

浅议预应力锚杆结构的构成与划分^①

付文光

(中国京冶工程技术有限公司 北京 100088)

摘要:国内规范及工程实践中把锚杆结构划分为锚固段、自由段及锚头段,这种划分方法已经不能满足锚杆技术发展需求,建议增加一种将杆体划分为黏结段、非黏结段与张拉段的划分方法。工程中普遍存在将黏结段作为锚固段使用的现象,锚固段与黏结段、自由段与非黏结段的功能不同,不能混淆。止浆塞是物理上将锚固段与自由段分开的关键构件,不设置止浆塞则无法确定锚固段的起止位置及长度,也就无法对锚固段进行准确设计计算。实际工程中止浆塞的设置位置造成拉力型锚杆带有拉压型锚杆的受力特征。为保证锚固段置于假定破裂面以内的稳定土体中,需将止浆塞设置在假定破裂面以内 1~2 m 处。

关键词: 锚杆; 锚固段; 黏结段; 非黏结段; 止浆塞; 拉压型锚杆

中图分类号: TU476

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2015)增刊 2-0201-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2015.增刊 2.0201

Discussion of the Composition and Division of a Prestressed Anchor Structure

FU Wen-guang

(China Jingye Engineering Corporation Limited Company, Beijing 100088, China)

Abstract: The method that anchor structure is divided into fixed length, free length, and anchor head using industry standards and engineering practices, but it has been found that this approach cannot meet the requirements of anchor technology development. Therefore, another method is suggested in this study that employs a body rod as the anchor will be divided into bond, non-bond and tension lengths. Erroneously employing in the bond length as the fixed length has been the rule in numerous engineering projects. The functions between the fixed length and bond segment are different, so the free and non-bond segments cannot be confused. The packer is the key physical element that distinguishes the fixed length from the free length, the start-stop position and fixed length are unknown without a top-grouting plug, so that the fixed length is often not accurately designed or calculated. The tension-type anchor is partially characterized by a tension-compression anchor and, in practice, is the actual position of the packer. To ensure the fixed length of the anchor outside of the assumed stability slip surface and within the stability of the soil layer, the packer should be set outside of the assumed stability slip surface at 1~2 m.

Key words: anchor; anchorage segment; bond segment; non-bond segment; packer; tension-compression anchor

① 收稿日期: 2015-04-01

作者简介: 付文光(1970—),男,北京人,注册岩土工程师,教高,主要从事岩土工程设计咨询、工程实践、试验研究等。

E-mail: zgjy1992@126.com。

0 引言

预应力锚杆应用非常广泛,功能上可划分为锚头、自由段及锚固段3部分,结构上由锚头、自由段、锚固段及杆体构成。

问题在于:(1)在构造上,锚固段与自由段是如何区分的?有人认为,锚固段的锚筋裸露,与注浆体黏结,自由段的锚筋有套管包裹,不与注浆体黏结;还有人认为,锚杆在假定破裂面以外的部分为自由段,假定破裂面以内,即稳定土层中的部分为锚固段,那么锚固段与自由段力学功能不同,需采取什么物理措施才能保证达到各自功能?(2)拉力型锚杆的锚固段,指的是锚筋与注浆体的黏结,还是注浆体与周边岩土体的黏结?(3)拉力型与压力型锚杆的自由段是一回事吗?(4)拉力型锚杆与拉压力型锚杆在构造上有区别吗?(5)荷载分散型锚杆的单元锚固段长度该如何计取,是两个单元锚杆之间的距离吗?

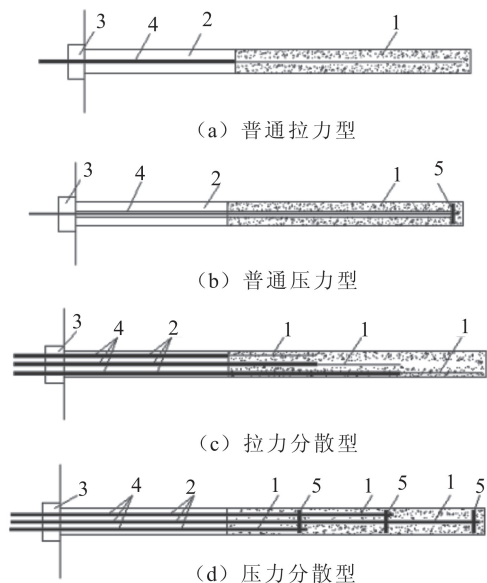
这些问题很少有人深入探讨,几乎查询不到相关文献。本文尝试对相关问题进行讨论,希望抛砖引玉,能够引起业界对预应力锚杆结构的划分与命名、关键构件设置等问题的重视及改进。

1 锚固段、黏结段与锚杆结构划分

(1) 现行锚杆结构划分方法

从力学机理角度,预应力锚杆分为拉力型及压力型,两类锚杆又组合演化出拉压型、拉力分散型、压力分散型、拉压分散型等几种类型,后3种统称为荷载分散型,本文限于篇幅不作重点讨论。以各规范为代表的国内文献中预应力锚杆的构成通常如图1所示,图中无黏结杆体指无黏结钢绞线或外包防腐油脂及套管的普通钢绞线或钢筋。

《岩土锚杆(索)技术规程》^[1]对结构的不同部位进行了定义:(1)锚头指将预应力由杆体传递到地层或支撑结构表面的锚杆外露端;(2)自由段指利用弹性伸长将拉力传递给锚固体的杆体部分;(3)锚固段指通过注浆或机械装置将拉力传递到周围岩层或土体的杆体部分。这种结构划分及对不同部位的定义显然是以拉力型锚杆为基础的,如今看来不大够用。例如,其与压力型锚杆就不相适应:压力型锚杆中如图1(b)所示的“锚固段”,也符合上述“自由段”的定义。矛盾产生的主要原因是技术的进步与规范的相对滞后。数十年前国内工程中几乎都采用拉力型锚杆,这种结构划分大致够用;近些年来随着锚杆技术的扩展与进步,压力型锚杆、荷载分散型锚杆、拉压



1 (单元)锚固段; 2 (单元)自由段; 3 锚头;
4 无黏结杆体; 5 承载体

图1 国内规范中的锚杆结构简图

Fig.1 Anchor structure diagram in domestic standard

型锚杆等已经大量应用,这些类型锚杆在结构及力学机理上与拉力型锚杆有较大差别,不再适用这种结构划分方法。

(2) 建议增加锚杆结构划分方法

工程中采用的预应力锚杆绝大多数为注浆黏结型,力的作用与传递过程为:外力施加到锚头上,锚头产生拉应力并将之传递到锚筋(或/及承载体),锚筋(或/及承载体)通过与浆体的黏结或挤压等机械接触作用将力传递到注浆体,浆体再通过与地层的黏结作用传递扩散到周边地层。因各类锚杆的浆体/地层的黏结段与浆体/锚筋的黏结段功能、长度不同,故不能划分为同一结构,也不能采用同一名词术语。以欧洲标准 EN 1537:2013《特种岩土工程的实施——锚杆》^[2-3]为代表的欧美日较新规范已经注意到了这个问题并进行了改进,通常将浆体与锚筋的黏结称为 bond(本文译为黏结),浆体与地层界面的黏结称为 fixed(本文译为锚固),锚杆结构划分时按浆体与地层的黏结与否划分成锚固段及自由段,按浆体与锚筋的黏结与否划分为黏结段及非黏结段。

国内规范中目前尚未采取后一种结构划分与命名方法。故参考国外规范,本文以普通拉力型及普通压力型锚杆为例,把杆体也划分为不同结构部位,以补充及调整仅对锚杆结构进行划分方法的不足。建议的锚杆及杆体结构划分及命名如图2所示:

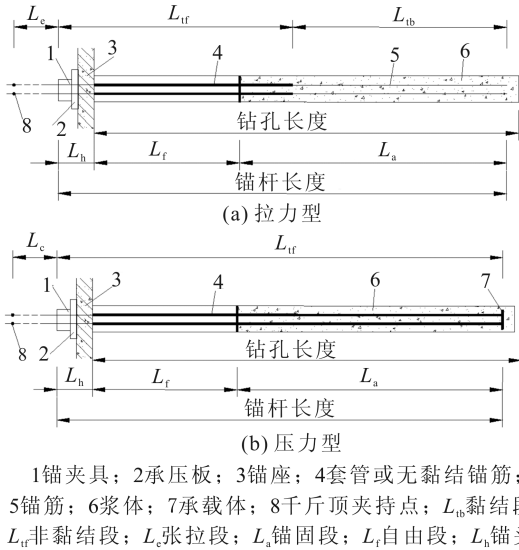


图 2 锚杆结构的划分及命名

Fig.2 Division and name of the anchor structure

(1) 按现有作法把预应力锚杆的全长分为锚固段、自由段及锚头 3 部分,其中锚固段指浆体与周边地层的黏结段,自由段指钻孔孔口至锚固段之间,锚头指钻孔孔口至锚夹具之间的锚杆部位;(2) 把杆体全长分为黏结段、非黏结段与张拉段 3 部分,其中黏结段指浆体与锚筋的黏结段,非黏结段指锚夹具至黏结段之间,张拉段指锚夹具至千斤顶夹持点之间。

第 1 种即现有规范方法,以锚杆整体作为一个研究对象,侧重于锚杆与地层之间的力,即“外力”的相互作用关系。各部位的功能为:锚固段提供抗拔力;自由段将锚固段置于假定破裂面以内;锚头段承受张拉荷载及土侧压力等外荷载。第 2 种以锚杆的内部结构作为研究对象,侧重于锚杆内部之间的力,即“内力”的相互作用关系。各部位的功能为:张拉段将张拉千斤顶施加的荷载传递给非黏结段;非黏结段提供弹性变形量及产生预应力,并将应力传递给拉力型锚杆的黏结段或压力型锚杆的承载体;拉力型锚杆的黏结段将锚筋拉力以剪力形式传递给锚固体及锚固段,压力型锚杆以压力形式将锚筋拉力传递给锚固体及锚固段,故压力型锚杆没有黏结段。

拉力型锚杆锚固段长度一般略长于黏结段长度,自由段长度略短于非黏结段长度;压力型锚杆可认为黏结段长度为 0,从锚夹具至锚筋的内端头之间均为非黏结段,故非黏结段长度远大于自由段。自由段与锚头以钻孔孔口作为分界面;非黏结段与张拉段以锚夹具表面作为分界面,主要是为了便于计算非黏结段锚筋的弹性伸长。这两种划分方法相

结合后适用于所有类型的预应力锚杆,包括拉压型、荷载分散型、机械固定型等。

增加一种划分方法的目的是便于对各类锚杆的各部位及相应功能进行准确的描述、设计计算及构造设置等工程及科研应用。例如,规范要求计算外力作用下锚杆自由段的弹性伸长量,实质上指杆体非黏结段的弹性伸长量;要求验算锚筋的锚固长度,实质上指杆体的黏结段长度;要求临时锚杆对自由段进行防腐保护,实质上指对杆体非黏结段进行防腐保护;规范要求锚筋外露于锚具外的长度不宜小于 1.5 m 以利于张拉,简单说就是张拉段不宜小于 1.5 m 等。可见,增加了按本文建议的锚杆杆体结构划分及命名方法后,对锚杆各部位的描述要准确清晰得多;同时也可清楚看出,在结构构成上,拉力型锚杆的锚固段、自由段与压力型锚杆的锚固段、自由段是一样的,黏结段与非黏结段则不是。

2 止浆塞与锚固段的构成

(1) 锚固段的力学机理

从受力角度划分锚杆类型时,主要依据为锚筋对注浆体的传力方式。压力型锚杆的注浆体受到的是杆体(承载体)的压力作用。传统上认为拉力型锚杆的浆体受到的是杆体(锚筋)的拉力作用,但锚筋拉力无法直接传递给注浆体,注浆体也不承受拉应力,实际上仍是以黏结力,即剪力的形式传递给浆体的。两类锚杆锚固段力学机理如图 3 所示,其中 σ 为承载体作用在锚固段尾端端面上的压应力, τ 为剪应力(或称黏结应力)。

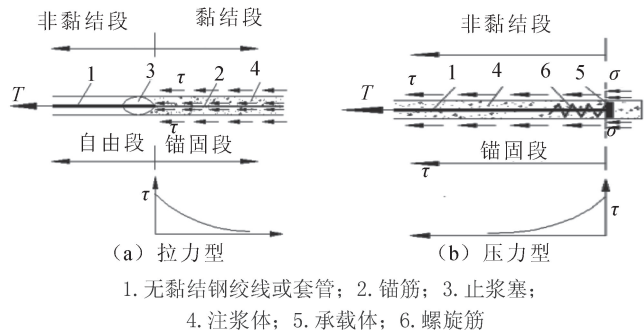


图 3 锚杆结构及应力分布简图

Fig.3 Diagram of anchor structure and stress distribution

(2) 止浆塞的物理作用

在构造上,对于自由段与锚固段的区分,国内文献及工程中的普遍作法是:要求对自由段的钢绞线或钢筋涂抹防腐油脂后外套无黏结塑料套管,或者干脆采用无黏结钢绞线。但如上所述,这样得到的

是非黏结段,而非自由段。由于历史原因,国内把非黏结段当成自由段的现象很普遍。

国外锚杆规范中,通常要求在自由段与锚固段交接处设置压水膨胀或压气膨胀的止浆塞、灌浆袋、封堵器、止浆环等,或者较为简单的单向阀、分隔膜等,以及采用带有自止浆功能的马歇管、袖阀管等。其作用有二:一是使锚固段在注浆时形成封闭的空间,有利于提高灌浆压力或为多次注浆提供条件,从而提高锚杆抗拔力;二是把锚固段与自由段分隔开,使自由段不被浆液充填,即严格意义上的自由段应该没有浆体。为达到这一目的,必须要在自由段与锚固段之间设置止浆塞等构件进行物理隔离——就像非黏结段采用塑料套管对锚筋与浆体进行隔离一样,使浆体只充盈在锚固段,而自由段保持无浆;即使因工艺原因导致自由段内进入浆液,也因为止浆塞的物理隔离,使自由段的浆体与锚固段的浆体相互独立而不相连,以避免应力的传递。但国内基坑、边坡、基础及锚杆专项规范,通常都没有要求设置止浆塞,只有个别规范,如《水电水利工程预应力锚索施工规范》^[4]等有所要求;国内大多数锚杆工程中,尤其是基坑等民用建筑工程,包括大多数锚杆试验,也都没有设置。

(3) 止浆塞的力学意义

为使注浆饱满,规范都要求孔口返浆后才能停注。如果不设置止浆塞,注浆时“自由段”内就充满了或几乎充满浆液,与“锚固段”浆体连续而成为一体,从而导致应力不可避免地从锚固段传递到“自由段”。此时的锚杆实质上为拉压型锚杆,并非拉力型锚杆:①非黏结段表现为压力型锚杆,在与黏结段的交界面上受到黏结段的压力,再以剪力的形式向周边岩土层扩散;②黏结段一方面表现为拉力型锚杆,将锚筋传来的拉力以剪力的形式向外扩散;另一方面又表现为压力型锚杆的承载体,在界面上向非黏结段传递压力,如图4所示。

规范通常都要求锚杆的自由段应穿过假定破裂面1~2 m,其目的是将锚固段置于假定破裂面以内的稳定土体中,使锚固段的应力不回传于假定破裂面以外的不稳定土体中。没有止浆塞时,锚固段与自由段之间并没有明确的物理界面,无法确定锚固段的起点,如图5所示;又因把非黏结段当成了自由段,“自由段穿过假定破裂面1~2 m”对于拉力型锚杆只是将非黏结段穿过假定破裂面1~2 m;对于压力型锚杆则因为不知道自由段的终点在哪,也就不知道是否穿过了假定破裂面。因为不清楚“锚固段”

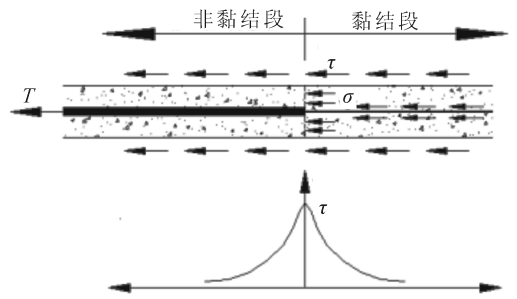


图4 拉压型锚杆应力分布简图

Fig.4 Stress distribution along tension-compression anchor

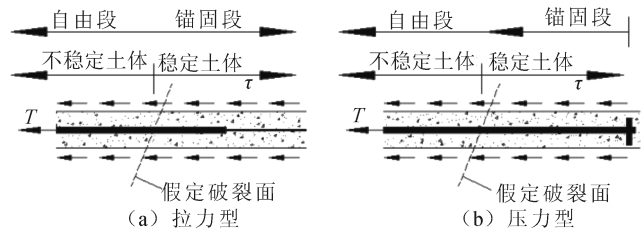


图5 无止浆塞时的锚固段传力简图

Fig.5 Stress distribution along anchor without packer

的起止位置,也就不清楚黏结应力 τ 的分布范围有多长,“自由段”并不自由,也在受力,“锚固段”也就变成了一笔糊涂账。

可见,止浆塞看起来只是一个构造措施,但却是构成锚固段的关键,作用至关重要。如果不设置止浆塞,锚杆抗拔试验时,测得的极限抗拔力中有多少是设计预期的锚固段贡献的、有多少是“自由段”贡献的并不清楚,锚杆的实际锚固段究竟有多长、与设计预期相差多少也不清楚;反算黏结强度时是以设计预期的锚固段长度为基准的,反算结果误差有多大并不清楚,将试验结果用于指导工程设计时误差有多大也不清楚。工程中只有设置了止浆塞,锚固段的位置及长度才可知、可控;不设置时,尽管设计了“锚固段”的长度和起始位置,但真正的起止位置在哪里其实并不清楚,真正的受力段长度是多少也不清楚,锚杆的设计主要靠经验和直觉,很难总结出较为准确的经验数据和理论公式。

(3) 荷载分散型锚杆的锚固段长度

荷载分散型锚杆的问题似乎更大。普通锚杆设置止浆塞后,理论上可以把自由段与锚固段物理隔离,但荷载分散型在技术上目前几乎做不到。理论上,荷载分散型锚杆每个单元锚杆都需要设置一个止浆塞,但按目前的技术水平,一个锚杆孔只能设置一个止浆塞,设置多了因为妨碍其他单元浆液流动等原因,技术上几乎实现不了,即各单元锚杆共用一

个止浆塞。

以压力分散型锚杆为例。不设置止浆塞时,所有单元锚固段长度都不可知;设置了 1 个后,尽管单元锚杆锚固段起止位置能够确定,但锚固段的长度并不一致,普遍认为设计预期的单元锚固段长度分别为 L_1 、 L_2 及 L_3 ,实际上却是 $L_1+L_2+L_3$ 、 L_2+L_3 及 L_3 ,如图 6 所示。因为单元锚杆的实际锚固段长度长短不一,几乎无法准确设计计算,这或许是荷载分散型锚杆在欧美日规范未被列入的原因之一。不过,如果单元承载体面积足够大,也能对注浆体起到物理隔离的作用,一定程度上可近似认为单元锚固段长度分别为 L_1 、 L_2 及 L_3 。

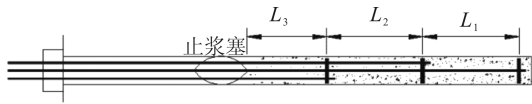


图 6 压力分散型锚杆的单元锚固段长度
Fig.6 Unit length of dispersed pressure anchor

(4) 止浆塞的位置

对于拉力型锚杆理想情况下止浆塞应设置在黏结段与非黏结段交界处,自由段、锚固段的界面与非黏结段/黏结段的界面位置重合,则黏结段亦为锚固段,如图 3(a)所示。这种位置重合可能就是业界普遍把锚固段与黏结段相混淆的原因。

工程中止浆塞的实际位置与黏结段/非黏结段的界面通常并不重合。实际上,因黏结段锚筋缺少像非黏结段锚筋那样的无黏结套管的保护与隔离,为了保证其完全被浆体包裹,非黏结段应进入到锚固段一定距离作为保护段(这对于永久性锚杆而言特别重要),一般可为 0.3~0.5 m,如图 7 所示。

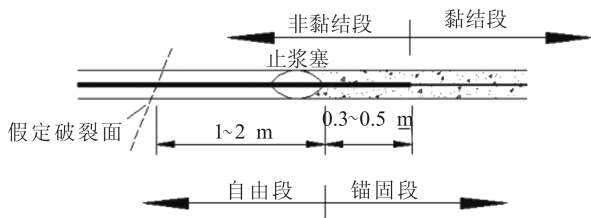


图 7 止浆塞的位置
Fig.7 Location of the packer

保护段实际上是受压段。从这个意义上讲,实际工程中几乎没有纯粹的拉力型锚杆,拉力型锚杆实际上都带有一定长度的受压段,故一定程度上都带有拉压型锚杆的特征。因为保护段是锚固段的一部分,自由段应穿过假定破裂面 1~2 m,本质上是要求止浆塞距离假定破裂面 1~2 m,这样才能保证

锚固段完全置于假定破裂面以外。

3 实例

笔者在研究锚杆的有效锚固长度时,现场进行了 7 组基本试验。每组 6 条拉力型锚杆,结合工程锚杆,长度为 21~23 m。其中设计锚固段长度分别为 5、6、8、10、12、15、18 m,其余为自由段,锚筋均为 $5\phi^{15.2}$ 的 1 860 MPa 钢绞线。拉拔试验的结果是几乎所有的锚索都达到了极限值 1 000 kN(约为锚筋破断力的 0.8 倍),根本没有表现出锚杆极限承载力随锚固段长度增长而增加或随其减短而减少的趋势。检查分析原因发现,锚杆施工时,像其他工程一样,现场把黏结段错当成了锚固段,分别按 5~18 m 设置;把非黏结段当成了自由段,对“自由段”的钢绞线进行了涂油脂装套管处理;没有设置止浆塞,一次注浆时直到孔口返浆才停注,“自由段”内充满了浆液且与“锚固段”连续成形。尽管二次注浆管仅在“锚固段”开设了注浆孔,但直至孔口返浆才停注,即二次注浆对“自由段”的注浆体也起到了补强作用。这样,5~18 m 的长度其实是黏结段而非锚固段,几乎锚杆的全长都是锚固段,各组锚杆的实际锚固段几乎等长且足够长,故拉拔试验表现出来的抗拔力没有差别。

考虑到试验土层较好,主要为全风化花岗岩,有效锚固段长度可能较短,试验结果缺乏代表性,笔者又结合另一项残积砂质黏性土中的工程锚杆进行验证:同样不设置止浆塞试验近百条锚杆,锚杆总长度 25 m,黏结段分别为 5 m 及 20 m,抗拔力没有区别,试验最大荷载均达到了 900 kN。按类似经验及基本试验结果,如果锚固段确实为 5 m,极限抗拔力最大约为 400~500 kN,无论如何都不可能达到 900 kN。事实证实,不能把黏结段当成锚固段使用。

4 结论

(1) 国内规范及工程实践中把锚杆结构划分为锚固段、自由段及锚头段的划分方法已经不能满足锚杆技术发展要求,建议增加一种划分方法,即将锚杆杆体划分为黏结段、非黏结段及张拉段。

(2) 在构造上,无黏结套管将黏结段与非黏结段相分开,止浆塞将锚固段与自由段相分开。锚固段与黏结段、自由段与非黏结段的物理结构及力学功能均不相同,不能混淆使用。

(3) 锚固段决定了锚杆“外力”的传递方式,黏结段决定了“内力”的传递方式,两者共同决定了锚

杆的受力机理及类型。

(4) 止浆塞是锚固段得以实现的关键,不设置止浆塞则无法确定锚固段的起止位置及长度,也就无法对锚固段进行准确的设计计算。

(5) 工程中止浆塞的实际位置造成了拉力型锚杆的受力机理在一定程度上带有拉压型锚杆的特征。

(6) 不设置止浆塞时,荷载分散型锚杆各单元锚固长度不能确定;设置1个止浆塞时,各单元锚固段实际长度可能与设计预期不一致。

(7) 为保证锚固段置于假定破裂面以内的稳定

土层中,需将止浆塞设置在假定破裂面以内1~2 m。

参考文献

- [1] CECS22:2005. 岩土锚杆(索)技术规程[S]. 北京:中国计划出版社,2005.
- [2] EN 1537:2013. Execution of Special Geotechnical Works-Ground Anchors[S]. CEN.
- [3] 付文光,周凯,张兴杰. EN 1537:2013及BS 8081中施工内容简介——欧洲目前主要锚杆技术标准简介之三[J]. 岩土锚固工程,2014(3):30-37.
- [4] DL/T 5083-2010. 水电水利工程预应力锚索施工规范[S]. 北京:中国电力出版社,2010.