系数，由式（3.1.3-1））确定。

2 玻璃钢螺旋锚现场拉拔试验的允许抗拔力应由式（5.2.1-2）计算：

$$T_{\mathrm{ap}} = \frac{T_{\mathrm{up}}}{F_{\mathrm{s}}} \qquad (5.2.1\text{-}2)$$

式中：

T_{ap} —— 拉拔试验的允许抗拔力（kN）；

T_{up} —— 拉拔试验的极限抗拔力（kN）；

F_{s} —— 抗拔力安全系数。玻璃钢螺旋锚用于膨胀土边坡的浅层加固时，取 2.0。

3 取 T_{am} 和 T_{ap} 中的较小值，作为玻璃钢螺旋锚的设计抗拔力 T_{d}。

4.2.2 在初步设计阶段，当无玻璃钢螺旋锚杆的现场拉拔试验结果时，可用式（4.2.2-1）估算灌浆和非灌浆锚杆的允许抗拔力 T_{ap}。

$$T_{\mathrm{ap}} = \frac{Q}{F_{\mathrm{s}}} \qquad (4.2.2\text{-}1)$$

式中：Q —— 锚杆的极限拉拔力；

F_{s} —— 锚杆抗拔力安全系数。锚杆用于膨胀土坡的浅层加

征求意见稿

固时，取 2.0；

1 对于非灌浆锚，锚杆的极限拉拔力 Q 由式（4.2.2-2）确定：

$$
\begin{aligned}
Q &= W + P_{\mathrm{p}} \\
&= \frac{\pi}{3}\gamma H\left(b^2 + r^2 + br\right) + \\
&\quad 0.5\pi\gamma H^2 K_{\mathrm{p}}'\left(B + H\tan\theta\right)\left(\tan\delta - \tan\theta\right)
\end{aligned}
\qquad (4.2.2\text{-}2)
$$

式中（参见图 4.2.2-1）：

Q —— 非灌浆锚杆的极限拉拔力；

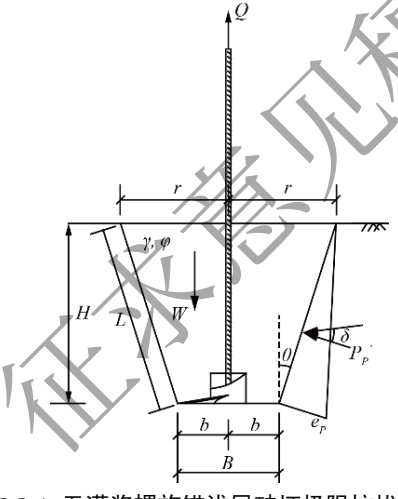


图 4.2.2-1 无灌浆螺旋锚浅层破坏极限抗拔力计算模型

e_{P} —— 被动土压力强度；

$P_{\mathrm{p}'}$ —— 倒锥形破坏面单位周长上被动土压力在垂直于破坏面上的分量；

W —— 破坏面内土体的自重；

征求意见稿

b—— 螺旋锚锚片的半径；

B—— 螺旋锚锚片的直径；

r—— 地表受影响区半径；

H—— 锚杆入土深度；

L—— 倒锥形破坏面的长度；

γ—— 土的容重；

φ—— 土的内摩擦角；

θ—— 破坏面倾角，一般可取（1/4~1/2）φ，砂土可取（2/3）φ；

δ—— 假想破坏平面上被动土压力与破坏面法线的夹角；

$K_{P'}$—— 被动土压力系数，可由式（4.2.2-3）计算。

$$K_{p'} = \frac{1+\sin\delta}{1-\sin\delta} \qquad (4.2.2\text{-}3)$$

2 对于灌浆锚，锚杆的极限拉拔力 Q 由式（4.2.2-4）确定：：

$$Q = \pi D L_b \bar{\tau} \qquad (4.2.2\text{-}4)$$

式中（参见图 4.2.2-2）：

Q—— 灌浆锚杆的极限抗拔力；

D—— 灌浆锚固体的半径；

L_b—— 锚固段长度；

$\bar{\tau}$—— 灌浆锚固体与土之间界面的平均抗剪强度，初步设计时可取注浆体抗压强度的 1/3。

征求意见稿

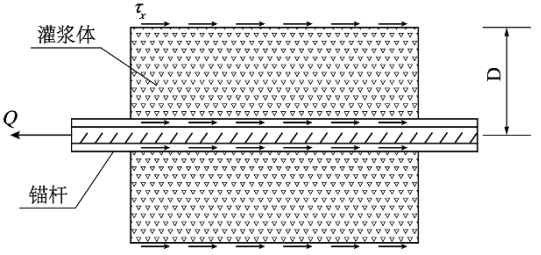


图 4.2.2-2 灌浆锚浅层破坏极限抗拔力计算模型

【条文说明】：

（1）这里考虑了采用玻璃钢螺旋锚用于加固膨胀土浅层滑坡时，锚杆入土深度较浅，故分别用（4.2.2-2）和（4.2.2-4）估算非灌浆锚杆和灌浆锚杆的极限抗拔力；

（2）破坏面倾 θ 的经验取值参考了文献中的研究成果。如：

[1] Meyerhof G. G., Adams J. I. The Ultimate uplift capacity of foundations. Canadian Geotechnical Journal, 1968, 5(4):225-244.

[2] Clemence, S. P., and Veesaert, C. J. Dynamic pullout resistance of anchor in sand. Proc, Int. Symp. on Soil-Structure Interaction. Roorkee, India, 1977, 389-397.

4.2.3 公路膨胀土边坡的稳定性分析应符合《公路路基设计规范》JTG D30 和《建筑边坡工程技术规范》GB50330 的相关规定。

4.2.4 计算公路膨胀土边坡的稳定性时，对基本烈度为 7 度及 7 度以上地区的永久性边坡，应按照《建筑边坡工程技术规范》GB50330 等的相关规定，进行地震工况下边坡稳定性校核。

4.2.5 公路膨胀土边坡的稳定安全系数应符合《公路路基设计规范》JTG D30 的相关规定。

4.3 结构与构造设计

征求意见稿

4.3.1 对于非涉水的膨胀土边坡，当根据《公路路基设计规范》JTG D30 和《建筑边坡工程技术规范》（GB50330），验算边坡浅层滑动不满足稳定性要求时，可以采用玻璃钢螺旋锚杆联合钢筋混凝土格构梁进行加固。

【条文说明】：

（1）采用玻璃钢螺旋锚杆联合钢筋混凝土格构梁加固膨胀土边坡时，宜沿坡面纵、横方向等间距打设玻璃钢螺旋锚杆，之后布置格构梁，并使格构梁之间相交的节点位于锚杆点位，最后将锚尾在节点处的锁固，如图 4.3.1-1 所示。 图 4.3.1-2 为某工程实物照片。

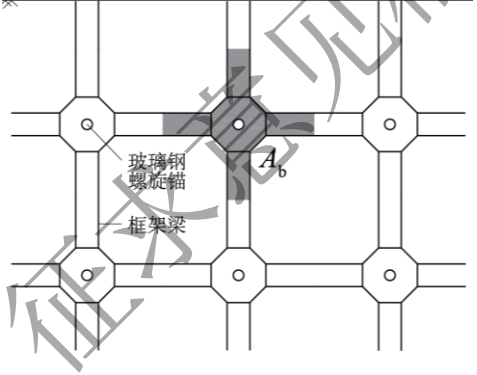


图 4.3.1-1 玻璃钢螺旋锚联合格构梁的布置及其计算单元的划分

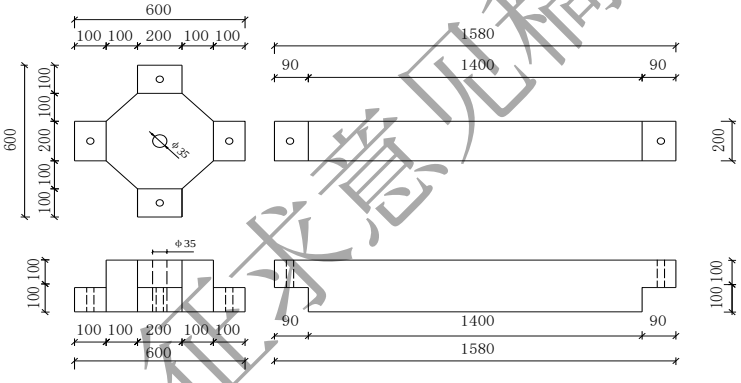
（2）为了加快施工进度，格构梁和节点均可采用预制构件，施工安装时，节点的四肢缺口在下，分别与纵、横四个格构梁的缺口搭接并固定，使格构梁和节点连接成一个整体。图 4.3.1-2 为某工程预制格构梁和节点的平面图、尺寸和实物照片。

征求意见稿

(a) 玻璃钢螺旋锚+格构梁加固

(b) 锚尾的锁固

图 4.3.1-2 某工程实物照片



(a) 格构梁和节点尺寸

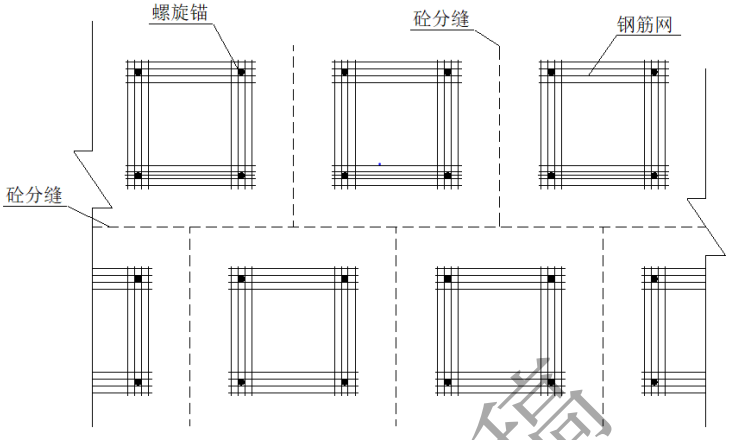
征求意见稿

(b) 格构梁与节点之间的搭接

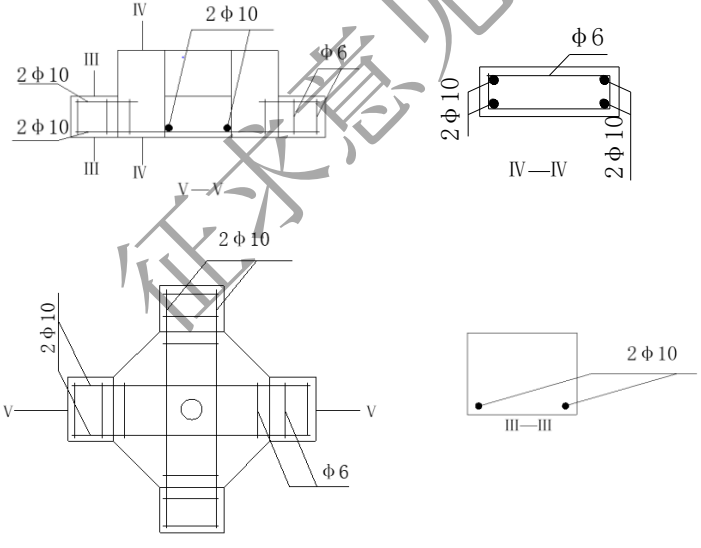
图 4.3.1-2 某工程膨胀土边坡采用的格构梁和节点照片

（3）格构梁的横截面可为（20cm~25cm）的方形，其混凝土标号不低于 C20。格构梁和节点内应布置构造钢筋。构造钢筋的布置应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定。其中主筋不小于 Φ10，箍筋不小于 Φ6。图 4.3.1-3 为某工程格构梁和节点构造钢筋的布置情况。

征求意见稿



(a) 格构梁的构造钢筋



(b) 节点构造钢筋

图 4.3.1-3 某工程格构梁和节点的构造钢筋布置

征求意见稿

4.3.2 应根据边坡膨胀土的性质、滑坡推力大小、滑动面坡度、滑体厚度等因素，拟定玻璃钢螺旋锚杆的间距、锚固长度、入土倾角等参数，直至边坡稳定安全系数满足《公路路基设计规范》JTG D30和《建筑边坡工程技术规范》（GB50330）的要求。初选时玻璃钢螺旋锚的间距可按 2.0m 选取。

4.3.3 玻璃钢螺旋锚联合格构梁加固非涉水膨胀土边坡时，螺旋锚的设计抗拔力 T_d 还应满足式（4.3.3-1）（见图 4.3.3-1）：

$$T_d \sin(\theta+\alpha)+G\cos\theta \geq A_b p_s \qquad (4.3.3\text{-}1)$$

式中：

T_d —— 根据 4.2 节所述方法确定的或在初步设计时估算的螺旋锚的设计抗拔力；

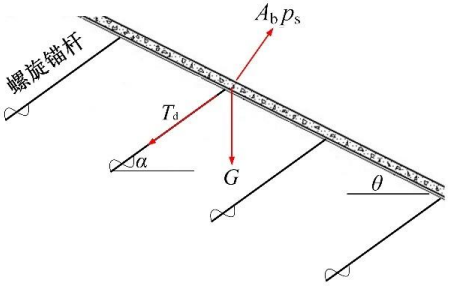
A_b —— 单根螺旋锚杆分担的格构梁计算单元的面积（见图 4.3.1-1）；

G —— 单根螺旋锚杆分担的格构梁计算单元的重量，且 $G = \gamma_G A_b h_G$，其中 γ_G 为格构梁的容重，h_G 为格构梁的厚度；

p_s —— 膨胀土的常体积膨胀力，由试验测定；

θ —— 边坡倾角；

α —— 螺旋锚杆的杆轴线与水平线之间的夹角（见图 4.3.3-1）。



征求意见稿

图 4.3.3-1 玻璃钢螺旋锚联合格构梁加固非涉水膨胀土边坡受力简图

4.3.5 对于运营中淹没于水下的膨胀土边坡，当根据《公路路基设计规范》JTG D30、《建筑边坡工程技术规范》（GB50330）验算不满足稳定性要求时，可以采用玻璃钢螺旋锚杆联合混凝土衬砌板和土工泡沫（EPS）板进行加固。

【条文说明】：

（1）采用玻璃钢螺旋锚杆联合混凝土衬砌板和土工泡沫（EPS）板进行加固膨胀土边坡时，应首先沿坡面纵、横方向等间距打设玻璃钢螺旋锚杆，然后沿坡面铺设 EPS 板，再沿坡面满浇强度标号不低于 C15 的混凝土衬砌板，衬砌板厚度宜为 80mm~120mm，最后将锚尾在露出混凝土衬砌板处进行锁固。

（2）在坡面混凝土衬砌板中应布置构造钢筋网，钢筋不小于 φ10；在钢筋网之间的间隙中，应满铺设厚度不小于 50mm、密度不小于 12kg/m^3 的土工泡沫，以吸收膨胀土产生的部分膨胀力。在铺设的土工泡沫块之间，应粘贴土工膜防渗，土工膜与土工泡沫的粘贴宽度不小于 100mm。图 4.3.5-1 和图 4.3.5-2 分别为某工程混凝土衬砌板的构造钢筋及 EPS 的布置情况。

征求意见稿

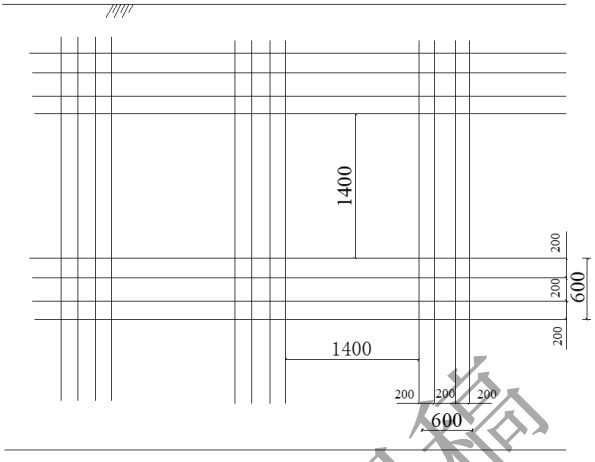


图 4.3.5-1 某工程膨胀土水下坡混凝土衬砌板构造钢筋布置（单位：mm）

图 4.3.5-2 某工程膨胀土水下坡混凝土衬砌板下布置的 EPS

4.3.6 应根据边坡膨胀土的性质、滑坡推力大小、滑动面坡度、滑体厚度等因素，拟定玻璃钢螺旋锚杆的间距、锚固长度、入土倾角等参数，直至边坡稳定安全系数稳定性满足《公路路基设计规范》JTG D30 和《建筑边坡工程技术规范》（GB50330）要求。初选时，玻璃钢螺旋锚杆的间距可按 2.0 m 选取。

4.3.7 土工泡沫板密度的选定应符合下述规定：

1 土工泡沫板的密度应符合式（4.3.7-1）的要求（参见图4.3.7-1）。

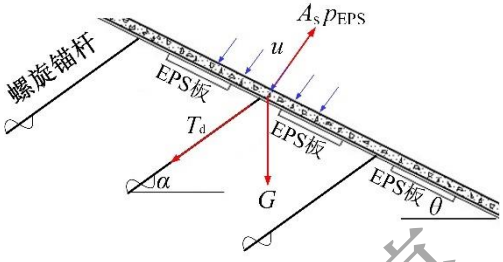


图 4.3.7-1 水下膨胀土边坡玻璃钢螺旋锚的受力分析

$$T_d \sin(\theta+\alpha)+G\cos\theta = p_{ep} = A_s E_{EPS}(\delta_{ep} h - s)/\Delta \quad （4.3.7-1）$$

式中：

T_d —— 根据 4.2 所述方法确定的或在初步设计时估算的螺旋锚的设计抗拔力；

θ —— 边坡的坡角；

α —— 锚杆杆轴线与水平线的夹角；

A_s —— 单根锚杆分担的边坡面积，取坡面上锚杆与锚杆之间的中线到中线所围成的面积；

G —— 单根锚杆分担的混凝土衬砌板的重量，$G = \gamma_G A_s t$，其中 γ_G 为混凝土衬砌板的容重，t 为混凝土衬砌板的厚度；

E_{EPS} —— 土工泡沫板的初始切线压缩模量；

s —— 锚杆的拔出位移；

p_{ep} —— 衬砌板承受的压力，等于铺设土工泡沫后膨胀土的膨胀力；

δ_{ep} —— 与 p_{ep} 对应的膨胀率，由膨胀土的膨胀率~膨胀压力关系曲线确定；

征求意见稿

h —— 产生膨胀变形的土层厚度（即含水量增加的膨胀土层厚度）；

s —— 玻璃钢螺旋锚杆的拔出位移；

Δ —— 土工泡沫板的厚度。

2 初步设计时，可取土工泡沫的应变$(\delta_{ep}h\text{-}s)/\Delta=1\%$，根据（4.3.7-1）计算得到 EPS 的切线模量 E_{EPS}。

3 土工泡沫板的密度可根据式（4.3.7-2）进行估算：

$$E_{EPS}=0.479\rho-2.875 \qquad (4.3.7\text{-}2)$$

式中：

ρ —— 土工泡沫板的密度，单位 kg/m^3；

其余符号的含义同前。

【条文说明】：

（1）膨胀土水下边坡的混凝土衬砌板采用 EPS 减载时，根据美国 EPS Industry Alliance 关于 EPS 应用技术指南，一般要求 EPS 的名义密度不小于 12kg/m^3（实际密度不小于 11 kg/m^3），而其压缩强度取应变 1%时的压力。其原因在于应变不超过 1%时，EPS 处于完全的弹性变形阶段，相应地 EPS 在 1%应变时的压缩强度作用下的蠕变很小。

（2）式（4.3.7-2）来自王钊编著的研究生教材《土工合成材料》（机械工业出版社，2005 年）

4.3.8 土工泡沫板厚度的选定应符合下述规定：

1 应按照式（4.3.8-1）计算水下边坡膨胀土的膨胀变形量 S_e。

$$s_e=\psi_e\sum_{i=1}^{n}\delta_{epi}h_i \qquad (4.3.8\text{-}1)$$

征求意见稿

式中：

ψ_e—— 经验系数，根据当地经验确定，无经验可取 0.6；

δ_{epi}—— 涉水边坡第 i 层土的膨胀率，由室内试验测定；

h_i—— 涉水边坡第 i 层土的计算厚度；

n—— 浸水影响深度范围内膨胀土坡的土层数。

2 土工泡沫板的最小厚度应按式（4.3.8-2）计算选定：

$$\Delta \geq s_e / 1\% \qquad (4.3.8\text{-}2)$$

【条文说明】：

根据《膨胀土地区建筑技术规范》GB50112，水下边坡膨胀土因浸水产生的的膨胀变形量 S_e，应采用（4.3.8-1）计算。

4.3.9 玻璃钢螺旋锚的锚杆长度应符合下列规定：

1 对于灌浆锚杆，锚杆自由段长度应为锚尾到边坡潜在滑裂面的长度。自由段长度应不小于 1.5m，并应超过潜在滑裂面；

2 灌浆锚杆的锚固段长度应满足公式（4.3.3-1）、（4.3.7-1），且不小于 3.0m；

3 锚杆长度应不大于 10.0m。

【条文说明】：

根据《膨胀土地基建筑技术规范》GB50112，大气影响深度一般不超过 5.0m，大气影响急剧层深度一般不超过 2~3m。因此，锚杆长度至少应该达到 3 m，才能得到较好的锚固效果，最好能达到 5.0 m，且应穿过潜在浅层滑裂面。但也不应超过 10m，超过这个深度，边坡一般不再是浅层滑坡，且玻璃钢锚杆可能发生剪断破坏。

征求意见稿

4.3.10 锚杆倾角宜采用 10°~35°，并应避免对构筑物产生不利影响。

【条文说明】：

根据《建筑边坡工程技术规范》GB50330 的规定，当倾角小于 10°时，锚杆外端灌浆饱满度难以保证；当倾角过大时，锚杆有效水平拉力下降过多，且对竖向稳定性不利。因此，锚杆倾角宜为 10°~35°。

4.3.11 采用玻璃钢螺旋锚加固膨胀土边坡时，应系统地做好坡顶、坡面和坡脚的防、排水设计。

【条文说明】：

玻璃钢螺旋锚主要用于防治膨胀土边坡的浅层滑坡，锚杆的入土深度较浅，一般在 3.0m~5.0m 左右。因此，应做好坡顶的防、排水以及坡面和坡脚的排水，防止坡顶产生裂缝引发深层滑坡及坡面和坡脚产生冲蚀破坏等等。

征求意见稿

5　施工与质量控制

5.1　施 工

5.1.1　施工前应做好的准备工作，应符合《建筑边坡工程技术规范》GB 50330-2013 的相关规定；

5.1.2　应根据工程安全等级、工程地质和水文地质、边坡环境等条件，编制符合锚杆设计要求的施工组织设计。

5.1.3　膨胀土边坡的下锚施工受降雨的影响较大，应尽量避免在雨季施工。

5.1.4　应清除坡面影响施工的植被、表土，平整施工场地，确保施工工作面满足下锚机具的工作要求。

5.1.5　下锚机械和设备的技术性能，应与边坡地质条件、玻璃钢螺旋锚的设计参数相匹配。

5.1.6　下锚机移至锚孔设计位置后，应采用钢钎穿过下锚机底座上的圆孔，使下锚机与坡面固定，并用两根缆绳拉紧支撑下锚机钢套管滑动的轨道（参见图 5.1.5-1）。

1-下锚钢套管；2-滑道；3-底座

图 5.1.5-1 某工程下锚机实物图

征求意见稿

5.1.7 应使组成锚杆杆体的锚筋的一端，围绕着锚头销钉的圆周均匀布置，使锚筋的另一端穿过锚头的套筒，再通过锚头销钉使锚筋与套筒内壁之间锁紧（参见图 3.2.2-1）。图（5.1.7-1）为某工程安装完成的玻璃钢螺旋锚杆。

图 5.1.7-1 某工程制安完成的玻璃钢螺旋锚杆

5.1.8 将与锚头紧固的锚筋从下锚机上的钢套管的底端穿入、顶端穿出后，使下锚钢套管底端的啮合口与锚头根部的啮合口（见图 3.2.2-1）相互啮合，再按照设计要求的下锚角度，将锚头对准孔位。图 5.1.8-1 为某工程已安装就绪的下锚机。

征求意见稿

1-下锚钢套管；4-电极；5-螺旋锚锚头

图 5.1.8-1 某工程已安装就绪的下锚机

5.1.9 在下锚过程中，应根据锚杆转进土层的难易情况，通过调速器调整转进速度。

【条文说明】：

当土层较密实，或者锚片遇到土层中的硬质结核（如膨胀土中的姜石）、砾石等时，应降低钻进速度，同时增大钻进压力。

5.1.10 锚杆钻入到预定土层深度后，应设定空压机的压力，及时对灌浆锚杆进行灌浆。

5.1.11 格构梁采用现浇而非预制时，在锚杆灌浆完毕后，应按照格构梁的设计位置，架立模板进行混凝土浇筑。对模板高度范围的玻璃钢锚尾，应外套 PVC 管，并应及时对现浇格构梁进行养护。图 5.1.11-1 为某工程架立的格构梁节点模板、布置的构造钢筋和锚尾外套 PVC 的照片。

征求意见稿

图 5.1.11-1 某工程混凝土格构梁节点

5.1.12 现浇混凝土达到设计龄期要求后，应将玻璃钢锚筋的尾端插入带外螺纹的中空螺杆，并用销钉使锚筋和中空螺杆的内壁锁紧，再用垫片和螺母在坡面上的预制或现浇混凝土格构梁上，将锚尾锁固。图 5.1.12-1 为某工程锚尾锁固照片。

图 5.1.12-1 某工程锚尾锁固照片

5.1.13 锚杆施工完成后，应及时对坡面进行清理、平整，并完成坡顶、坡面和坡脚防、排水设施的施工。

5.2 质量控制

5.2.1 施工前应做好技术交底，并做好质量控制方案。施工时，应遵守《建筑边坡工程技术规范》（GB50330-2013）的相关规定。

5.2.2 施工采用的材料必须符合设计和国家、行业、地方现行规范、规程、技术标准等的要求。主要材料的技术参数应符合表 5.2.2-1 的规定。

表 5.2.1-1 主要材料技术参数

序号	材料名称	技术参数	备注
1	玻璃钢锚杆	力学指标应满足表 3.1.1-1、3.1.1-2、3.2.1-1 的规定	
2	现浇混凝土	≥C20	按设计要求
3	构造钢筋	≥ φ10	按设计要求
4	箍筋	≥ φ6	按设计要求
5	普通硅酸盐水泥	≥42.5	按设计要求
6	注浆塑料管	≥ φ25	
7	淡水	-	

5.2.3 主要施工机具和设备的性能应符合表 5.2.2-1 的规定。

表 5.2.3-1 主要机具和设备技术参数

序号	名称	技术参数	备注
1	下锚机	扭矩不小于 1000N·m，正转速可达 10 转/min，反转速度可达 20 转/min；下锚角度可调；配置有机架和缆绳	
2	注浆机	（0.5-1）MPa（压力）	
3	水泥浆拌浆桶	容积不小于 $0.5m^3$	
4	钢筋机	-	
5	电焊机	-	

征求意见稿

6	小型平板振动器	功率不小于 2.2kw	

5.2.4 下锚施工前，应对组装好的玻璃钢螺旋锚杆进行严格检查，锚筋应分布均匀，且表面无剐蹭等损伤。

5.2.5 玻璃钢螺旋锚杆的施工应符合下列规定：

1 锚孔定位偏差不应大于 20.0 mm；

2 锚孔偏斜度不应大于 2%；

3 锚孔深度超过锚杆设计长度不应小于 0.5m。

5.2.6 锚杆的灌浆应符合下列规定：

1 灌浆的水灰比应严格执行设计要求。应不断搅拌灌浆锚杆浆液，防止沉降。在灌浆过程中，应根据土层条件和设计要求，控制注浆压力不小于 0.6 MPa。灌浆浆液严格执行一杆一配，不得预留或中途加水。

2 注浆管出浆口应插入距孔底 100mm~300mm 处，浆液自下而上连续灌注；

3 孔口溢出浆液时停止注浆；

4 根据设计要求确定灌浆方法和压力，确保钻孔灌浆饱满和浆体密实；

5 灌浆的浆体材料 28d 的无侧限抗压强度，不应低于 25MPa。浆体强度检验用试块的数量为每 30 根锚杆不应少于一组，每组试块不应少于 6 个。

5.2.7 现浇钢筋混凝土格构梁的施工质量检验应包括下列内容，并应符合《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定。

1 格构梁的构造钢筋和箍筋的制作偏差；

2 应使钢筋与坡面之间的间隙达到保护层厚度的要求；

3 混凝土配合比、坍落度、强度等级。

5.2.8 应根据《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2013 附录 C 的

征求意见稿

相关规定，进行玻璃钢螺旋锚杆的基本试验；当灌浆锚杆锚固体强度大于 20MPa 且达到设计强度的 90%以后，应按照玻璃钢锚杆总数的 5%，且不少于 5 根进行现场拉拔试验，检验玻璃钢螺旋锚杆的抗拔力是否达到设计要求。

征求意见稿