

文章编号: 1674—8247(2018)01—0019—05

# 受地下水影响的路堑边坡冻融滑塌处理方案研究

杨西锋

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安 710043)

**摘要:**文章结合哈尔滨—大连高速铁路某处受地下水影响的路堑边坡冻融滑塌整治案例,分析了边坡发生冻融坍塌的原因,详细介绍了各种可采取的边坡冻融坍塌处理方案,并从技术、经济等多方面进行了方案对比分析,最终提出采取路堑边坡换填法的处理方案。该方案施工工艺简单,施工质量易控制,能保证高寒地区受地下水影响的路堑边坡的稳定性问题。

**关键词:**高寒地区;换填法;地下水;路堑边坡;冻融滑塌

中图分类号:U453.5 文献标志码:A

## Study on Freeze-thaw Collapse Treatment Scheme of Cutting Slope Affected by Groundwater

YANG Xifeng

(China Railway First Survey & Design Institute Group Co., Ltd., Xi'an 710043, China)

**Abstract:** Based on the treatment case of freeze-thaw cutting slope collapse affected by groundwater on Haerbin-Dalian high-speed railway, this paper has analyzed the causes of freeze-thaw collapse, introduced a variety of treatment schemes for slope freeze-thaw collapse treatment and compared these schemes from the aspects of technology and economy, finally proposed cutting slope replacement method for collapse treatment. This scheme is simple in construction process and easy to be controlled in construction quality, which can guarantee the stability of the cutting slope affected by groundwater in cold regions.

**Key words:** cold regions; replacement method; groundwater; cutting slope; freeze-thaw collapse

19

高寒条件下深季节冻土区,受地下水影响的路堑边坡,土体在饱水情况下,经历年复一年冻融循环的侵害,边坡土体强度降低,在春融季,极易发生溜坍、坍塌等失稳现象,严重威胁路基安全<sup>[1]</sup>。冻融滑塌产生的机理为:经过冬季低温冻结吸附作用,边坡冻结层土体含水量显著增加,同时产生冻胀。春季气温回升,冻结土体由外层向内层逐渐融化,此时若融化水不能及时疏排,水分将在冻融分界处汇集,形成更加脆弱的滑动面,使边坡的稳定性急剧下降,在重力作用下,高含水量的边坡融化土体沿滑动面发生滑塌。同时,反复冻融循环对边坡土体强度的破坏也是产生滑塌的另外一

个重要因素。受地下水影响下的路堑边坡,这种情况往往更加严重<sup>[2]</sup>。

本文以哈大高速铁路长春西站附近一处受地下水影响的路堑边坡冻融滑塌整治案例为研究对象,提出以换填法成功解决路堑边坡冻融滑塌的整治方案,以供大家参考。

## 1 哈大高速铁路概述

哈大高速铁路是我国在东北高寒深季节冻土区自行设计、建造的第一条高速铁路,其中沈阳—哈尔滨段线路全长 465.446 km,路基长 102.918 km。该段线路

收稿日期:2017-11-20

作者简介:杨西锋(1976-),男,教授级高级工程师。

引文格式:杨西锋. 受地下水影响的路堑边坡冻融滑塌处理方案研究[J]. 高速铁路技术,2018,9(1):19-23.

YANG Xifeng. Study on Freeze-thaw Collapse Treatment Scheme of Cutting Slope Affected by Groundwater [J]. High Speed Railway Technology, 2018,9(1):19-23.

地处中温带亚湿润季风气候区,其气候特点是:四季分明,春季干旱多大风,夏季湿润多降雨,秋季凉爽多早霜,冬季寒冷而漫长。年平均气温  $4.4 \sim 8.4^{\circ}\text{C}$ , 极端最高温度  $39.8^{\circ}\text{C}$ , 极端最低温度  $-39.9^{\circ}\text{C}$ , 年平均降雨量  $481.8 \sim 682.7 \text{ mm}$ , 年平均蒸发量  $1\,226.0 \sim 1\,781.5 \text{ mm}$ , 平均相对湿度  $62\% \sim 65\%$ , 最大积雪厚度  $17 \sim 30 \text{ cm}$ 。

### 1.1 工程概况

工程起讫里程: D3K 689 + 590 ~ D3K 692 + 650, 路基长 3 060 m, 为四线并行地段, 路堑边坡高度 5 ~ 12 m。工程所处位置地貌属波状冲积平原区, 地势较平坦, 地面标高 219.7 ~ 233.9 m, 相对高差 14.2 m。工程涉及地层主要为:

(1) 人工填筑粉质黏土: 灰黄、黄褐色, 以黏质黄土为主, 该层厚 0 ~ 1.5 m。II 级普通土。土层力学性质不均。

(2) 黏质黄土: 灰褐 ~ 黄褐色, 该层厚 20 ~ 26 m。土质较均匀, 以 5 m 以上软塑为主, 夹有  $P_s < 800 \text{ kPa}$  土层, 5 m 以下软塑 ~ 硬塑, II 级普通土。0 ~ 5 m 的  $\sigma_0 = 100 \text{ kPa}$ , 5 m 以上  $\sigma_0 = 150 \text{ kPa}$ 。具中压缩性, 局部具高压缩性。

(3) 泥岩夹砂岩: 以泥岩为主, 夹有薄层砂岩。泥岩紫红色, 以黏土矿物为主, 含少量砂砾, 泥质结构, 成岩较差, 风化产物为土状; 砂岩以灰色、紫红色为主, 泥质胶结, 成岩较差, 风化产物为砂状、碎块状。强风化层厚 8.70 ~ 21 m, III 级硬土,  $\sigma_0 = 300 \text{ kPa}$ ; 弱风化, IV 级软石,  $\sigma_0 = 400 \text{ kPa}$ 。泥岩具弱膨胀性。

地下水位埋深 2.5 ~ 6.0 m, 主要为第四系孔隙潜水, 水质良好, 对圬工无侵蚀性。地震动峰值加速度 0.10g, 土壤最大冻结深度 169 cm。

### 1.2 路堑边坡冻融滑塌情况

该段路堑边坡开挖于 2009 年 8 ~ 11 月, 期间边坡基本保持稳定。至次年 5 月, 路堑边坡未加防护地暴露于外部环境中, 度过了一个完整的冻融循环。2010 年春季, 在经历几次强降雨后, 该段路堑边坡发生了大面积滑塌现象, 如图 1 所示。



图1 路堑边坡冻融滑塌

分析滑塌产生的原因<sup>[3-4]</sup>, 主要有:

(1) 边坡成型后即进入冬季, 边坡土体快速冻结, 受丰富的地下水补给, 冻结土体含水量增大, 同时发生冻胀现象。春融后冻融分界面形成滑动面, 受外部水分补给(强降雨)后稳定性急剧下降, 沿滑动面发生滑塌。

(2) 坡面长时间未加防护暴露, 冻融造成土体膨胀, 导致土体强度降低。

(3) 临时排水不畅。积水长时间浸泡边坡坡脚土体, 造成这一重点部位土体强度不断降低。

## 2 边坡冻融滑塌处理方案比选

### 2.1 处理方案

综合考虑路基工程设置、线路条件、气候环境、地理位置及水文地质环境等因素, 共有 4 种有价值的处理方案可供比选。

#### 2.1.1 放缓边坡方案(方案 I)

##### (1) 方案设计思路

通过外扩路堑及放缓路堑边坡坡率的方法, 达到稳定边坡、清除已坍塌边坡土体的目的<sup>[5]</sup>。

##### (2) 具体做法

渗沟底向外侧留 1.0 m 宽作业平台, 向上以 1:1.75 的坡率开挖到侧沟平台标高; 留 2.0 m 宽平台, 再向上以 1:1.75 的坡率开挖到路堑堑顶。实际施工中应自上而下开挖。

待地下渗沟施工完毕后, 采用渗水性 A 组填料回填渗沟基坑。边坡亦采用渗水性 A 组填料回填至原设计边坡线。回填填料需分层填筑、碾压压实, 边坡外边缘铺设土工格栅, 边坡坡面设拱形骨架或空心砖防护, 骨架或空心砖内种植爬地柏, 方案标准横断面如图 2 所示。

#### 2.1.2 挡水帷幕加适当放缓边坡方案(方案 II)

##### (1) 方案设计思路

通过在两侧堑顶外设置挡水帷幕, 阻挡地下水进入路堑范围, 同时适当外扩路堑、放缓边坡, 以达到后续施工中和运营中路堑边坡及其他设施的安全稳固。

##### (2) 主体设计

路堑两侧设计挡水帷幕, 挡水帷幕采用高压旋喷桩套打 3 排, 桩径 0.6 m。帷幕施工完毕后, 渗沟底向外侧留 2.0 m 宽作业平台, 向上以 1:1 的坡率开挖到侧沟平台标高。开挖完成后, 立即采用 1.0 m 厚石笼反压坡脚防护。在侧沟平台高程处留 2.0 m 宽平台, 再向上以 1:1.5 的坡率开挖至路堑堑顶。实际施工中应自上而下开挖。

待地下渗沟施工完毕后, 采用渗水性 A 组填料回

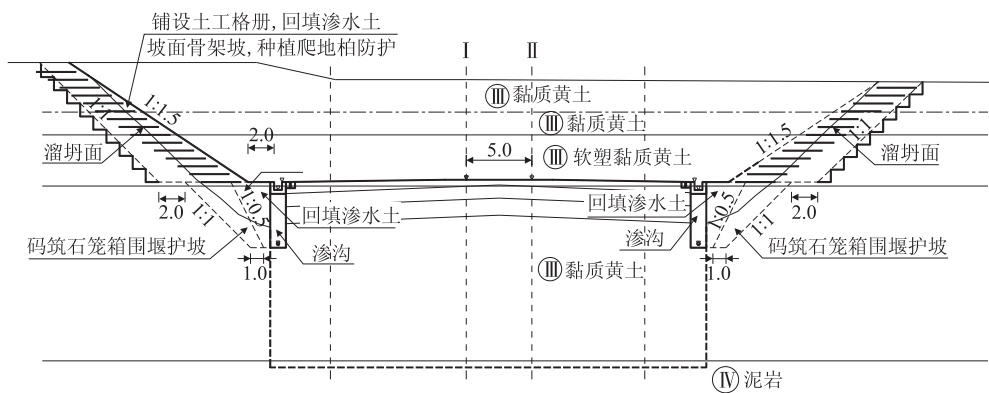


图 2 放缓边坡方案标准横断面图(m)

填渗沟基坑。边坡亦采用渗水性 A 组填料回填至原设计边坡线。回填填料需分层填筑、碾压压实,边坡外边缘铺设土工格栅,边坡坡面设拱形骨架或空心砖防护,骨架或空心砖内种植爬地柏,方案标准横断面如图 3 所示。

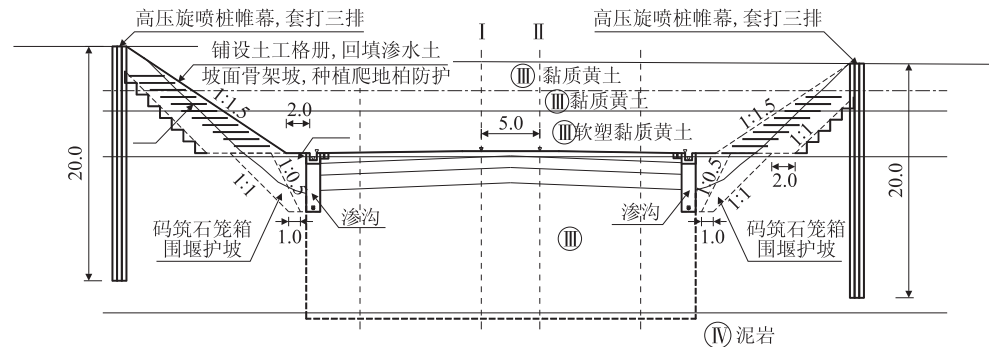


图 3 挡水帷幕方案标准横断面图(m)

2.1.3 U 型结构方案(方案Ⅲ)

- (1) 方案设计思路
- 采用 U 型结构彻底阻挡地下水渗流至路堑内,同时解决路堑边坡稳定问题<sup>[6]</sup>。
- (2) 工程主体设计
- D3K 689 + 781.00 ~ D3K 692 + 495.00 段设船坞式挡土墙,结构形式如图 4 所示。

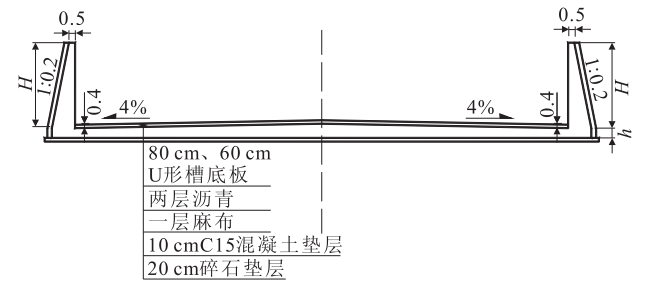


图 4 U 型结构方案标准横断面图(m)

U 型结构设于路基基床表层 0.4 m 下,板顶设 4% 的人字坡,结构材料采用 C40 钢筋混凝土,沿线路方向每隔 15 m 设伸缩缝 1 道,缝宽 0.03 m,缝内埋设桥 DW-5D 型橡胶止水带及填塞沥青木丝板。止水

带埋设于距路面 0.35 m 及墙顶面 0.25 m 处,靠路面及边墙内侧 0.06 m 深度内用沥青胶粘剂填塞或密封胶封闭。U 型结构底板下由上向下依次铺设 0.1 m 厚 C15 混凝土层和 0.2 m 厚碎石层。

2.1.4 托梁式挡土墙方案(方案Ⅳ)

- (1) 方案设计思路
- 在路堑坡脚处设置钻孔桩基础托梁式挡土墙,同时辅以地下渗沟排除地下水,解决路堑边坡稳定和排水问题<sup>[7]</sup>。

(2) 主体设计

D3K 689 + 781.00 ~ D3K 692 + 495.00 段路堑两侧设桩基托梁挡土墙,结构形式如图 5 所示。挡土墙采用衡重式挡土墙,墙身材料采用 C30 片石混凝土,墙背铺设土工布,墙背后 3.0 m 范围内填筑渗水性 A 组填料,并加设宽 3.0 m 土工格栅,格栅竖向间距 0.8 m。托梁采用 C40 钢筋混凝土,宽 5.0 m,高 1.5 m,长 12.0 m。桩基采用 C35 钢筋混凝土,直径  $\phi=1.25$  m,纵向间距 4.0 m,横向间距 2.75 m,桩底伸入基岩内。

开挖地下渗沟前,先在渗沟两侧打入 6.0 m 长的

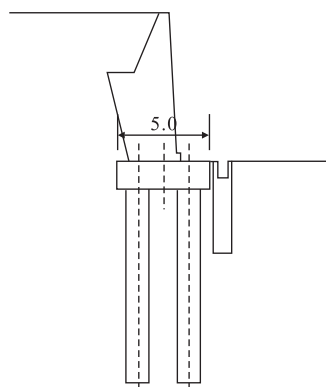


图5 托梁式挡土墙方案标准横断面图(m)

工字型钢,纵向间距0.5 m,工字型钢后插入钢板,开挖到深度1.0 m后,在横向两工字型钢间加设横撑,开挖到一定深度,根据需要再加设横撑。在开挖困难地段,于渗沟两侧增设2~3排工字型钢,工字型钢和钢板考虑重复使用。

## 2.2 处理方案经济技术比选

针对上述4个方案,综合各种内外部因素,从以下4个方面进行比选分析。

### 2.2.1 工程安全可靠分析

以上4个方案从工程角度分析,均为可行方案。各个方案的工程措施均安全、可靠。

### 2.2.2 外部制约条件分析

#### (1) 征地拆迁

方案Ⅰ需新增临时用地55.3亩,同时为保证施工及堑顶外房屋安全,需增加拆迁19 154 m<sup>2</sup>,共123处,临时征地和拆迁为方案实施的最关键控制因素。

方案Ⅱ需新增临时用地13.8亩,为保证施工及堑顶外房屋安全,需增加拆迁14 365 m<sup>2</sup>,共92处,临时征地和拆迁同方案Ⅰ,但数量较小。

方案Ⅲ和方案Ⅳ均不引起新增用地和拆迁。

#### (2) 环境保护和水土保持

方案Ⅰ和方案Ⅱ需开挖大量土方,且需回填土方,增加取、弃土临时用地,对环境保护和水土保持有一定影响。大面积开挖土方对施工场地周围环境影响较大。

方案Ⅲ和方案Ⅳ减少用地,可利用部分挖除土方回填,对周围环境及水土保持影响有利。

#### (3) 施工期间防排水措施的永临结合

4个方案在施工期间都需进行临时排水,施工期间采用现场抽水或路堑外井点降水。

### 2.2.3 工期分析

方案Ⅰ和方案Ⅱ主体工程可多工作面施工,有利

于施工组织和施工进度的推进。但征地拆迁困难,可控性较差。

方案Ⅲ中U型结构的主要工作量为绑扎钢筋和浇筑混凝土,但可大面积铺开施工,施工进度可控性强。

方案Ⅳ中桩基托梁挡土墙的主要工作量为钻孔桩桩基和混凝土浇筑,桩基2 714根,按理想状态,每台机械每天完成4根,一个月内完成,需机组23台,如采用冲击钻,钻机数量需更多,施工周期相对较长。

### 2.2.4 方案经济分析

对主要工程数量的计算统计结果表明:方案Ⅰ新增投资约2 500万元(不含征地拆迁费用);方案Ⅱ新增投资约6 500万元(不含征地拆迁费用);方案Ⅲ新增投资约8 500万元;方案Ⅳ新增投资约10 000万元。

### 2.2.5 结论

综合分析工程安全可靠、外部制约条件、施工难度、施工周期及经济性等因素,方案Ⅰ为较理想方案,但还可进一步优化。

## 3 路堑边坡换填法处理边坡冻融滑塌

对方案Ⅰ进一步优化、细化,结合排除地下水措施,最终确定采用边坡换填法处理该段路堑边坡冻融滑塌问题,详细做法为:

(1)沿两侧路堑坡脚各向外3.0 m清除坍塌土体,坍塌深度较大地段根据坍塌深度确定清除厚度。清方临时边坡坡率为1:1.5。

(2)两侧临时边坡采用每隔7.0 m开槽码砌石笼防护。石笼底部与渗沟连接处填筑干砌片石,并用砂砾石填满缝隙碾压密实<sup>[8]</sup>。

(3)石笼等临时防护施工完毕后,采用渗水性A组填料回填。回填土边坡坡率1:1.5,并于堑顶地表设1.0 m厚二八灰土封闭层,封闭层宽度4.0 m,堑顶存在裂缝的地段,可适当加宽至裂缝外。填筑后的边坡采用空心砖或骨架护坡防护,空心砖或骨架护坡内培植0.2 m厚种植土,种植紫穗槐。

(4)清除坍塌土体前,为保证后续施工安全,堑顶外临时打入钢板桩以增加安全防护。

(5)施工顺序:钢板桩防护→清除边坡坍塌土体→施工边坡内石笼→施工预加固工字型钢(地下渗沟临时防护)→开挖渗沟基坑→施工渗沟→用渗水土回填夯实渗沟基坑→填筑边坡→边坡防护施工。

边坡换填法正视图和横断面如图6、图7所示。采取上述措施后,经过5年实际检验,该段路堑边坡稳

固、可靠,现状如图8所示。

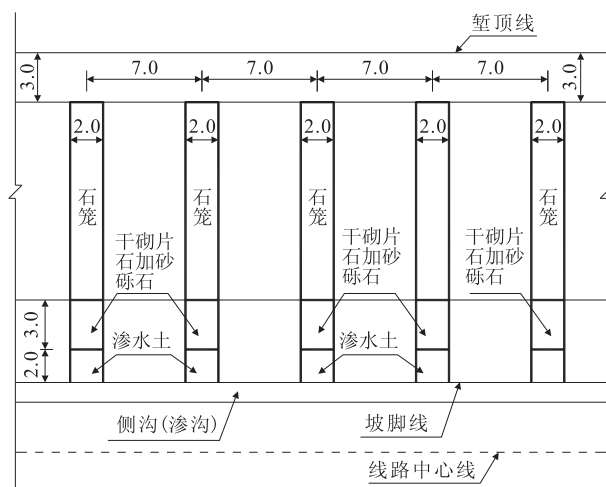


图6 边坡换填法正视图(m)

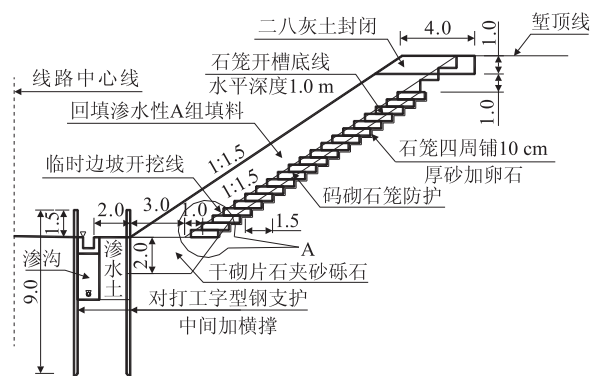


图7 边坡换填法横断面图(m)



图8 处理后路堑边坡现状图

## 4 结束语

在该项设计中,换填土体除自身不发生冻胀融塌外,还形成重力铺面,加强了对边坡原状土体的保护。同时可作为保温层,对排除地下水设备(间隔式条状石笼结构)进行保温,使其在冬季仍能正常发挥作用。因此,该项设计消除了冻胀敏感性的土和水这两项冻融滑塌发生的最基本条件,能够保证高寒地区受地下

水影响的路堑边坡的稳定性。

相比于支挡或U型结构等刚性结构防护形式,路堑边坡换填法属于相对柔性的结构,更适用于高寒地区受地下水影响路堑边坡的防护。不仅能保证冻胀环境下边坡稳定,还能适应边坡土体的微小变形,使路堑边坡达到一种动、静平衡的稳定状态,对边坡稳定性更加有利。同时该设计方法施工工艺简单,施工质量易控制,投资成本低,值得在类似工程中推广应用。

## 参考文献:

- [1] 方丽莉,齐吉琳,马巍. 冻融作用对土结构性的影响及其导致的强度变化[J]. 冰川冻土,2012,34(2):435-440.  
FANG Lili, QI Jilin, MA Wei. Effect of Freeze-Thaw Action on Soil Structure and Intensity Change of Soil Structure [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, 34(2): 435-440.
- [2] 李刚,周向辉. 路堑高边坡稳定性分析方法和工程实践[J]. 公路交通技术,2006,23(1):8-12.  
LI Gang, ZHOU Xianghui. Road Cut High Slope Stability Study Method & Engineering Practice [J]. Technology of Highway and Transport, 2006, 23(1): 8-12.
- [3] 付月平. 地下水发育深路堑的勘察与设计[J]. 铁道勘察,2010,36(4):51-53.  
FU Yueping. Survey and Design of Deep Cuttings with Developing Underground Water [J]. Railway Investigation and Surveying, 2010, 36(4): 51-53.
- [4] 陈波,高伟,徐明. 土质路堑边坡冻融滑塌机理及稳定性分析[J]. 黑龙江交通科技,2008,31(2):65-66.  
CHEN Bo, GAO Wei, XU Ming. Mechanism and Stability Analysis of Freeze-thaw Collapse of Soil Cut Slope [J]. Communications Science and Technology Heilongjiang, 2008, 31(2): 65-66.
- [5] 马慧敏,何向东,张帅. 渠道膨胀土边坡换填处理土稳定计算分析[J]. 人民黄河,2013,35(2):98-99.  
MA Huimin, HE Xiangdong, ZHANG Shuai. Stability Calculation and Analysis on Replacement Soil of Channel Expansive Soil Slope [J]. Yellow River, 2013, 35(2): 98-99.
- [6] 丁兆锋,吴沛沛. U型槽结构设计与分析[J]. 铁道工程学报,2009,26(4):13-16.  
DING Zhao Feng, WU Pei Pei. Design and Analysis of U-shape Groove Structure [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009, 26(4): 13-16.
- [7] 杨志铭,湛海涛,陈建华. 桩基托梁挡土墙在公路优化设计中的应用[J]. 福建建材,2011,30(2):50.  
YANG Zhiming, ZHAN Haitao, CHEN Jianhua. Application of new type retaining wall foundation structure in highway optimization design [J]. Fujian Building Materials, 2011, 30(2): 50.
- [8] 姜喆,申发义. 石笼边坡防护在高速公路中的应用[J]. 低温建筑技术,2013,35(7):139-140.  
JIANG Zhe, SHEN Fayi. Application of Stone Cage Slope Protection in Expressway [J]. Low Temperature Architecture Technology, 2013, 35(7): 139-140.

(编辑:苏玲梅 张红英)