

文章编号: 1008-2786(2001)增刊-0050-06

# 紫色泥页岩的风化侵蚀与工程建设增沙

朱波,高美荣,刘刚才  
(中国科学院成都山地灾害与环境研究所,成都 610041)

**摘 要:**通过田间试验与野外观测研究紫色泥页岩的风化速度与侵蚀特征,结果表明,紫色泥页岩年风化成土速率为  $15\,800\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}-25\,500\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ ,各种紫色岩的风化顺序为遂宁组( $J_{3s}$ ) $\gg$ 蓬莱镇组( $J_{3p}$ ) $\gg$ 沙溪庙组( $J_{2s}$ ) $\gg$ 城墙岩群( $K_{1c}$ );风化侵蚀强烈是紫色泥页岩的独有特征,侵蚀模数为  $12\,380\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}-23\,640\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,风化与侵蚀的交替过程是紫色土水力侵蚀的基本过程。工程建设开挖山体,暴露母岩是引发紫色泥页岩风化侵蚀的首要外力,工程建设造成四川盆地的裸露紫色页岩面积高达  $1\,200\text{ km}^2$ ,导致紫色岩地区每年工程增沙量高达  $2\,500\text{ 万 t}$ 。嘉陵江北碛水文站多年泥沙分析结果表明,1960 年代的“三线”建设曾引起嘉陵江流域泥沙的急剧上升。西部大开发中基础设施建设在改善“蜀道难”的同时,势必开山填沟,导致大量的岩石及土石方裸露,巨大的紫色页岩剖面裸露,预计西部大开发尤其是基础设施建设将会造成更大更广泛的工程增沙。工程建设增沙将对四川省的生态环境建设及长江流域经济可持续发展构成极大的挑战,控制工程增沙将成为改善长江上游生态环境的重要方向。当前,工程建设增沙的预测及工程建设项目的环境影响评估已成当务之急。

**关键词:**紫色页岩;土壤形成;风化侵蚀;工程增沙;西部开发

**中图分类号:** S157, S156      **文献标识码:** A

四川紫色土丘陵山区,面积 16 万多  $\text{km}^{2[1]}$ ,人口密集,土地垦殖率高,水土流失异常严重,据四川盆地腹心地带的琼江流域水土流失调查表明,侵蚀强度为  $5\,645.6\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,因此川中丘陵区被列为长江上游水土流失重点防治区。自 1980 年代以来,工程建设开挖山体,暴露母岩,加速了紫色母岩的风化过程,由此产生的工程侵蚀已为人们所关注<sup>[2]</sup>。但有关紫色母岩风化侵蚀的数据奇缺,难以准确估算工程增沙量,更无从评价其环境效益。

本文通过田间试验与观测,研究紫色母岩的风化速度与侵蚀特征,为评价工程增沙对环境的影响提供数据基础,为治理紫色母岩的工程增沙提供理

论依据。

## 1 研究方法

### 1.1 试验材料与地点

试验于中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站( $105^{\circ}27'E, 31^{\circ}16'N$ )进行。试验点属亚热带季风气候,年均温  $17.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,年均降雨量  $826\text{ mm}$ ,无霜期  $300\text{ d}$ ;供试母岩为新鲜紫色页岩,采集于四川盆地的蓬莱镇、内江、遂宁和梓桐,其出露地层为蓬莱镇组( $J_{3p}$ )、沙溪庙组( $J_{2s}$ )、遂宁组( $J_{3s}$ )和城墙岩群( $K_{1c}$ ),其物理性状列于表 1。

表 1 紫色泥页岩的物理性状  
Table 1 Physical characteristics of purplish shale

地层	比重( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	容重( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	孔隙度(%)	吸水率(%)	干抗压强度( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	湿抗压强度( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
$K_{1c}$	2.68	2.56	8.2	3.68	149~614	99.5~375
$J_{3p}$	2.75	2.55	12.6	4.75	145~376	0~111
$J_{3s}$	2.72	2.53	10.8	2.72	116~295	36~107
$J_{2s}$	2.78	2.51	9.6	6.25	102~613	54~421

收稿日期: 2001-07-29.  
基金项目: 国家自然科学基金项目(49601009)的部分成果。  
作者简介: 见本期 p. 14.



1. 2 紫色母岩田间风化试验

在田间建造 1 m<sup>2</sup>, 20 cm 深的水泥池, 并配有泥沙采集池。采集上述新鲜未风化的紫色页岩(粒径约 100 mm)置于水泥池中, 各种母岩重量除蓬莱镇组(J<sub>3</sub>p)重量设为 60 kg、100 kg 和 200 kg 三个处理外, 其余为 100 kg, 任其自然风化, 定期筛分岩屑与土粒(筛分粒径为 10 mm, 5 mm, 2 mm), 以< 5 mm (为 5 mm~2 mm 与< 2 mm 组分之和)的组分作为风化碎屑, 即细颗粒; 以粒径< 2 mm 的组分作为成土指标, 计算母岩风化成土速度, 降雨产沙时测定水沙含量。

1.3 紫色母岩风化侵蚀观测

在田间建造微型径流场, 坡度 5°~7°, 径流小区面积 6 m<sup>2</sup>。观测在蓬莱镇组紫色土区进行, 取走紫色土表土, 完全暴露母岩, 在试验小区内随机钉入细长铁钉, 记录原始长度和母岩水平高度, 任其自然风化, 定期取样筛分风化部分(粒径 10 mm, 5 mm, 2 mm), 筛分> 10 mm, 10 cm~5 mm, 5 cm~2 mm, 和< 2 mm的组分, 计算母岩成土速度; 降雨产沙时测定侵蚀量。并以相同地点和相同坡度的紫色土标准

径流场观测结果为对照。

2 结果与讨论

2.1 紫色母岩的风化速度

紫色母岩露天风化半年、一年时, 分别取样筛分其不同粒径的组分, 计算各自的分配率, 结果见表 2。以粒径< 5 mm 的组分为细颗粒, < 2 mm 的组分作为成土指标, 紫色母岩风化半年, 约 28.3 %的母岩变成细颗粒, 生产上作为粗骨土加以利用<sup>[3]</sup>, 12 %成土, 风化一年, 40 %以上的母岩变成了细颗粒, 21 %的母岩成土。紫色母岩以遂宁组风化最快, 风化一年成土率为 25.5 %, 蓬莱镇组次之, 为 24.6 %, 其次为沙溪庙组(18.2 %), 城墙岩群稍慢(15.8 %)。紫色页岩的风化速度受其基本性质所影响, 紫色岩石比重均较大(表 1), 其中重矿物较多, 化学风化程度低, 而以物理风化为主, 紫色页岩为孔隙式钙质胶结, 在冷热变化和干湿交替作用下层面裂隙相互连接, 形成连续的风化网状裂隙带, 为快速风化创造了条件。

表 2 紫色泥页岩的风化速度  
Table 2 Weathering rates of purplish shale

母岩类型	各粒径分配比例(%)										成土模数 (t·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )
	> 10 mm		10 mm ~ 5 mm		< 5 mm		5 mm ~ 2 mm		< 2 mm		
	6 月	12 月	6 月	12 月	6 月	12 月	6 月	12 月	6 月	12 月	
J <sub>3</sub> p	59.9	31.8	12.3	27.7	27.8	40.5	14.3	15.9	13.5	24.6	24600
J <sub>3</sub> s	54.5	16.9	14.2	30.8	30.3	52.3	21.0	26.8	10.3	25.5	25500
J <sub>2</sub> s	61.4	27.4	11.3	33.7	27.4	38.9	13.5	20.7	13.9	18.2	18200
K <sub>1</sub> c	52.8	33.4	20.5	26.4	26.7	40.2	16.5	24.4	10.2	15.8	15800
平均	57.2	27.4	14.6	29.7	28.3	43.0	16.3	22.0	12.0	21.0	21000

2.2 紫色泥页岩的侵蚀量

2.2.1 紫色泥页岩侵蚀的特殊性

紫色母岩风化之快, 任何其他母岩类型无法比拟, 按上述研究结果表明, 最慢的城墙岩群风化速度为 15800 t°km<sup>-2</sup>°a<sup>-1</sup>, 而石灰岩的风化速度为 55 t°km<sup>-2</sup>°a<sup>-1</sup><sup>[4]</sup>, 国外观测到岩石形成 1 cm 厚的土壤需 120 a~400 a<sup>[5]</sup>。紫色母岩的快速风化特性为其侵蚀提供了丰富的物质基础, 裸露母岩的侵蚀过程实际上与其风化过程交替发生, 前人亦有论述“紫色土的成土方式, 约可以数言蔽之: 紫石(紫色岩石)迅速机械风化为紫土(紫色土), 土又迅速侵蚀而去, 不多时土又再度更新”<sup>[6]</sup>, 因此, 紫色泥页岩的侵蚀

是风化侵蚀过程, 实质上是风化—侵蚀—风化—侵蚀的循环过程。

2.2.2 紫色母岩的风化侵蚀特征

紫色泥页岩的侵蚀观测结果见表 3, 由表 3 可见, 紫色泥页岩的风化侵蚀异常强烈, 侵蚀深度均在 10 mm 以上, 母岩侵蚀场观测结果表明, 蓬莱镇组裸露泥页岩年侵蚀量为 23 640 t°km<sup>-2</sup>°a<sup>-1</sup>, 侵蚀深度为 17.5 mm, 相同地点和相同坡度的紫色土标准径流观测场测定结果表明, 紫色土侵蚀强度为 1 150 t°km<sup>-2</sup>°a<sup>-1</sup>, 侵蚀深度为 0.8 mm, 说明母岩的风化侵蚀强度远高于紫色土坡地的侵蚀, 与成土模数相比较, 母岩形成的土壤 90 %以上被侵蚀, 土被



几乎完全流失, 母岩又重新裸露。

由表 3 可见, 紫色泥页岩的风化侵蚀量由大到小的顺序为  $J_3s > J_3p > J_2s > K_1c$ , 与紫色泥页岩的风化顺序一致。由于不同类型的紫色泥页岩源自不同的出露地层, 其沉积条件与过程的差异, 形成的紫色

泥页岩物理性状不同, 即岩石矿物组成、孔隙率和抗压强度各有差异而导致其抗风化能力的不一, 因此紫色泥页岩出现不同的剥蚀顺序, 由此可见, 紫色泥页岩的类型是其风化侵蚀的内因。

表 3 紫色泥页岩的侵蚀特征(1998 ~ 1999 年)

Table 3 Erosion characteristics of purple shale

母岩类型	测定方式	坡度(°)	母岩重量(Kg)	降雨量(mm)	侵蚀模数( $t/km^2 \cdot a^{-1}$ )	侵蚀深度(mm)
$K_1c$	风化池	100	1053	12380	9.2	
$J_3p$	风化池	5.5	60		8160	6.0
$J_3p$	风化池	5.5	100		15300	11.3
$J_3p$	风化池	5.5	200		23080	17.1
$J_3p$	径流场	6	—		23640	17.5
$J_3s$	风化池	5	100		18620	13.8
$J_2s$	风化池	5	100		13610	10.1
母岩平均					16400	12.2
$J_3p$ (紫色土对照)	农地径流场	5.5	—		1150	0.8

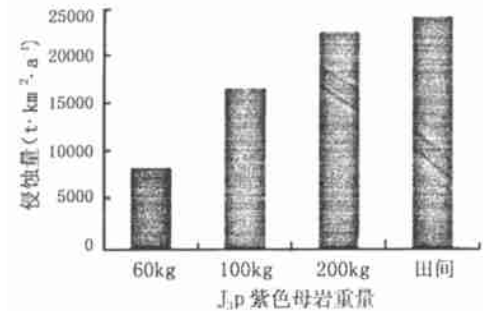


图 1 重量对风化侵蚀量的影响

Fig. 1 Effects of rock quantity to weathering erosion

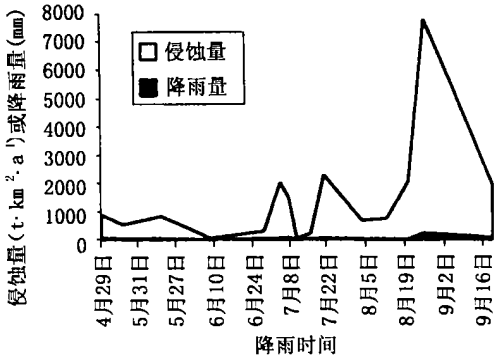


图 2 1998 年降雨量对风化侵蚀的影响

Fig. 2 Effects of rainfall(1998) to weathering erosion

蓬萊鎮紫色泥页岩的侵蚀量因供试岩样的重量不同而有差异, 重量大, 侵蚀量高(图 1), 侵蚀量与裸露紫色泥页岩的重量呈正相关, 裸露紫色泥页岩的量是其风化侵蚀的物源, 是风化侵蚀的物质条件, 泥页岩量的影响在自然条件下表现为岩石裸露面积和厚度的影响。图 2 是  $K_3p$  紫色泥页岩 1998 年不同降雨量与风化侵蚀的观测结果, 降雨量越大, 侵蚀量越高, 降雨是紫色泥页岩风化侵蚀的首要外力。

3 紫色泥页岩风化侵蚀的环境效应

3.1 紫色泥页岩的地理环境与景观

紫色页岩广布于中亚热带的四川盆地, 广义的

四川盆地实质上为四川地台<sup>[7]</sup>。晚三叠世以来, 地台原有的褶皱面经过 3 次强烈运动, 加之印支运动的影响, 形成了盆地的构造骨架, 燕山运动形成广泛的地台盖层褶皱带, 盆地内出现大片红色构造, 即红层—紫色页岩层, 喜马拉雅山运动使盆地隆起, 盆地湖泊化过程结束, 逐渐演化成今日的四川盆地地质构造特征, 这一构造格局控制了盆地内部的气候、植被、地理环境和景观, 又因亚热带季风气候降雨充沛, 红层侵蚀切割成盆中方山丘陵, 盆东平行岭谷、盆南低山丘陵和盆北低山的景观特征, 紫色泥页岩侵蚀剧烈, 其风化—侵蚀—风化—侵蚀的循环过程严重干扰甚至取代了紫色土土壤形成过程, 造成大部分丘陵山地土层浅薄, 土壤干旱, 有机质缺乏, 土



地退化明显, 区域生态脆弱, 裸岩荒山植被恢复缓慢。

3.2 紫色泥页岩区的母质侵蚀

紫色泥页岩岩体松软, 易于风化, 而矿物组成以云母、伊利石和蒙脱石为主, 石英、长石等抗风化能力较强的矿物所占比例小, 加之紫色泥页岩颜色深, 导热性好, 热胀冷缩剧烈。母岩边缘因重力作用而崩塌, 很快风化成岩石碎屑—母质, 坡面母质随坡面

自然向下方位移, 产生重力侵蚀, 从而在坡脚形成母质松散堆积物, 一遇大雨、暴雨, 即产生严重的母质侵蚀, 遂宁组裸露母质多年侵蚀观测结果表明(表4), 母质侵蚀模数为  $8\,107\sim28\,228\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 平均侵蚀模数为  $12\,428\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 平均侵蚀厚度为  $9.2\text{ mm}$ , 母质侵蚀是由母岩风化物产生的, 发生过程也是母岩风化—侵蚀—再风化—再侵蚀, 其本质就是风化侵蚀。

表 4 遂宁组紫色泥页岩区的母质侵蚀  
Table 4 Weathering erosion in purple shale area of Suining group(J<sub>3</sub>s)

年	降雨量 mm	径流量 $\text{m}_3\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}$	年径流系数%	侵蚀模数 $\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$	侵蚀深度 mm
1985	1243	523064	42.08	28228	20.9
1986	911.2	263420	28.91	9081	6.7
1987	884.6	236183	26.70	8628	6.4
1988	876.2	191174	21.82	8094	6.0
1989	869.0	229311	23.66	8107	6.0
平均值	976.8	288625	29.55	12428	9.2

注: 资料来源于遂宁水土保持站观测资料

3.3 紫色泥页岩区的建设工程增沙

随着经济的发展, 工程建设项目日益增多, 如开发区建设、道路建设和水利工程等。这些工程建设破坏植被、损坏水土保持设施、开挖山体, 加之工程建设中的“随意开挖”、“随意堆弃”、“随意倾倒”等“三随”现象仍较严重, 因此造成大量裸露土石方未经夯实, 且无保护措施, 成为新的水土流失源。自八十年代以来, 紫色页岩区每年因工程建设造成的裸露岩石面积有  $100\text{ km}^2$ , 到 1999 年, 累计裸露山岩面

积达  $4\,000\text{ km}^2$ , 其中得到治理的约占 70 %, 目前仍有约  $1\,200\text{ km}^2$  裸露的紫色岩石或紫色土石方, 由于紫色岩强烈的风化侵蚀, 每年的工程增沙量高达  $2\,500\text{万 t}$ , 工程建设新增泥沙量呈逐年上升之势。有报道指出工程建设造成的侵蚀模数高达  $6\text{万 t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ <sup>[8]</sup>, 城镇建设中的人为弃土的侵蚀量是裸露撂荒坡地的  $10.36\sim12.23\text{ 倍}$ <sup>[9]</sup>, 可见工程建设增沙已成为当今水土流失的又一大特点, 对生态环境建设构成极大的挑战。

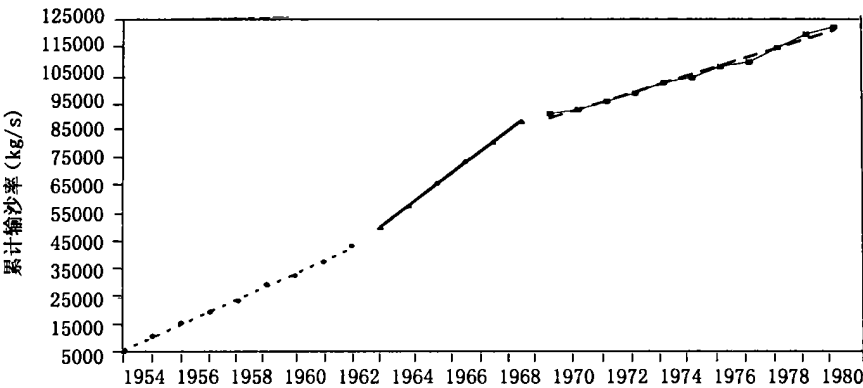


图 3 1954~1980 年嘉陵江北碚站的泥沙累积曲线



### 3.4 西部开发中的工程侵蚀问题

四川盆地位于中国地势的第二阶梯,地势自西北向东南倾斜,长江自西向东贯穿,其间广泛出露紫色岩层。随着西部大开发战略的打响,位于西部核心地带的四川以基础设施建设为重中之重,2000 年将投资 1 700 亿修建交通设施以解决“蜀道难”的问题。本地区地势陡峻,公路、水利等建设工程必将开山填沟,大面积紫色岩石裸露,因紫色岩独特的风化侵蚀特征不可避免的会产生巨大的工程侵蚀,60 年代四川大规模的“三线”建设曾导致嘉陵江泥沙大量增加就是先例(图 3)。因此,西部大开发中的工程增沙更加不容忽视,不仅影响长江上游生态环境建设,而且对长江流域和三峡水库的安全造成潜在威胁。但有关工程侵蚀的观测数据、工程建设增沙的评价几乎为空白,难以对西部开发中基础设施建设提供合理的水土保持建议与措施,而面对西部开发中的两大重点—基础设施与生态环境建设的矛盾无能为力,由此可见,尽早开展有关工程侵蚀的观测研究及其对大型基础设施建设的工程增沙进行评价,为基础设施建设的水土保持规划提供理论依据已成当务之急。

## 4 结论

紫色泥页岩风化成土迅速,风化一年有 15.8 % ~25.5 % 成土;紫色页岩的风化顺序如下:遂宁组( $J_3s$ )> 蓬莱镇组( $J_3p$ )> 沙溪庙组( $J_2s$ )> 城墙岩群( $K_1c$ )。

紫色泥页岩风化侵蚀剧烈,侵蚀模数高达  $12\,380\,t\cdot km^{-2}\cdot a^{-1} \sim 23\,640\,t\cdot km^{-2}\cdot a^{-1}$ 。侵蚀模数由

高到低的顺序为:遂宁组( $J_3s$ )> 蓬莱镇组( $J_3p$ )> 沙溪庙组( $J_2s$ )> 城墙岩群( $K_1c$ ),与母岩风化顺序一致,紫色泥页岩风化侵蚀强度受母岩类型、降雨量和裸露紫色页岩重量(面积和厚度)等因素的影响。

母质侵蚀强度大于土壤侵蚀,人为干扰可能加剧母质侵蚀,侵蚀特征接近裸岩的风化侵蚀。紫色页岩区工程建设开挖山体,破坏植被,暴露紫色母岩,造成的母岩风化侵蚀高达  $23\,640\,t\cdot km^{-2}\cdot a^{-1}$ ,年新增泥沙量达 2 000 万 t,工程建设增沙已成为长江上游紫色土区水土流失的又一特点,工程产沙亟待治理。

西部开发中的基础设施建设不可避免地将导致巨大的工程增沙,开展有关的观测研究与工程侵蚀的评价已成当务之急。

### 参考文献:

- [1] 李仲明. 中国紫色土(上)[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [2] 张信宝. 长江上游河流泥沙近期变化、原因及减沙对策[J]. 中国水土保持, 1999 (2): 22~24.
- [3] 陆景岗. 土壤地质[M]. 北京: 地质出版社, 1994. 26~29.
- [4] 袁道先. 岩源环境学[M]. 重庆: 重庆出版社, 1988. 25~29.
- [5] 史德明. 如何正确理解有关水土保持术语的讨论[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998 4 (4): 89~91.
- [6] 余皓, 李庆逵. 四川之土壤[J]. 土壤专报, 1945. 24号: 71~83.
- [7] 张先婉, 唐时嘉. 四川紫色土资源潜力和合理利用[M]. 见: 中国土壤学会编, 中国土壤的合理利用和培肥. 南京: 中国土壤学会, 1983. 120~123.
- [8] 刘伟常. 保持水土利国利民[J]. 水土保持研究, 1997, 4(1): 2~6.
- [9] 孙虎, 唐克丽. 城镇建设中人为弃土降雨侵蚀实验研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(2): 29~35.



## Weathering Erosion and Sediment Yield from Construction in Purplish Shale Area

ZHU Bo, GAO Mei-rong, LIU Gang-cai

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, 610041 China*)

**Abstract:** Fields observation and experiments were conducted to study soil formation and erosion characteristics of purplish shale. Results showed, soil formation rates of purplish shale are  $15\ 800 \sim 25\ 500\ \text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ . Weathering sequence of purplish shale is Group Suining (J3s) > Group Penglaizhen (J3p) > Group Saximiao (J2s) > Group Chengqiangyan (K1c). Weathering erosion is unique feature of purplish shale with erosion modulus as high as  $14\ 380 \sim 23\ 952\ \text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ . Trees are cut down, earth and stones are excavated in construction, consequently cause purplish shale bared and resulted in serious weathering erosion. This leads to produce about 25,000,000 tons of sediment yield annually in purplish shale area of upper reaches of Yangtze River. Sediment yield data observed in Beibei station of Jialing River were analyzed. Evidence showed "Three Line" construction in 1960s caused sharp increment of sediment in Jialing River. Traffic problems will be improved by basic construction in the "Western Development", however, huge stone and profile of purplish shale will be exposed to accelerate weathering rate of purplish shale. Thus more extensive weathering erosion will occur in large scale. And higher sediment yield from construction would make big trouble to eco-environment. Therefore it is urgent to take conservation measures to control soil erosion and sediment yield from construction so as to improve ecological environment of upper reaches of Yangtze River.

**Key words:** purplish shale; weathering erosion; sediment yield from construction; western development