

青藏铁路多年冻土区土工格室护坡试验研究

魏 静^{1,2}, 许兆义¹, 包黎明², 葛建军³

(1. 北京交通大学 土木建筑工程学院, 北京 100044; 2. 铁道部经济规划研究院, 北京 100038;

3. 铁道第一勘察设计院, 陕西 西安 710043)

摘要: 为研究土工格室+粗颗粒柔性结构在高原冻土地段防护路堤边坡的工程效果和适用条件, 在青藏铁路沱沱河地区设计并开展了土工格室护坡试验研究, 研究试验包括测定土工格室填料的物理力学性能指标; 测试土工格室在常温(20 °C)、高温(60 °C)、低温(-25 °C)、循环条件(低温→高温→低温)、连续低温常温循环条件和紫外线条件下的力学特性, 对土工格室冻融和抗老化性能进行了试验, 并对现场测试断面的变形进行测试, 试验成果表明: 土工格室这种材料更耐低温, 且具有较好的抗老化性能, 可适用于多年冻土地地区路基坡面防护, 并根据试验结果给出高原冻土地段土工格室护坡处理措施应注意的要点。

关键词: 边坡工程; 青藏铁路; 土工格室; 护坡; 变形

中图分类号: P 642.2

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 6915(2006)增 1 - 3168 - 06

EXPERIMENTAL STUDY ON EMBANKMENT SLOPE PROTECTION WITH GEOCELL IN PERMAFROST REGIONS OF QINGHAI—TIBET RAILWAY

WEI Jing^{1,2}, XU Zhaoyi¹, BAO Liming², GE Jianjun³

(1. *School of Civil Engineering and Architecture, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;*

2. *Economic Design Research Institute of China Railway Ministry, Beijing 100038, China;*

3. *The First Survey and Design Institute of China Railway, Xi'an, Shaanxi 710043, China*)

Abstract: To study the engineering effect and applicable condition of geocell and coarse particle, a kind of flexible structure, which was used for embankment slope surface protection in permafrost regions on Qinghai—Tibet plateau, experimental project, and embankment slope surface protection with geocell, was designed and carried out in Tuotuo River regions along Qinghai—Tibet Railway. The experiments included determination of physico-mechanical index of geocell filling and testing geocell mechanical characteristics under various conditions, such as under normal temperature(20 °C), high temperature(60 °C), low temperature(-25 °C), cyclic condition(low temperature→high temperature→low temperature), continuous low temperature and normal temperature cyclic condition and ultraviolet radiation condition. In the meantime, freezing and thawing characteristics and aging resistance of geocell were tested. Also, the embankment surface deformation is measured. The indoors and field test results showed that the geocell material had the characteristics of cold and aging-resistance. The geocell material could be used for embankment slope surface protection in permafrost regions. Moreover, based on the achievements of experiments, the main points for embankment slope surface protection with geocell disposal measure applied in permafrost regions on plateau were put forward.

收稿日期: 2005 - 08 - 22; **修回日期:** 2005 - 10 - 31

基金项目: 铁道部科技开发研究计划项目(2001G001 - C - 04 - 02)

作者简介: 魏 静(1973 -), 女, 2004 年于天津大学岩土工程专业获博士学位, 现为北京交通大学博士后流动站和铁道第一勘察设计院博士后科研工作站在站博士后, 主要从事岩土与铁道工程方面的设计与研究工作。E-mail: zhengwei126@126.com

Key words: slope engineering; Qinghai—Tibet Railway; geocell; slope protection; deformation

1 引言

柔性护坡是边坡防护常用的一种形式。在高原冻土区修筑铁路路基后,致使多年冻土地基温度场及其稳定性发生变化,其结果通常是下伏多年冻土温度升高、多年冻土融化而引起路基变形^[1~8]。为适应多年冻土区高路堤的热稳定场和温度场的周期变化,对柔性防护并进行轻型支挡新结构的研究就显得十分有必要了。

土工格室+粗颗粒土护坡能充分发挥格室侧向约束和延展性优点,粗颗粒土对于防止聚冰以及保温都将产生积极作用^[9]。因此,需要对土工格室+粗颗粒土护坡这种柔性制成品、拼装铺设坡面防护开展试验研究,本试验主要目的是研究高原冻土地段土工格室+粗颗粒柔性结构加固、防护路堤边坡的工程效果和适用条件,研究该材料在多年冻土地区应用的合理性和可靠性,为后续多年冻土区新建铁路路基边坡防护设计和施工提供参考依据。

试验段位于沱沱河盆地冲洪积平原上,地形开阔,稍有起伏。地层出露主要为第四系全新统洪积地层、风积细砂及下第三系互层泥岩、砂岩。地表水主要为各冲沟季节性洪水,地下水主要为冻土层上水,其主要受大气降水及暖季冻结层融化水补给。地震烈度为7度。该段年平均地温 $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,工程地质为融区和多年冻土过渡带段。不良地质现象主要为半固定沙丘、沙地。特殊地质问题主要为冻土,无其他不良冻土现象^[10]。

2 土工格室护坡设计

本路堤试验段边坡防护设计中采用柔性保温防护设计,其施工工序为:材料选型、购置和试验—场地整备→土工格室铺设→整坡4个环节。

路基阳坡面采用规格为 $b\times h=400\text{ mm}\times 200\text{ mm}$ 的土工格室,阴坡面采用规格为 $b\times h=400\text{ mm}\times 150\text{ mm}$ 的土工格室。铺设时在路基表面平铺1.0 m宽的土工格室,在路基边坡面上满铺,边铺边用“U”型钢筋固定,固定钉的间距为1 m左右,铺设时不能损坏土工格室,以免影响其性能。土工格室铺设示意图见图1。土工格室铺设及竣工图片见图2。

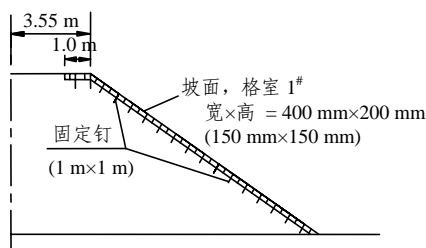


图1 路基边坡土工格室铺设示意图

Fig.1 General sketch of embankment slope with geocell



图2 土工格室铺设图片

Fig.2 Photos of geocell laying

3 土工格室室内试验

3.1 填料的物理力学性能指标

根据室内试验和现场测试,土工格室填料为圆砾土,属A类填料。通过直剪试验,确定其黏聚力 c 为0.0 kPa,内摩擦角 φ 为 $33^{\circ}\sim 37^{\circ}$,均值为 35° 。

将填料制成试样,在 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温环境中使土样充分冻结,再测试冻结后的冻胀量及受冻土样融化后融沉量。该填料平均冻胀率 $\eta\leq 1\%$,为不冻胀土。

3.2 土工格室各项性能指标测试

为了解土工格室在不同的外界条件下其物理力学性能的发挥程度及改变情况,以便为设计、施工提供相关参数,在此按照多种不同条件进行了土工格室的力学性能试验。

每种条件下的试件有拉伸试件、撕裂试件、剥离试件、焊缝单层对拉、焊缝双层斜拉和焊缝双层对拉等6种不同断面形式(见图3)。各种试验条件下的试验结果统计见表1。

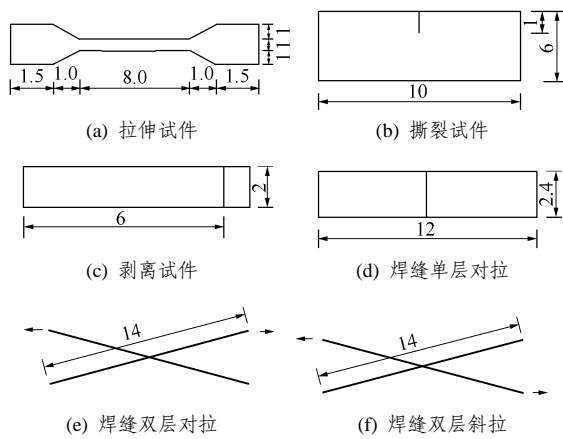


图3 试件断面形式(单位: cm)

Fig.3 Specimen section type(unit: cm)

试验结果表明, 测试值均高于出厂值, 按出厂值进行设计偏于安全; 紫外线辐射后材料强度有所

降低, 但远大于出厂值; 各种试验条件下剥离强度值变化较大, 受拉试件、撕裂试件以及3种焊缝试件的强度受试验条件影响很小; 高温条件下的材料强度比低温条件下降低的多, 说明土工格室这种材料更耐低温。

3.3 土工格室冻融和抗老化性能试验

通过常温性能指标试验、高、低温条件下的老化试验以及现场土工格室冻融循环周期下的力学性能试验分析土工格室的力学特性。表2为不同循环周期下土工格室性能随时间变化的测试结果。

表2表明: 随循环时间的增加, 土工格室片材的拉伸和剥离强度变化很小, 基本保持不变。冻融循环对焊缝、拉伸和剥离强度影响较小, 表明格室具有较好的抗老化性能。土工格室在温度循环作用后各种强度的变化见图4。

表1 试验结果

Table1 Test results

MPa

测试项目	受拉强度	撕裂强度	剥离强度(缝)	双层对拉焊缝强度/MPa	双层斜拉焊缝强度/MPa	单层对拉焊缝强度/MPa
出厂指标	23.00		10.10			
常温条件	38.60	25.80	22.00	34.20	32.40	31.00
紫外线	35.80	27.30	17.00	34.60	28.40	27.80
低温到高温到低温	29.00	27.30	11.80	28.80	25.00	27.00
高温 3 h(60 °C)	31.00	26.20	12.40	34.60	30.80	28.80
高温 9 h(60 °C)	25.00	31.00	12.40	28.80	26.20	30.80
高温 12 h(60 °C)	27.20	27.30	11.50	26.40	25.40	27.80
低温 3 h(-25 °C)	35.00	27.30	15.00	34.60	28.40	31.40
低温 9 h(-25 °C)	29.20	26.00	12.40	30.00	25.00	28.00
低温 12 h(-25 °C)	31.00	25.00	11.80	25.00	26.80	27.00

表2 土工格室性能随时间变化

Table 2 Geocell characteristics variation with time

测试项目	拉伸强度 /MPa	伸长率 /%	撕裂强度 /MPa	剥离强度 /MPa	双层对拉焊缝强度/MPa	双层斜拉焊缝强度/MPa	单层对拉焊缝强度/MPa
常温(20 °C)	38.6	229.3	25.8	22.0	34.2	32.4	31.0
现场经历温度循环、紫外线 25 d	35.8	218.3	27.3	17.0	34.6	28.4	27.8
经历低温、常温循环 34 d	60.7	10.2	37.8	43.3	83.5	81.8	50.3
路堤中埋置 1 a(2002 年)	51.7	173.3	26.7	19.0	42.0	39.0	-
路堤中埋置 2 a(阳坡)(2003 年)	53.6	310.9	25.0	21.2	29.4	28.2	-
路堤中埋置 2 a(阴坡)(2003 年)	51.6	28.6	29.6	25.2	35.0	31.4	-
路堤中埋置 3 a(阳坡)(2004 年)	52.3	253.3	27.2	22.3	33.6	35.1	-
路堤中埋置 3 a(阴坡)(2004 年)	55.6	31.2	30.1	24.1	32.3	33.4	-

注: 表中数据均为平均值。

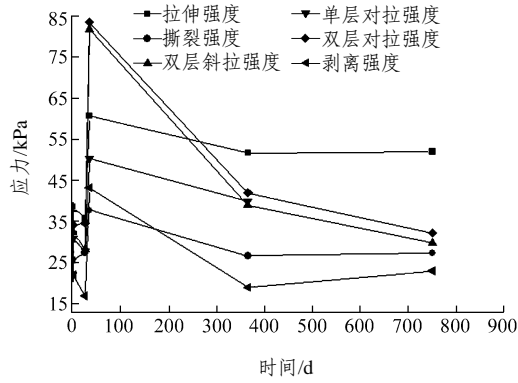


图4 土工格室性能随时间变化曲线

Fig.4 Geocell characteristics variation with time

4 土工格室护坡现场试验

4.1 土工格室变形测试

选取 DK1229+640 测试断面, 进行坡面变形和防护效果观测。其断面及测点布置见图 5。

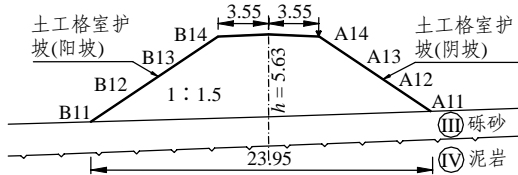


图5 DK1229+640 断面测点布置图(单位: m)

Fig.5 Measuring point layout in section DK1229+640(unit: m)

4.2 测试结果分析

测试断面沉降分析结果见图 6~10。

综合分析测试结果可得: (1) 阳坡沉降量普遍比阴坡大, 最大沉降发生在阳坡的路肩处, 达到 13.5 cm。(2) 从 2002 年 8 月末到 10 月下旬, 路基沉降

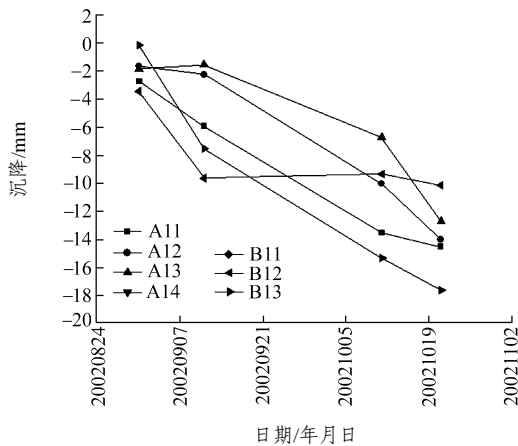


图6 DK1229+640 断面测点时间 - 沉降变形曲线(2002 年 8 月~10 月)

Fig.6 Deformation-time curves of testing point in section DK1229+640(from August to October, 2002)

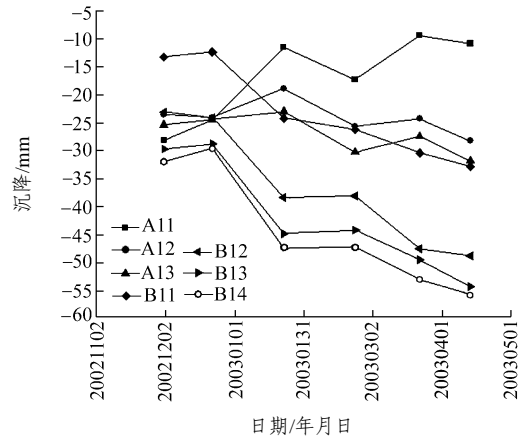


图7 DK1229+640 断面测点时间 - 沉降变形曲线(2002 年 12 月~2003 年 04 月)

Fig.7 Deformation-time curves of testing point in section DK1229+640(from December, 2002 to April, 2003)

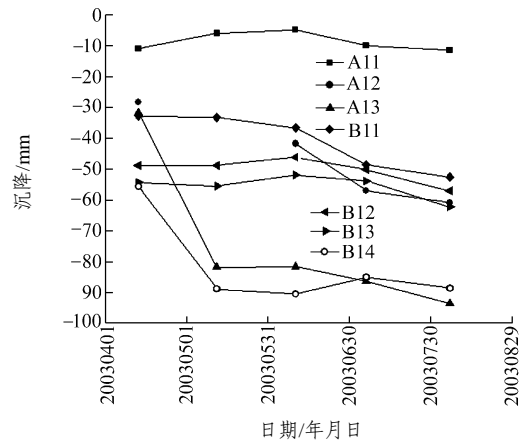


图8 DK1229+640 断面测点时间 - 沉降变形曲线(2003 年 4 月~8 月)

Fig.8 Deformation-time curves of testing point in section DK1229+640(from April to August, 2003)

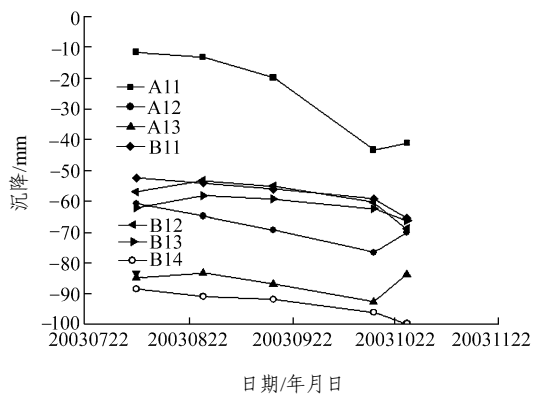


图9 DK1229+640 断面测点时间 - 沉降变形曲线(2003 年 8 月~10 月)

Fig.9 Deformation-time curves of testing point in section DK1229+640(from August to October, 2003)

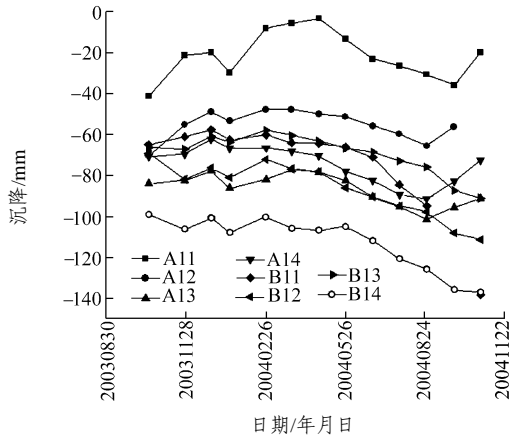


图 10 DK1129+640 断面测点时间沉降变形曲线(2003 年 10 月~2004 年 10 月)

Fig.10 Deformation-time curves of testing point in section DK1129+640(from October, 2003 to October, 2004)

总体上增加；从 2002 年 10 月中旬至 2003 年 3 月，沉降有减缓甚至抬升的趋势，尤其是阴坡坡脚抬升较为明显，而直到 6 月份才开始下沉。2003 年 10 月至 2004 年 10 月，除了阳坡路肩和阴坡路肩沉降继续增大外，路基其余部分沉降变化不大。(3) 阴坡最大沉降也发生在路肩处和路肩偏下部位，接近 9.0 cm。从阴、阳坡沉降数量可知，路基整体沉降相对较为均匀。(4) 从施工完成后 3 a 多路基的变形情况来看，路基变形在每年 10 月到次年 4 月比较稳定，只略有抬升趋势，属冻胀影响的结果，而每年 5 月到 10 月，路基有下沉趋势，其为冻土融化后路基及地基共同变形的结果。在施工后第 3 年(2004 年)暖季(5 月到 10 月)，路基整体沉降未完成，还有缓慢发展，沉降量平均达 1.5 cm。

5 结 语

通过 2001 年 11 月~2004 年 10 月近 3 a 的室内试验和近 1.5 a 的现场测试，得到初步结论：

(1) 高温条件下的材料强度比低温条件下降低多，负温循环下的格室材料强度比常温条件提高很多，这说明土工格室这种材料更耐低温。

(2) 经过 3 a 多的暖季和寒季交替(不完全是埋在土中的冻融循环)，片材的拉伸、撕裂强度和焊缝强度变化较小，甚至与常温时相比有增加趋势；剥离强度略有降低，这表明冻融循环对强度影响较小，格室具有较好的抗老化性能。

(3) 现场土工格室护坡沉降测试结果表明，阳坡沉降量普遍比阴坡大，最大沉降均发生在路肩处，阳坡较阴坡产生了更多的热量交换。

(4) 从施工完成后 3 a 多路基变形情况来看，路基变形在每年 10 月到次年 4 月比较稳定，只略有抬升趋势，属冻胀影响的结果；而每年 5 月到 10 月，路基有下沉趋势，其为冻土融化后路基及地基共同变形的结果。施工后第 3 年(2004 年)暖季(5 月到 10 月)，路基整体沉降还有缓慢发展。

通过试验分析表明：将土工格室这种材料(埋入土中)用于多年冻土地区路基坡面防护是可行的，但如何控制沉降的发展还须有其他控热结构措施的配合。

根据初步结论，工程处理措施应注意 2 点：

(1) 在格室外表面铺设一层厚度为 20 cm 的粗粒土，以防止土工格室受到过度高温、低温、紫外线的损伤。

(2) 铺设时，在路基表面平铺 1.0 m 宽的土工格室并与坡面格室相连，以保证寒季路肩不会因为冻胀开裂。

参考文献(References):

[1] 温 智, 盛 煜, 吴青柏. 青藏铁路路基浅地表热状态动态监测初步分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(增2): 2 664 - 2 668. (Wen Zhi, Sheng Yu, Wu Qingbai. Dynamic monitoring of thermal state for shallow ground in Qinghai—Tibet Railway embankment[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(Supp.2): 2 664 - 2 668. (in Chinese))

[2] 孙增奎, 王连俊, 白明洲, 等. 青藏铁路高温细粒多年冻土路基变形试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(24): 4 190 - 4 194. (Sun Zengkui, Wang Lianjun, Bai Mingzhou, et al. An experimental study on deformation of railway embankment in high-temperature and fine-grained permafrost regions along the Qinghai—Tibet Railway[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(24): 4 190 - 4 194. (in Chinese))

[3] 俞祈浩, 程国栋, 牛富俊. 自动温控通风路基应用效果分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(24): 4 221 - 4 228. (Yu Qihao, Cheng Guodong, Niu Fujun. Effect analysis of auto-temperature-controlled ventilation roadbed[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(24): 4 221 - 4 228. (in Chinese))

[4] 盛 煜, 马 巍, 温 智. 青藏铁路高填方路基对下伏多年冻土热状况的影响[J]. 铁道工程学报, 2003, (4): 22 - 25. (Sheng Yu, Ma

- Wei, Wen Zhi. Effect of high embankment on the thermal regime of underlying permafrost in Qinghai—Tibet Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2003, (4): 22 - 25.(in Chinese))
- [5] 马 巍, 程国栋, 吴青柏. 青藏铁路建设中动态设计思路及其应用研究[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(4): 537 - 540.(Ma Wei, Cheng Guodong, Wu Qingbai. Study and application of idea of dynamic design in Qinghai—Tibet Railway construction[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2004, 26(4): 537 - 540.(in Chinese))
- [6] 王引生. 土工格栅在青藏铁路多年冻土区路基工程中的应用[J]. 冰川冻土, 2003, 25(3): 355 - 358.(Wang Yinsheng. Application of geotechnical lattices to subgrade engineering in the permafrost regions of the Qinghai—Tibet Railway[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(3): 355 - 358.(in Chinese))
- [7] 余绍水, 潘卫东, 史聪慧, 等. 青藏铁路沿线主要次生不良冻土现象的调查和机制分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(6): 1 082 - 1 085.(Yu Shaoshui, Pan Weidong, Shi Conghui, et al. Investigation and mechanism analysis of the major secondary harmful frozen-soil phenomena along Qinghai—Tibet Railway[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(6): 1 082 - 1 085.(in Chinese))
- [8] 中国科学院兰州冰川冻土研究所. 冻土路基工程[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1988.(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences. Subgrade Engineering of Frozen Soil[M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1988.(in Chinese))
- [9] 裴建中, 窦明健, 胡长顺, 等. 土工合成材料在多年冻土地区路基病害处治中的应用技术研究[J]. 冰川冻土, 2002, 21(6): 785 - 789.(Pei Jianzhong, Dou Mingjian, Hu Changshun, et al. Application of geosynthetics to the treatments of subgrade troubles in permafrost regions[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 21(6): 785 - 789.(in Chinese))
- [10] 铁道第一勘察设计院. 青藏铁路试验工程科研项目阶段成果报告[R]. 兰州: 铁道第一勘察设计院, 2004.(The First Railway Survey and Design Institute. Research report of Qinghai—Tibet Railway's experimental project[R]. Lanzhou: The First Survey and Design Institute of China Railway, 2004.(in Chinese))