



# 江河采砂对航道条件的影响及对策

牛万芬, 陈明栋, 黄海津

(重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074)

**摘要:** 江河中无序的采砂活动对航道条件造成了不同程度的破坏, 如何在采砂活动中规范采砂方式、保护航道条件, 减小采砂对航道的影响至关重要。以曼厅大沙坝某采区为例, 采用平均水深有限元水流运动二维数学模型, 对原采砂方案进行优化研究。通过计算和比较, 提出采前对原边滩进行加固保护、控制采挖高程以及调整采区平面尺度等优化工程措施。

**关键词:** 江河采砂; 航道条件; 曼厅大沙坝; 对策措施

中图分类号: U 61; TV 147

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)08-0106-06

## Effects of river sand excavation on channel condition and countermeasures

NIU Wan-fen, CHEN Ming-dong, HUANG Hai-jin

(School of River & Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

**Abstract:** Disorderly sand excavation activities in the river caused damages to the channel condition. It is essential to reduce the effects of sand excavation on the channel condition by regulating the way of sand excavation and protecting channel condition. Focusing on a sand excavation area of Manting Dashaba, and using average depth of two-dimensional finite element mathematical model, we optimize the original excavation scheme. In addition, some channel protection measures such as building beach protection engineering before excavation, controlling excavation elevation and adjusting excavation area are given.

**Keywords:** river sand excavation; channel condition; Manting Dashaba; countermeasure

### 1 无序采砂对航道条件的影响

江河中的砂石是理想的建筑材料。近年来, 由于市场需求旺盛, 各流域均出现了大规模采集活动。通常, 在不破坏河道输沙平衡的前提下, 科学有序地对河床表层的河砂进行适度开采, 不但不会改变原航道条件, 还能增加航道水深, 改善航道水流条件。但实际上, 有相当部分的采砂活动是未经采砂许可的偷采和强采; 有的虽得到采砂许可, 但为了减少采砂投资和施工方便, 并未按照要求的方式开采。上述两类无序采砂活动, 对航道条件造成了不同程度的破坏。无序采砂对航道条件的影响是多方面的: 陈绍新等<sup>[1]</sup>认为无序采砂是引起东江下游及三角洲地区河道水文特

性变化的主要因素; 马中和<sup>[2]</sup>认为无序采砂在一定程度上改变了河床和水流的走向, 破坏了航槽的稳定性, 使河床淤变, 航道条件恶化; 贾良文等<sup>[3]</sup>认为大量无序采砂是引起东江下游及三角洲河段低水位大幅下降的主要原因。

无序采砂活动给通航河流带来的主要问题有: 1) 在边滩上挖出多个独立的砂坑(图1), 临近砂坑的水流流速及流态随着砂坑边界发生改变, 严重的会使边滩沙埂跨塌穿浩、边滩分流、主槽萎缩、边滩发育、最终诱发该河段河势改变和航槽改道; 2) 河滩上高大的临时料场(图2), 临近砂堆的水流流速及流态随着砂堆边界发生改变, 不利于船舶航行安全; 3) 采砂船占据主航道导致碍

航事件时有发生(图3),据统计,自1996年5月至2000年,长江安徽段因采砂碍航导致发生一般以上水上交通事故近百件,沉船26艘,死亡23人,直接经济损失4000万元<sup>[4]</sup>;4) 切除河岸和边滩的大方量开挖(图4),有的大方量开挖改变了河道的岸线,使得枯水期主流分散或改变,不仅造成主航槽水深不足,还直接诱发枯水河床的演变。



图1 边滩布满砂坑



图2 河滩上堆满临时砂料



图3 采砂船占据主航道



图4 大方量开挖河岸

可见,规范采砂行为、科学制定开采方案,从而减小采砂对航道条件的影响,已经非常迫切和必要。本次研究的采砂点位于澜沧江曼厅大沙坝,在获批正式开采前曾经历过多年的偷采,航道条件已经发生较大变化。研究拟在通过对原方案采砂前后工程河段的河道演变、航道及通航水流条件变化进行分析预测,找出保护航道条件的对策措施,为类似采砂工程的实施借鉴参考。

## 2 曼厅大沙坝河道概况

曼厅大沙坝河道位于云南省景洪市澜沧江下游,河道平面上由西至东呈3个连续藕节状的大肚子,分别为无名洲、曼厅洲和曼龙洲,下游出口处紧靠“Z”形的峡谷河段。曼厅大沙坝河段是典型的卡口型冲积河道,整个河道长约9 km,河道最宽处达2.5 km。无名洲洲滩的平面形态及岸线多年来较为稳定。中部的曼厅洲是该水道最不稳定的沙洲,河道中枯水期呈游荡性变化。尾部的曼龙洲航槽随来水来沙条件摆动、航槽不稳定。曼厅大沙坝河道见图5。

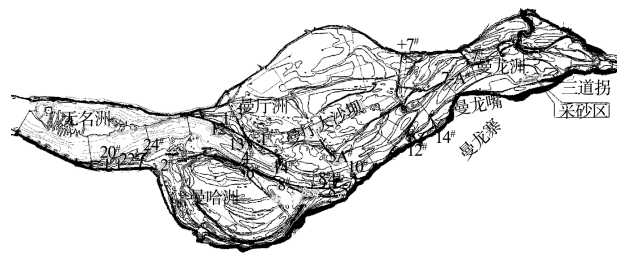


图5 曼厅大沙坝河道

曼厅大沙坝河道由于水流条件复杂多变、滩槽散乱、航道尺度不能满足船舶航行要求,曾经是景洪港出口航道上的一条碍航十分严重的大型沙卵石浅滩河段。在20世纪经历了航道建设者数十年的丁顺坝群整治后,航道尺度及水流条件均达到国家V级航道标准,通航条件良好。本研究的采砂点位于曼龙洲尾部,先期的偷采几乎将右岸滩地切除,原枯水岸线及边滩已部分穿凿。据采前对航道条件的分析,该处继续采砂将可能导致边滩垮塌,江水分流。江水向采区分流后,枯水期主航槽水深将无法维持,从而导致船舶无法

通行导致断航。更为严重的是，边滩垮塌后曼厅大沙坝滩尾的河床将发生剧烈演变，不仅将造成曼厅大沙坝复杂滩群多年的整治成果毁于一旦，而且右岸的曼龙寨居民房舍和农田也将遭受洪水威胁。

### 3 采砂方案

本次拟定的采砂点位于曼龙洲下游(图5)，是为了规范采砂活动划定的采砂区之一。采区沿河道长219.5 m，垂直河道宽85 m，开采面积1.9万m<sup>2</sup>，开采高程512~522 m(56黄海高程)。采区资源量约为9.12万m<sup>3</sup>，拟开采5.02万m<sup>3</sup>，主要采砂设备为链斗式挖石船。采区所在地曾发生过多处偷采，已经将河滩高程从原来的516.2 m降低至514.8 m，且区域内形成多处大坑，多处砂坑的高程已经低于主航槽高程。最为严重的是，在低水位期可拦阻江水的原边滩沙埂已经被局部冲开，部分江水泄往砂坑，分流趋势明显。

### 4 采砂对航道条件的影响分析

#### 4.1 平面二维水流数学模型

为了预测采砂工程对该河段航道条件的影响，采用平均水深有限元水流运动二维数学模型预测采砂前后工程河段的水流条件及变化趋势。根据采区所处河段位置以及对采砂影响较大的中枯水范围，并考虑计算需要的进出口长度，模型选取的计算区域上游始于勐罕港，下游至曼短(麻疯寨)，全长约9 km。模型采用非结构化网格进行剖分，共40 330个结点，80 087个单元。模型建立的正确性通过对工程河段的实测水位、水流流速进行验证。

1) 水位验证：水位验证采用了2010年4月22日实测水位与计算水位进行比较。如图6所示，实测水位与计算水位基本吻合，一般偏差在±0.08 m左右，个别水尺最大相差不超过±0.10 m，趋势基本一致。

2) 流速验证：流速验证采用了2010年4月7日—2010年4月9日浮标实测值与计算值进行比

较。图7是4个典型断面流速比较，可见最大误差不超过0.15 m/s，流速大小基本相同。

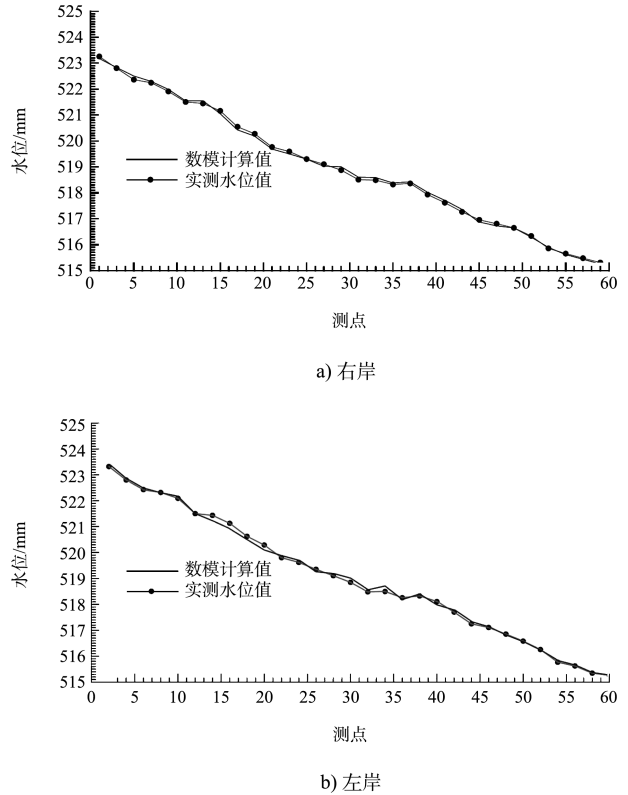
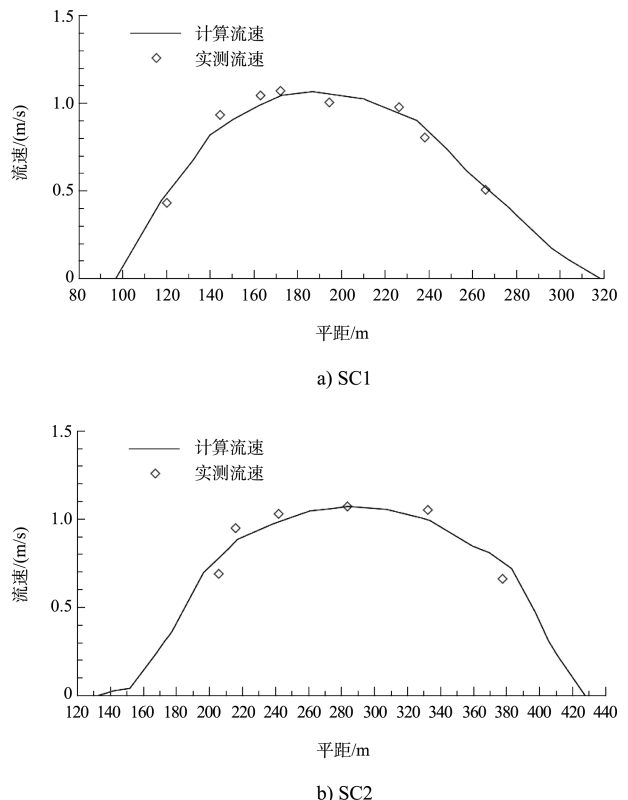


图6 水位验证



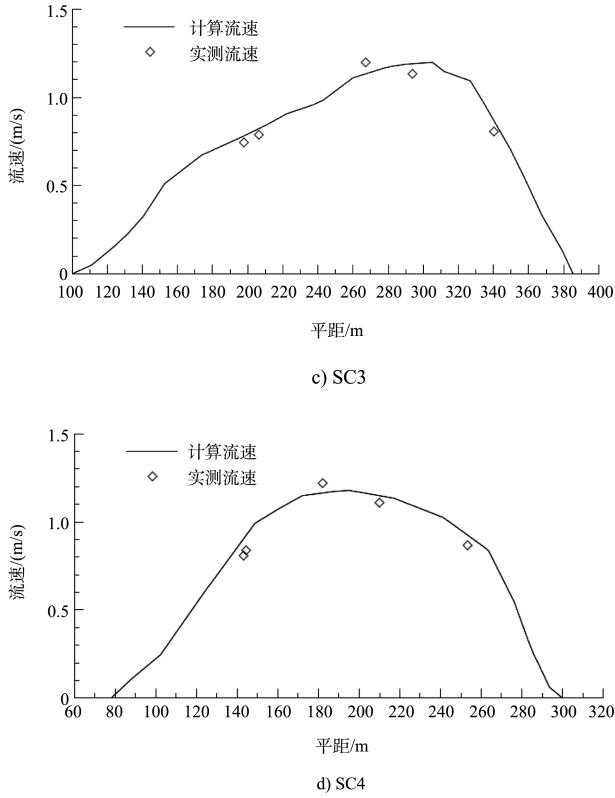


图 7 流速验证

验证结果表明: 工程河段水位、流速的计算值与实测值吻合较好, 说明平面二维水流数学模型的建立和数值计算方法合理, 能正确模拟实际河道的水流情况, 可进行下一步工程前后河道流场的计算。

模型计算模拟了采区河床高程 515~518 m 相应低水位范围内 504~2 615 m<sup>3</sup>/s 间的 8 级流量, 采砂方案分为 0(最高开采限高 522 m)、1、2、2.5、3、3.5 和 4 m(最低开采限高 512 m) 共 7 种开挖方案, 计算了 56 个组次。计算结果如表 1 所示。

表 1 原方案采砂后水流条件变化

流量级/ (m <sup>3</sup> /s)	水位 变化/m	比降 变化/‰	近岸流速 变化/(m/s)	近岸流向 变化/(°)	主流带流速 变化/(m/s)
504	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
798	-0.01	-0.07	0.01	0.00	-0.01
1 040	-0.03	0.07	-0.04	0.03	0.08
1 320	-0.01	0.14	-0.04	0.15	0.03
1 610	-0.01	0.07	-0.04	0.05	-0.05
1 920	-0.01	0.07	-0.05	0.05	-0.05
2 250	-0.01	0.07	-0.03	3.08	-0.04
2 615	0.00	0.07	-0.01	2.38	-0.04

#### 4.2 采砂对通航水流条件的影响

分析以上计算结果可知, 影响较大的流量级是与采区高程接近的 1 040~1 320 m<sup>3</sup>/s 流量级, 其他流量级对各种开挖方案影响不大。采砂结束后, 水位降低 1~3 cm, 最大比降增加 0.07‰~0.14‰。采砂后距右岸岸边 30 m 处流速变化范围在 0.01~0.05 m/s, 岸边流向角改变不超过 5°。由于采砂增加了过水面积, 主流带流速略有减小, 减小值约 0~0.08 m/s。可见, 采砂对通航水流条件影响不大。

#### 4.3 采砂对河势及河床演变的影响

通常, 影响河床稳定的主要因素是上游来水来沙条件和河道边滩及主槽的河床组成。原曼厅大沙坝滩整治时, 河道主流顺 8# 坝尾扫湾而下, 受 12#~14# 坝以及曼龙嘴阻碍, 将主流挑至左岸。也就是在无序采砂活动以前, 该段河道中、枯水期主流位于左岸一侧。后期的无序采砂活动将曼厅一侧河岸挖低, 曼龙凸嘴也被切除部分, 导致河道主流改变, 即原偏向 8#~12# 坝一侧的主流改向对岸分流。特别是曼龙嘴下游边滩挖穿后, 部分主流已经倒向右岸。

本次采区正位于曼龙嘴右岸边滩, 若边滩不加以保护继续进行开采, 随着砂石的层层开挖, 采坑高程将逐渐低于主航槽高程, 原枯水边滩也将因失稳而垮塌, 将导致江水进一步向右岸分流。主流分散的直接影响是枯水期主航槽水深不足, 进而水流冲刷边滩使主深泓演变, 若继续发展将导致右岸冲深, 主航槽改道, 最终引发河势及河床演变。

#### 4.4 采砂对航道条件的影响

采砂河段目前尚未配标, 按照满足 2.0 m 水深边界, 再结合河势和整治建筑物情况可确定航道边界。经分析, 当流量  $Q < 1 920$  m<sup>3</sup>/s 时, 采区位于航道边界之外, 对航道布置尚未构成影响; 当流量  $Q > 1 920$  m<sup>3</sup>/s 时, 采区虽位于可通航水域, 但不在划定的航道范围内, 此时, 采砂活动基本不侵占航道尺度。采砂活动对航道尺度的影响主要表现在边滩挖垮以后诱发的河床演变, 可能导

致主槽分流而使航道淤浅。由于该河段受下游3道拐壅水影响，澜沧江在退水期水流冲刷的动力不足，未来航道淤浅后，将直接导致航槽的航道尺度不能满足船舶航行要求。

### 5 存在的问题

本次计算分析仅是对相关部门批准的采砂范围及高程实施后进行的，也就是在早期多年无序开采的基础上进行，虽然前述计算分析表明由采砂引起的水流条件变化不大，但这只是对短期状态的反映。经分析，原采砂方案主要存在两方面恶化航道的问题：

1) 采区所在的曼龙嘴浅滩属于澜沧江重点浅险水道内，属敏感性河段，同时由于前期无序采砂已经导致滩面高程明显下降，边滩沙埂跨塌穿浩。如果不加以控制而继续进行采砂活动，穿浩水流进一步切割边滩、边滩分流、主槽萎缩，边滩发育、最终诱发该河段河势改变和航槽改道，将直接威胁澜沧江航道安全。

2) 原方案采区目前滩面高程514.8~516.8 m，原采砂方案最低采挖深度为512 m，与主河槽深泓线河床高程相当，采砂完成后将形成2.8~4.8 m的深坑，由于滩面为砂卵石结构，极不稳定，故存在采挖深度过大的问题。

## 6 对策措施

### 6.1 修建边滩防护工程

避免采区分流和控制河势的首要措施是保持原河岸线及边滩稳定，才能保证原整治水位及设计水位范围内主航槽的稳定。较为迫切的是采区边滩目前已被局部冲开，出现一定量的分流，需要及时处理。否则经历新的汛期时或在此继续开挖后，缺口将进一步发育。因此，建议在采砂工程实施前修建边滩防护工程。

1) 固滩工程，将目前穿浩沙埂修复，同时修复原中、枯水边滩，如图8中的1区。保护中、枯水位边滩是因为该时段是澜沧江航槽主要的冲沙

期，这个时间段如果能避免主槽分流就能保证该时段主槽的水流动力，主航槽的稳定也就有基本保障。固滩工程结构尺度为：坝长(从曼龙嘴起算)60 m，坝顶宽10 m，边坡1/2.5，顶高程517.8 m。

2) 护滩工程，采用堆石坝将恢复的边滩顺坝给予支撑，使其在水流冲刷作用下不被带走或冲垮。在修复边滩右后方构筑2区、3区和4区砂卵石丁坝(图8)，用于稳定和加固修复的边滩。由于地形上尽量考虑与后方高点连接，筑坝长度分别为50、54和51 m。坝顶宽10 m，边坡1/2.5，坝顶纵向按1/2.5坡度控制。

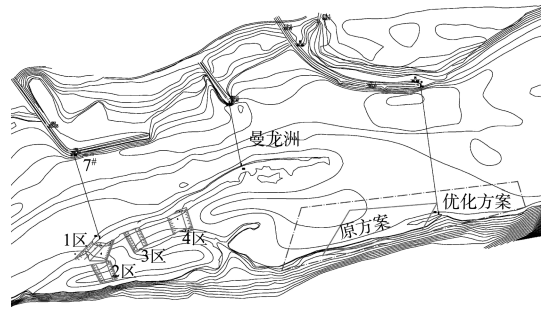


图8 边滩防护工程及优化方案平面布置

### 6.2 严格控制采挖高程

采区所在地前期的无序采砂活动已经导致滩面高程明显下降，边滩沙埂跨塌穿浩，而且区域内形成多处大坑，多处砂坑的高程已经低于主航槽高程。为了防止汛期主流分散，建议在采砂过程中严格控制采挖高程，减小采砂对河床演变和通航安全的影响。

具体措施为：开采过程中要严格控制平均挖深，不得超深开采，采砂后清除废料，严禁抛置航道内；采砂作业区内低于开挖高程的区域，施工中须对超深处回填至开挖高程，避免形成沙坑恶化航道条件；采砂作业完毕后，应对采区内砂包及时清理，对河床进行平整，使其恢复至原有滩面形态，减小对河床演变和通航安全的影响。

### 6.3 优化采区平面尺度和开采方式

1) 优化采区平面尺度。

针对原方案采挖过深的问题，研究进行采区平面尺度优化，优化的思路是增大开采面积，减

小开采深度, 将开采高程控制在 514.0 m 以上。经过多组方案比选, 最终确定的优化方案为: 开采高程 514~522 m, 开采范围由原来的 1.9 万  $m^2$  增大到 6.2 万  $m^2$ 。经计算, 采砂优化方案的开采量为 5.9 万  $m^3$ , 略大于原采砂方案 5.02 万  $m^3$ 。

通过平面二位水流数学模型验证了方案的可行性, 模型计算模拟采区河床高程 514~520 m 相应低水位范围内 1 040~8 640  $m^3/s$  间的 7 级流量, 采砂方案分为 0 (最高开采限高 522 m)、1、2、2.5、3、3.5 和 4 m (最低开采限高 514 m) 共 7 种开挖方案, 计算了 49 个组次。计算结果见表 2。

表 2 优化方案采砂后水流条件变化

流量级/ ( $m^3/s$ )	水位 变化/m	比降 变化/‰	近岸流速 变化/(m/s)	近岸流向 变化/( $^\circ$ )	主流带流速 变化/(m/s)
1 040	-0.02	-0.07	-0.05	0.15	-0.04
1 320	-0.02	0.07	-0.06	0.18	-0.05
1 610	0.02	-0.07	-0.06	0.13	-0.05
1 920	0.01	0.07	-0.05	0.15	-0.04
2 250	0.01	-0.07	-0.04	0.91	-0.04
2 615	-0.01	0.07	-0.04	1.98	0.04
8 640	0.00	0.00	-0.01	0.22	0.01

分析上述计算结果可知: 采砂结束后, 优化方案的最大水位降低 1~2 cm, 最大比降增加约 0.07‰, 距离右岸岸边 30 m 处流速变化范围在 0.01~0.06 m/s, 近岸流向变化不大于  $2^\circ$ , 主流带流速略有减小, 减小值 0.01~0.05 m/s。

因此, 优化方案对河道水位、比降、近岸流速、流向和主流带流速的影响均不明显, 比原方案影响更小。优化方案减小了开采深度, 扩大了开采面积, 有利于稳定边滩、保护航道条件。

## 2) 优化开采方式。

为了减小采砂对航道水流条件的扰动, 避免采区形成局部的深坑或者深槽, 保护边滩, 对采砂作业实施过程提出如下建议: 开挖方式尽量采取普遍开挖、分层开采、从上而下的顺

流向开采方式, 开采过程中要保持纵坡和横坡与原滩面坡度基本一致, 并且采砂场头部按 1:3 的倒坡开挖。

## 7 结语

1) 原方案采砂后通航水流条件变化较小, 但这只是对短期状态的反映。由于采区所在地前期曾遭遇多次偷采, 导致边滩垮塌穿浩, 航道条件恶化, 若在此基础上不加保护继续进行开挖, 直接的影响是边滩垮塌分流, 主航槽枯期水深不足, 航道淤浅, 船舶无法通行, 最终将引发河势及河床演变。

2) 为减小本次采砂对航道条件的影响, 建议采砂活动实施过程中采取一定的航道保护措施: 采砂前修建边滩防护工程, 控制中、枯水河势; 开采过程中采取从上而下的顺流向开采方式, 减小采砂对水流条件的扰动, 并且严格控制开挖高程, 避免汛期主流分散。

3) 原方案最低开采深度为 512 m, 存在开挖深度太大, 边滩不稳的问题, 对此给出了增大开采面积、减小开挖高程的优化方案。与原方案相比, 优化方案对通航水流条件影响更小, 有利于稳定边滩、保护航道条件。

## 参考文献:

- [1] 陈绍新, 陈海全. 无序采砂对东江下游及三角洲地区水文特性影响分析[J]. 广东水利水电, 2006(4): 57-59.
- [2] 马中和. 无序采砂的危害和对策[J]. 中国水运, 2000(9): 32-33.
- [3] 贾良文, 陆永军, 莫思平. 大量采砂对东江下游及东江三角洲河道低水位的影响[J]. 水利水电工程学报, 2006(3): 1-8.
- [4] 刘蓉, 钱兆燕, 赵志舟. 采砂对河道的影响分析及治理措施研究[J]. 重庆交通大学学报, 2006(4): 146-149.

(本文编辑 郭雪珍)