

公路加筋土工程设计规范

(JTJ 015—91)

条文说明

山西省交通厅

前 言

加筋土是法国在六十年代发展起来的新技术，结构新颖可靠，经济效益显著，在国际上被迅速推广。我国在十一届三中全会正确路线方针指引下，依靠科技振兴交通，公路加筋土技术发展很快。截至1989年底，全国已建成各类加筋土工程300余座。最高的加筋土挡土墙高达35.5m，最长的加筋土挡土墙长达1公里，这期间还发表了大量的论文、译文，测试报告和工程资料，为编制我国《公路加筋土工程设计规范》创造了条件。

本规范按照立足国内，博采众长，融汇贯通，自成体系的原则编写。大量的材料选自国内的工程资料、科研成果、有关标准和规范，少量国内暂不成熟的参考了国外研究成果。本书对我国首创的聚丙烯土工带和黄土填料等新技术得到了充分肯定。在内容安排和条文编排上体现了我国自己的体系和特色。

为了介绍编制本规范的主要依据、使用中注意事项及指出尚待进一步解决的问题，特编制本说明。

目 录

第一章	总则	1
第二章	荷载	2
第一节	荷载的类型和组合	2
第二节	永久荷载	4
第三节	可变荷载	5
第四节	地震力	6
第三章	材料与构件	7
第一节	材料容许应力	7
第二节	加筋体填料	11
第三节	筋带	19
第四节	面板	22
第四章	构造设计	24
第一节	一般规定	24
第二节	加筋土挡土墙	27
第三节	加筋土桥台	28
第五章	结构计算	31
第一节	一般规定	31
第二节	加筋土挡土墙	34
第三节	加筋土桥台	41
附录	条文附录一说明	45
算例		45
第一节	加筋土挡土墙	45
第二节	加筋土桥台	58

第一章 总 则

第1.0.1条 以推广加筋土新技术、降低工程造价、加快工程进度、少占耕地及美化公路环境等为目的而编制的《公路加筋土工程设计规范》，是根据现行的《公路工程技术标准》(JTJ01-88)所规定的原则与要求进行的。

编制我国第一本《公路加筋土工程设计规范》，是以当前的科技水平与技术经济条件为前提，以现有的专题科研成果、经验总结和资料分析为依据的。

近十年来，加筋土技术应用在我国发展很快，目前已建的300多座加筋土工程，绝大部分分布在我国28个省(市、区)的公路网中，并广泛地应用于公路工程中的挡土墙与桥台。历经对多项科研成果的鉴定和大量工程实践的检验，极大地丰富了这方面的内容，它为本规范的编制创造了成熟的条件，并且客观地确定了本规范适用于公路加筋土挡土墙和部分公路梁(板)式加筋土桥台以及其它加筋土构造物设计的使用范围。

第二章 荷 载

第一节 荷载的类型和组合

第2.1.1条 表2.1.1中的荷载类型,除编号2、3两种外,其余均引自《公路桥涵设计通用规范》(JTJ021—89)(以下简称《通规》)“荷载类型表”。

加筋土桥台除加筋体外,还有垫梁、盖梁、台柱等部分,且荷载类型多,设计时离不开《通规》,故规定直接采用《通规》“荷载类型表”。以免过多引用,造成不必要的重复,编号2、3荷载类型定义见条文第2.2.2条和第2.2.3条。

加筋体一词指面板与分层加了筋带的土体组成的整体(图2.1.1)

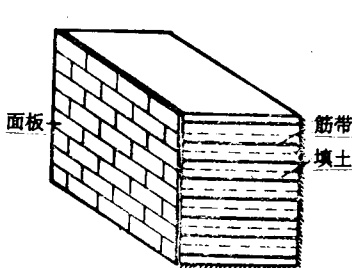


图2.1.1 加筋体图

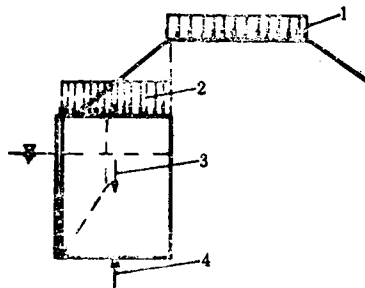


图2.1.2-1 荷载组合图

1-汽车等代荷载; 2-加筋体上填土重力等代荷载; 3-加筋体重力; 4-水的浮力

第2.1.2条 六种荷载组合引自《通规》。挡土墙因无其它荷载和偶然荷载中的船只或漂流物撞击力,故无荷载组合II、IV。

荷载组合举例:

例1: 计算路堤式挡土墙筋带所受拉力时组合I应组合的荷载为: 汽车、加筋体重力、加筋体上填土重力等代荷载、水的浮力(当浸水时)(图2.1.2-1)。根据条文第2.2.2条规定,内部

例4：计算整体式桥台地基应力时组合 VI 应组合的荷载为：桥梁上部构造重力对支座的压力、垫梁重力、加筋体上填土重力、加筋体重力、地震时加筋体背面土的侧压力、桥梁上部构造地震力对支座的作用力、垫梁地震力、加筋体上填土地震力、加筋体地震力（图2.1.2-4）。

第二节 永久荷载

第2.2.1条 面板与筋带的重力在加筋体中所占比重很小，故可按填料单位重计算加筋体重力。

整体式加筋土桥台垫梁重力和桥梁上部构造重力对支座的压力的合力，经过垫梁传递，在横桥向和顺桥向均假定为均布荷载，以简化计算。

第2.2.2条 条文式(2.2.2)是根据日本《加筋土挡土墙设计施工指南》（土木研究所编）

（以下简称《日本指南》）规定建立的，意为该等代均布土层厚度等于距面板背面 0.5 倍加筋体高度的水平距离的点上的加筋体上填土高度 h_1 （图2.2.2）。

条文所以采用等代荷载，是为了适应本规范采用的计算筋带拉力的正应力均匀分布法。该法只容许均布荷载（见第5.2.4条说明）。

应当注意的是此项等代荷载，只适用于内部稳定性分析，即拉筋断面与长度的计算。在外部稳定性验算时，加筋体上填土重力，应按加筋体上填土断面计算。

第2.2.4条

一、水位愈低，浮力愈小，则筋带所受拉力愈大，故筋带断

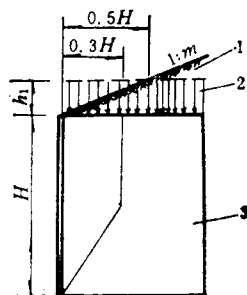


图2.2.2 路堤式挡土墙横断面图
1-加筋体上填土；2-换算的等代土层；3-加筋体

面设计采用低水位浮力。

二、条文第二款规定引自《通规》。因浸水加筋体与浸水圬工实体承受外力的情况无差别，故引用之。

三、条文中“其它”指筋带长度设计、整体稳定性验算等。“最不利水位”指产生荷载效应最不利组合的设计值（计算值）时的水位。条文第一、二款规定的水位都是最不利水位。条文第三款其它情况的最不利水位，随具体情况而变，不便做统一规定。

第三节 可 变 荷 载

第2.3.2条

一、条文第一款第1～4项及第三、四款均引自《通规》。式（2.3.2-2）以《通规》式（2.3.6-2）为基本式导得。

二、关于挡土墙 L_0 的取值

在内部稳定性分析中，活动区与稳定区的车辆荷载对筋带所受拉力都有影响，但应首先考虑影响最直接的活动区车辆荷载。然而活动区的等代土层厚度，有时小于路基宽的等代土层厚度，故规定比较后取值。

在外部稳定性验算中，因车辆荷载所占比重小，故 L_0 统一取路基宽度，以简化计算。

三、关于桥台 L_0 的取值

在内部稳定性分析中，外置组合式桥台的桥头搭板，有时跨过加筋体活动区，使活动区内布置不上车辆荷载，故规定比较后取值。

将车辆荷载换算为等代均布土层厚度，是多年来重力式挡土墙与近年来加筋土结构普遍应用计算简便的方法。但条文未限制只用这一方法。国内外还有应力扩散法以及基于弹性理论的各种方法，可根据实际情况采用。

第2.3.3条 为了简化计算，并得到偏安全的设计值（计算值）本条采用的等代土层荷载布置范围与计算等代土层厚度的车辆荷载布置范围不相一致。例如在整体式桥台的内部稳定性分析

中，将在垫梁内求得的等代均布土层荷载，布置于加筋体全宽内；在外部稳定性的滑移稳定验算中，将在加筋体宽度与加筋体后破裂楔体宽度之和内求得的等代均布土层荷载，只布置于加筋后破裂楔体的顶部。

第四节 地 震 力

第2.4.1条、第2.4.2条、第2.4.3条、第2.4.4条

本四条是根据《公路工程抗震设计规范》（以下简称《震规》）有关规定归纳而得的加筋土工程抗震设计的一般规定。其中关于6度地区的内容是根据国家有关规定制定的。

第三章 材料与构件

第一节 材料容许应力

第3.1.1条 扁钢带一般用3号钢轧制。扁钢、钢筋和混凝土的容许应力根据1974年部颁《公路桥涵设计规范》确定。

第3.1.2条 聚丙烯土工带是一种低模量、高蠕变材料。聚丙烯土工带加筋土可能在筋带应力不大的情况下，因蠕变引起墙面过大位移而破坏，这是与其它筋带加筋土工程的重要区别。所以聚丙烯土工带容许应力由其容许产生的蠕变控制。

本规范容许应力值主要是根据已建成使用的加筋土工程设计应力采用值（表3.1.2-1）和山西、四川两省对土工带在自然室温蠕变试验研究的结果综合分析后提出的。

聚丙烯土工带力学指标统计表

表3.1.2-1

省 名	工程地点	断裂拉应力 (MPa)	断裂伸长率 (%)	设计应力 (MPa)	设计应力/ 断裂应力
云南	213线17K	166	20	33	1/5
内蒙	准格尔煤田公路	127	14	23	1/5.6
山西	陵 川	248	<30	52	1/4.8
甘肃	西兰公路太平沟	195	<10	39	1/5
山西	兑 镇	192	<20	19	1/10
陕西	三宁线口镇	223	14	45	1/5
陕西	紫阳县桥沟	263	12	44	1/6
江西	龙华大桥引道	192	18	40	1/4.8
江苏	南通大桥引道	276	10	44	1/6.33
辽宁	建 平 县	249	14	51	1/4.9
四川	长 寿	263	20.5	53	1/5

土工带蠕变计算：

1. 土工带在空气中的相对蠕变

按数理统计回归：

$$\varepsilon = m\sigma^a t^b$$

(3.1.2-1)

式中： ε ——相对蠕变（%）；
 σ ——土工带应力（MPa）；
 t ——持荷历时（d）；
 m ——蠕变系数；
 a ——应力指数；
 b ——历时指数。

山西和四川对 m 、 a 、 b 测算结果见表3.1.2 2。

土工帶蠕變系數表

表 3.1.2-2

		m	a	b	Syxx	R
山西	土工带 (19×1.2mm)	0.000127	1.31	0.17	0.07	0.984
	打包带 (13×0.8mm)	0.000034	1.877	0.274	0.165	0.988
四川	土工带 (19×1.0mm)	0.000155	1.5143	0.0978	0.132	0.9905

注: R —复相关系数;

 $S_{y \cdot x}^2$ 的均方差

2. 土工帶在土介质中的蠕变

国内外的试验研究表明,作用在筋带上的应力沿带长呈抛物线分布。实际应用中将应力简化为折线变化分布见图 3.1.2,最大应力产生在距离墙面 0.3 倍墙高处,即破裂面处。与面板联结处的应力不超过最大应力的 $3/4$ 。

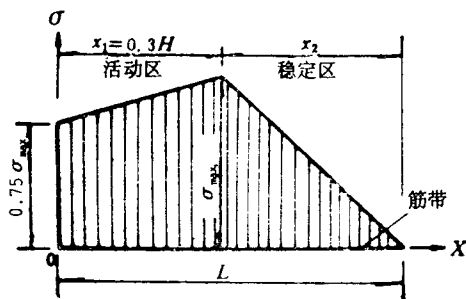


图3.1.2 拉筋应力分布图

活动区蠕变计算:

$$\sigma_x = \sigma_{\max} - \frac{\sigma_{\max}}{4x_1} x \quad (3.1.2-2)$$

$$\Delta L_1 = \int_0^{x_1} \varepsilon dx = m\sigma_{\max}^a t^b \frac{4x_1(1-0.75^{a+1})}{a+1} \quad (3.1.2-3)$$

式中: σ_x ——活动区应力函数 (MPa);

$\sigma_{\max}$ ——筋带最大应力 (MPa);

ΔL_1 ——活动区蠕变 (cm);

x_1 ——活动区长度 (cm)。

稳定区蠕变计算:

$$\sigma_x = \sigma_{\max} - \frac{\sigma_{\max}}{x_2} x \quad (3.1.2-4)$$

$$\Delta L_2 = \int_0^{x_2} \varepsilon dx = m\sigma_{\max}^a + b \frac{x_2}{a+1} \quad (3.1.2-5)$$

式中: σ_x ——稳定区应力函数 (MPa);

ΔL_2 ——稳定区蠕变 (cm);

x_2 ——稳定区长度 (cm);

其余符号同前。

总蠕变计算:

$$\begin{aligned} \Delta L &= \Delta L_1 + \Delta L_2 \\ &= \frac{m\sigma_{\max}^a t^b}{a+1} [4x_1(1-0.75^{a+1}) + x_2] \end{aligned} \quad (3.1.2-6)$$

筋带相对蠕变为总蠕变与墙高之比 $\varepsilon_{\text{计}} = \frac{\Delta L}{H}$, 取 $x_1 =$

0.3H。

当采用土工带时 $H \gg x_2$, 略去 $\frac{x_2}{H}$ 得:

$$\varepsilon_{\text{tt}} = -\frac{m\sigma_{\text{max}}^a t^b}{a+1} [1.2(1-0.75)^{a+1}] \quad (3.1.2-7)$$

式中: ε_{tt} ——相对蠕变(%) ;

其余符号同前。

3. 土工带容许应力

为保证墙面在使用期内的水平位移能控制在容许范围以内, 筋带的容许应力以其相对蠕变等于墙面的容许相对变位方程求得:

$$\varepsilon_{\text{tt}} - [\varepsilon] = 0$$

$$-\frac{m[\sigma]^a t^b}{a+1} [1.2(1-0.75^{a+1})] - [\varepsilon] = 0 \quad (3.1.2-8)$$

式中: $[\varepsilon]$ ——墙面容许相对变位, 即墙面的容许水平变位与墙高之比, 一般可取1%~2%;

$[\sigma]$ ——与 $[\varepsilon]$ 对应的筋带容许最大应力。

例如已知上海塑料制品十一厂“1912”型聚丙烯土工带的 $m=0.000127$, $a=1.31$, $b=0.17$, $\sigma_{\text{断}}=220\text{MPa}$, $t=50$ 年, $[\varepsilon]=2\%$ 时其容许应力为:

$$\frac{0.000127 \times [\sigma]^{1.31} \times 18250^{0.17}}{1.31+1} \times [1.2(1-0.75^{2.31})]$$

$$-0.02 = 0$$

得 $[\sigma] = 38.1\text{MPa}$

$$\frac{[\sigma]}{\sigma_{\text{断}}} = \frac{38.1}{220} = \frac{1}{6}$$

以上计算数值与实际应用值是基本相符的, 所以设计应力采用1/5~1/7是可靠的。但是, 现在土工带蠕变的测试条件和实际工作状态并不一致, 测试结果的验证资料很少, 提出更确切数据尚需做大量研究工作。

第3.1.3条 荷载性质不同, 各种荷载组合发生的机率也不

同。因此,不同荷载组合时对结构物应有不同的安全储备,即安全系数应有所区别。永久荷载和基本可变荷载作用下的安全度要求高一些,其它可变荷载和偶然荷载则可低一些。本规范中钢筋和混凝土的容许应力提高系数,根据1974年部颁《公路桥涵设计规范》确定。扁钢的容许应力提高系数采用钢筋的数值。聚丙烯土工带的容许应力由蠕变确定,且远远小于断裂应力。地震时间短,属瞬时荷载和具有偶然性,故采用了较大的提高系数。

第二节 加筋体填料

第3.2.1、第3.2.2条 我国幅员辽阔,各地情况不一,制定出适合各地条件的加筋土填料技术指标,需要做很多的试验研究。本规范未开展这方面工作,因此,条文仅对填料提出了原则要求,未过多地给出具体规定。为供设计参考,现将国内外使用的加筋土填料情况介绍如下:

在国外,一般采用砂砾、粗砂等粗粒填料,要求填料的塑性指数小于6。法国规定通过0.074mm孔径的颗粒含量不大于15%,若大于此值,则需限制通过0.015mm孔径的含量不得大于10%,当通过此孔的颗粒含量大于或等于20%时,则禁止使用。填料的内摩擦角在饱和状态快剪时最小应为 25° ,无水夯实填料的内摩擦角应大于 36° ,填料与光面筋带的摩擦系数不宜小于0.4。浸水加筋土工程,填料的摩擦角的设计采用值不宜大于 25° 。

《地基处理》(中国建筑工业出版社1988.8)介绍填料的级配与粒径要求见图3.2.1。

日本加筋土挡墙设计施工指南对硬岩渣土的要求见表3.2.1。对其它填料要求细粒成分含量应在30%以下。

粘性土填料,英国环境运输部(D 、 T_p)建议土的内摩擦角不应小于 20° 。

国内从80年代初开始使用加筋土结构。结合各地情况,采用了砂砾、粗砂、黄土、粘性土、红粘土、粘性土掺石灰、粉煤灰等填料。采用聚丙烯土工带和黄土填料获得成功,这是一项重要

硬岩石渣条件

表3.2.1

粒 径	250mm以上	150mm以下	74 μ m以下
重 量 比	0%	25%	25%

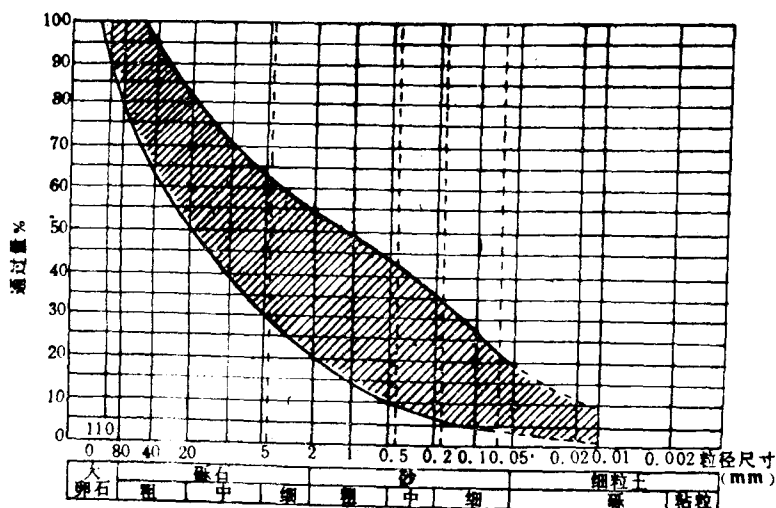


图3.2.1 加筋土填料粒径分布范围

的突破。

试验证明粘性土在含水量适当时，压实是不困难的。压实后同样可获得较大的内摩擦角。同时，粘聚力作用于筋带，从而有可能充分发挥筋带强度。根据国内测试，在最佳含水量时粘性土与土工带的摩擦系数一般大于0.3。但粘性土颗粒小、比面积大，渗透性差、矿物含量多，土粒表面吸附的薄膜水阻止土颗粒直接接触，固结下沉还会产生很大的侧压力。所以施工中对粘性土填料必须有严格的压实度要求。另外，水对粘性土的性质有很大的改变，按天津市政设计院试验在没有浸水时，土工带与砂和粘性土的摩擦系数几乎相当 ($f'_{\text{砂}} = 0.497$ 、 $f'_{\text{土}} = 0.490$)，

而浸水后 $f'_{\text{砂}} = 0.30$ 、 $f'_{\text{土}} = 0.23$ ，粘性土比砂的摩擦系数降低了39.1%。四川省公路设计院研究结果，粘性土的含水量比最佳含水量大2%时，松软状的黄壤土，冲积土内摩擦角可下降20%~60%，粘聚力降低10%~50%，所以粘性土填料加筋土应严防水浸入墙体，一般墙体顶面需要做沥青封闭层。

黄土填料：黄土一般有较强的粘聚力，固结后自立性很强。在含水量适当时，压实后的内摩擦角大于 30° ，在山西、陕西、河南等地已修筑73座，使用均无发现大的问题。

粉煤灰填料：1985年陕西在西包线K375~400m处修建了试验墙。松散的粉煤灰 c 值一般很小，但压实后有较大的增加 ($c = 2.5 \text{ kN/m}^2$ ， $\varphi = 37^\circ$) 更重要的一个特征是随时间逐渐固化， c 、 φ 值显著增大后使其成为一个坚实体。粉煤灰压实功比一般土要增加2~3倍，压实度可达90%。粉煤灰中所含的硅、铝、铁等元素，对筋带的腐蚀问题需要研究。

高液限粘性土如红粘土，一般是高塑性、低摩擦角、细颗粒、大孔隙、高含水量土壤。根据贵州的经验，天然含水量时其内摩擦角为 14° ，与土工带筋带的似摩擦系数平均为0.7左右。但红粘土在饱水后有很大的膨胀率，如在最佳含水量下压实，遇水后将会产生很大的侧向压力和失去摩擦力，所以用其做填料要根据当地情况在适当的含水量下压实和确定内摩擦角，并严防水的浸入。为增大摩擦可在筋带上下各铺2.5cm厚的砂层提高筋带的抗拔力。

红粘土含有 Cl^{-1} 、 SO_4^{2-} 和各种无机盐离子，对筋带有一定的腐蚀。

第3.2.3条

一、钢带

钢带在我国的使用很少，国内对其填料的具体要求还没有研究。本条是参照法国、日本加筋土设计规范结合部颁《公路土工试验规程》(JTJ051)现有的试验方法提出的，其中 $[\text{Cl}]^{-1}$ 、 $[\text{SO}_4]^{2-}$ 离子的标准是按“规程”单位换算求得。