ВАН ЦЗЮНЬЦИН
Аспирант РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)
e-mail: 764245618@qq.com

Ю.В. НАЗАРОВ
Доктор искусствоведения, профессор РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)
e-mail: nazaret48@yandex.ru

Н. Ю. КАЗАКОВА
Доктор искусствоведения, профессор РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)
e-mail: Kazakova-nu@rguk.ru

WANG JUNQING
Postgraduate student of the Russian State University named after A.N. Kosygin (Technology. Design. Art)
e-mail: 764245618@qq.com

Y.V. NAZAROV
Doctor of Arts, Professor of the Russian State University A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art)
e-mail: nazaret48@yandex.ru

N.Y. KAZAKOVA
Doctor of Arts, Professor of the Russian State University A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art)
e-mail: Kazakova-nu@rguk.ru

DOI: 10.37485/1997-4663_2026_2_2_501_513

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ГРАВИРОВКИ В РЕЗЬБЕ ПО НЕФРИТУ

THE APPLICATION OF LASER ENGRAVING IN JADE CARVING

В статье рассматривается применение технологии лазерной гравировки в резьбе по нефриту. Лазерная обработка, опираясь на цифровое моделирование и бесконтактный метод воздействия на материал, позволяет существенно повысить точность, детализацию и стабильность процесса, по сравнению с традиционной ручной резьбой. Особое внимание уделяется планированию траектории, регулированию мощности излучения и послойной гравировке, включая 2D- и 3D-подходы. В публикации подчеркивается важность ручной доводки для устранения дефектов, рассматривается значение художественной доработки и сохранения «теплоты» традиционного ремесла. Данная технология обеспечивает адаптацию к различным заготовкам из камня и способствует цифровизации искусства резки по нефриту.

The article examines the application of laser engraving technology in jade carving. Laser processing, relying on digital modeling and a non-contact method of influencing the material, makes it possible to significantly improve the accuracy, detail, and stability of the process compared to traditional manual carving. Special attention is paid to trajectory planning, radiation power adjustment, and layer-by-layer engraving, including 2D and 3D approaches. The publication emphasizes the importance of manual finishing to eliminate defects, and considers the significance of artistic refinement and preserving the “warmth” of traditional craftsmanship. This technology ensures adaptability to various stone blanks and contributes to the digitalization of jade carving art.

Ключевые слова: лазерная гравировка, резьба по нефриту, цифровое моделирование, послойная обработка, управление мощностью светового потока, углублённая гравировка, барельеф, ручная доработка.
Keywords: laser engraving, jade carving, digital modeling, layer-by-layer processing, light power control, deep engraving, bas-relief, manual finishing.

Введение

Искусство резьбы по нефриту (жадеиту и другим видам материалов «ю»), благодаря сложному технологическому процессу, уникальности самого материала и глубокой культурной традиции, занимает важное место в восточной эстетической системе. С широким внедрением цифровых технологий, процессы проектирования и изготовления изделий из нефрита подвергаются переосмыслению и модернизации. Применение трехмерного моделирования разрушило традиционную систему проектирования нефритовой резьбы и вывело ее в цифровую сферу. Быстрое развитие и практическое использование лазерной гравировки стимулировали трансформацию творческих и производственных этапов создания изделия, обеспечив переход от традиционной ручной резьбы к машинной фотолитографической (оптической) обработке. Лазерная гравировка как один из методов цифровой обработки представляет собой бесконтактную технологию, основанную на использовании энергии излучения. Предварительно созданная цифровая 3D-модель материализуется в изделие посредством лазерного гравировального станка. По сравнению с традиционной резьбой по нефриту, лазерная гравировка эффективно повышает точность, производительность, уровень детализации и качество передачи фактуры; она обладает собственной художественной выразительностью. Применение лазерной гравировки обновляет ремесленный аналог, преимущественно основанный на ручном труде, и открывает новые пути для модернизированного производства нефритовых изделий. В данном разделе системно анализируются особенности и значимость применения лазерной гравировки в резьбе по нефриту с позиции технологического процесса и как ключевой технической ценности.

1. Влияние лазерной гравировки на технологию изготовления нефритовой резьбы

1.1. Принцип лазерной гравировки и технологическая применимость

Лазерная гравировка как технология обработки широкого спектра материалов изначально применялась в промышленном производстве и в областях, связанных с высокоточным изготовлением. Лазерная гравировка представляет собой способ современной резки/гравирования, где мощный лазерный луч высокой плотности за очень короткое время нагревает материал до температуры испарения (что приводит к испа-

рению и образованию округлых отверстий/полостей) либо до температуры воспламенения материала [1]; затем перемещение луча, управляемое компьютером, соединяет образовавшиеся полости в линии, формируя требуемый контур. Технология, где лазерный луч после прохождения системы коллимации и фокусировки направляется на материал, позволяет точно воспроизводить линии и контуры, заданные дизайнером в цифровом рисунке. В пределах выделенной области материал быстро расплавляется, испаряется или разлагается, обеспечивая высокоточную, высокоскоростную, полностью автоматизированную бесконтактную гравировку и ажурную выборку (сквозное выжигание/вырезание), при этом материал вне заданной области сохраняет целостность. Расплавленные или разложившиеся частицы удаляются с поверхности заготовки высокоскоростным потоком газа, синхронизированным с вращением оси сканирования/вывода луча, что обеспечивает удаление лишнего материала без механического контакта [2].



Рис. 1. Ультрафиолетовый лазерный гравировальный станок

Нефритовые камни как природные минералы по минералогической классификации включают: пироксены (жадеит — «фэйцуй»), амфиболы (нефрит/хэтяньский нефрит — «хэтянь-юй»), кварцевые разновидности (агат), а также силикатные породы (душаньский нефрит, сюяньский нефрит, ланьтяньский нефрит и пр.). Минералогический тип определяет твердость минералов по шкале Мооса в пределах 6,0–7,0 единиц, что обусловливает высокую твердость, хрупкость структуры и низкую теплопроводность. В традиционной резьбе мастер обычно использует высокооборотный ручной гравировальный инструмент. При обработке поверхности из-за трения происходит быстрый локальный нагрев, что повышает риск сколов и растрескивания заготовки. При лазерной гравировке нефритовых материалов чаще применяется ультрафиолетовый (UV) лазерный гравировальный станок (рис. 1). В отличие от CO2-лазеров и волоконных (fiber) лазеров, УФ-лазер способен за счет энергии напрямую разрушать

молекулярную химическую структуру материала, вызывая разложение и отделение вещества в зоне обработки. При этом тепловое воздействие минимально, и данный процесс относится к «холодной обработке» нефрита. Оборудование позволяет регулировать мощность и режим излучения, в зависимости от типа камня, концентрируя микромощный луч на поверхности. Это обеспечивает оптимальную поглощаемость энергии материалом и реализует быструю лазерную гравировку без эффекта физического удара. Принцип лазерной гравировки практически делает ее совместимой с нефритовой технологией: она подходит для обработки разных разновидностей «ю», предоставляет традиционной резьбе новый технический инструмент и привносит оптимальную динамику в современную технологическую систему резьбы по нефриту.

1.2. Планирование траектории и настройка мощности потока энергии

Первым этапом процесса лазерной гравировки является планирование траектории (маршрута) обработки, определяющее путь движения луча, распределение энергии и общую эффективность гравирования. В традиционном процессе резьбы по нефриту последовательность операций зачастую задается опытом мастера или его субъективным решением. Лазерная же гравировка опирается на цифровую модель и на автоматически генерируемую траекторию. На практике подготовленные в программах Adobe Photoshop, CAD, AI, CorelDRAW и т. п. пакетах электронные векторные файлы импортируются в программное обеспечение, управляющее лазером. Благодаря алгоритмам оптимизации траектории, программа автоматически анализирует геометрическую конфигурацию модели, различает внешние контуры, внутреннюю заливку, внутренние вырезы (ажур), шрифтовые элементы и пр. После этого, исходя из сложности рисунка и требуемой глубины рельефа, настраивается направление гравирования, мощность, скорость и количество проходов [3]. Далее лазерное пятно равномерно сканирует поверхность заготовки, формируя заданную траекторию. Для нанесения сложных узоров важно учитывать не только особенности лазерной обработки, но и геометрию поверхности заготовки. В зонах с большой глубиной или множеством деталей система автоматически снижает скорость, повышает мощность и уменьшает шаг/скорость сканирования (и/или увеличивает количество проходов), обеспечивая качество. На ровных участках с малым количеством деталей, напротив, повышается скорость и снижается мощность. Такая оптимизация

уменьшает холостые перемещения излучателя, сокращает длину маршрута и заметно снижает общее время обработки заготовки. На практике траекторию нужно дополнительно корректировать с учетом степени поглощения лазерной энергии конкретным материалом. Например, для сильно отражающих и твердых разновидностей «ю»: стекловидного (высокопрозрачного) жадеита и душаньского нефрита — характерна более низкая поглощающая способность излучения. Если использовать автоматическую траекторию без коррекции, контуры могут получиться размытыми либо эффект гравировки будет слабым, что увеличивает брак. В таких случаях требуется уменьшить скорость, повысить мощность и выполнить многопроходную обработку для достижения сходства с цифровой моделью. Планирование траектории определяет не только направление и порядок обработки, но и влияет на риск термических трещин: корректные параметры помогают избежать сколов/растрескивания, сократить время и обеспечить качество процесса обработки.



Рис. 2. Сочетание лазерной гравировки и традиционной техники инкрустации золотом

Настройка и контроль лазерной энергии — ключевые процедуры для получения высококачественного результата. Излишне высокая энергия может привести к шероховатости поверхности, локальной карбонизации и потере блеска; слишком низкая ведет к «размыванию» деталей и к недостаточной глубине рельефа. На итоговое качество также влияют частота импульсов, размер пятна, а также фокусное расстояние. В реальном процессе работы заготовку фиксируют на рабочем столе; при неровностях используют вспомогательные опоры для устойчивого закрепления. Затем через панель управления перемещают лазерную головку над заготовкой, проверяют пятно и выполняют фокусировку. Расстоя-

ние фокуса до поверхности влияет на поглощение энергии: чем ближе фокус к материалу, тем больше энергии поглощается, тем четче линия и выразительнее объем; при большем расстоянии до заготовки линии становятся более размытыми и объемность снижается. Далее, согласно плану обработки, программа задает скорость и мощность. Например, при плоскостной резьбе облачного орнамента (юньвэнь) на нефритовой пластине, поскольку это мелкий барельеф (неглубокий рельеф), избыточная энергия может сделать край орнамента грубым, поэтому целесообразно использовать низкую мощность и высокоскоростное/многопроходное сканирование, передавая тонкую фактуру и мягкость линий. При резьбе буддийских изображений, часто выполняемых в высоком рельефе, можно увеличить мощность и снизить скорость сканирования, ускорив разложение материала и сформировав более глубокий пространственный объем. Таким образом, контроль энергии является ключом к точному переносу цифровой модели на нефритовую заготовку.

1.3. Послойная гравировка и ручная доработка

Послойная гравировка — важное технологическое новшество. Обычная лазерная гравировка преимущественно ориентирована на двумерную поверхность; хотя повторное сканирование одного рисунка/текста может создать определенную глубину и псевдообъем, по сути, эта операция является разновидностью плоской обработки. Для объемных форм со скосами или сложными криволинейными поверхностями применение таких систем ограничено. Для расширения области применения данного приема была разработана система трёхмерной лазерной гравировки, использующая принцип послойного гравирования и накопительного формообразования. Система преобразует 3D-модель CAD в серию двумерных слоев (дискретизация и послойная нарезка/слайсинг). Для получения высокой точности толщина каждого слоя должна быть очень малой (⩽ 0,1 мм) [4]. По данным контуров каждого слоя генерируются линии сканирования и планируется траектория; далее сканирующее устройство управляет сфокусированным лучом, осуществляя селективное травление/удаление материала на поверхности заготовки, формируя плоский рисунок слоя. Затем рабочий стол поднимается, начинается следующий цикл нарезки и сканирования; слои накапливаются и в итоге образуют на камне трехмерный рельеф/объемную форму. На практике послойную гравировку можно разделить на два этапа. Первый — послойность на основе 2D-ПО. Например, при гравировании пейзажного сюжета на нефрите сна-

чала вводят изображение в LightBurn и получают 2D-вектор; затем вручную делят пейзаж на слои (дальний план, средний план, передний план) и для каждого слоя задают мощность и скорость, после чего выполняют последовательную обработку. Этот способ не требует построения 3D-модели, он проще в освоении, но может создавать недостаточную глубину и слабую пространственную слоистость. Второй прием — послойность на основе 3D-ПО. Например, при резьбе по нефриту с изображением фигуры человека готовую 3D-модель импортируют в LightBurn и преобразуют в градации серого; программа по светлотно-тональным отношениям (от белого к серому и далее к черному) разрезает изображение на сотни слоев, автоматически подстраивая мощность и скорость, после чего станок выполняет послойную обработку. Такой подход обеспечивает плавные переходы формы, богатую объемность и убедительную материальность, однако требует заранее подготовленной цифровой 3D-модели.

Ручная доработка — заключительный и крайне важный этап создания изделия. Хотя лазерная гравировка обладает очевидными преимуществами по точности и эффективности, ряд традиционных ремесленных навыков по-прежнему не может быть полностью заменен техникой. Лазер способен формировать точную и объемную структуру изображения, а ручная доработка компенсирует «механическую жесткость», придавая изделию живость и «тепло» ручного труда. Современная система резьбы по нефриту нуждается в сочетании этих двух методов. После лазерной обработки на поверхности могут оставаться порошковая пыль, локальные наплывы расплава, неровные «зубчатые» следы реза, что ухудшает внешний вид изделия, поэтому сначала выполняют ультразвуковую очистку, затем вручную удаляют наплывы резцом, заусенцы выравнивают шлифовальными абразивами, после чего проводят окончательную шлифовку и полировку для восстановления блеска поверхности. Это полная традиционная ручная доработка после лазерной гравировки. Часть мастеров дополнительно выполняет вторичную художественную обработку уже выгравированной заготовки, используя резьбовые машинки для кости и иные инструменты. Например, при выполнении углубленной резьбы (интальо) китайского пейзажа на хотаньском нефрите после лазерной обработки из-за преимущественно белого цвета и мягкого теплого блеска материала рисунок в неглубоких канавках при обычном освещении имеет слабый контраст и недостаточную выразительность. В этом случае мастер выполняет ручную инкрустацию цветом/подкраской: специальный черный

пигмент вводится в углубления, создавая резкий черно-белый контраст и максимально восстанавливая эмоциональную выразительность («циюнь», «лин-син») традиционной пейзажной живописи. Другой вариант — применение после лазера техники инкрустации металлом (ошибочно часто обобщаемой как «цо цзин»). Здесь используются золотая, серебряная или медная проволоки (в т. ч. тонкие нити) для декоративного заполнения/вставки (рис. 2). Такой подход демонстрирует синтез традиционных техник и цифровых технологий. Модель «цифровая обработка + ручное сотрудничество» не только обновляет технологический процесс, соединяя рациональность цифрового производства с ремесленной традицией, но и способствует наследованию и развитию искусства резьбы по нефриту.

2. Ключевые технические преимущества лазерной гравировки

2.1. Рельефная слоистость и оптическая точность

Лазерная гравировка — один из наиболее репрезентативных цифровых методов в современной системе обработки нефрита (рис. 3); чаще всего данная технология применяется для создания барельефа/горельефа, углублённой резьбы (интальо) и поверхностных декоративных орнаментов. Первое ключевое преимущество лазерной гравировки заключается в формировании рельефной слоистости за счет точного контроля мощности излучения. В традиционной рельефной резьбе мастер многократно «снимает фон» (уменьшает грунт, выполняет выборку) для получения рельефного рисунка; глубина слоев, колебания рельефа и переломы линий/плоскостей требуют постоянной корректировки и визуального контроля [5]. Процесс сложен, трудоемок и с трудом обеспечивает согласованность рельефной структуры. Лазерная гравировка, напротив, использует цифровое планирование траектории и обеспечивает послойное управление. Каждый слой выражается нормированными значениями, реализуя переход «от мелкого к глубокому», что обеспечивает точность, согласованность и воспроизводимость. Во-первых, диаметр сфокусированного лазерного пятна может контролироваться на уровне менее 20,0 мкм, а мощность — точно дозироваться, что практически позволяет свести погрешность глубины к нулю. Упорядоченное распределение мощностных параметров по поверхности устраняет типичные проблемы ручной резьбы: чрезмерную глубину и неравномерность слоев, делая детали более четкими, а переходы слоев более естественными. Во-вторых, лазерная система обладает функцией автоматической подстройки фокуса. В традиционной обработке кривизна



Рис. 3. Процесс лазерной гравировки барельефного изображения Будды

и неровности поверхности нефрита влияют на траекторию инструмента и легко приводят к нарушению пропорций и деформации линий. Автоподстройка фокуса в лазерной гравировке позволяет сохранять стабильный выход мощности и обеспечивает ровную обработку на поверхностях различной формы, поддерживая точную слоистую структуру даже на сложных по конфигурации заготовках. В-третьих, существенным преимуществом лазерной гравировки является бесконтактность: при ручной резьбе высокооборотный инструмент контактирует с поверхностью, что может вызывать сколы. Лазер же выступает «оптическим резцом», при этом область воздействия мала, отсутствует ударная нагрузка, снижается риск внешнего механического повреждения. Это повышает безопасность обработки и уменьшает долю брака, что особенно важно для дорогого сырья, тонких пластин и сложных конструкций.

2.2. Линии интальо и микромасштабный контроль

Второе ключевое преимущество лазерной гравировки — тонкий контроль качества углубленной линейной резьбы (интальо, «инькэ»). Интальо — это техника, противоположная рельефу: на ровной поверхности создается углубленный рисунок, составленный из точек, линий и плоскостей, находящийся ниже уровня поверхности. Традиционное интальо зависит от миниатюрных инструментов; глубина и плавность линии существенно зависят от силы нажима и угла наклона резца, поэтому при сложных орнаментах трудно обеспечить единство линий по всей композиции. Лазерная гравировка заменяет движение резца высокочастотны-

ми лазерными импульсами, стандартизируя контроль глубины и ширины линии и повышая точность и стабильность. Во-первых, высокочастотный импульсный режим — это ключевой фактор: быстрый набор мощности создает перекрытие пятен за короткое время, и локальная зона материала испаряется/плавится, формируя гладкую и текучую линию [6]. Степень перекрытия управляется компьютером, что позволяет придать линии ритм и «дыхание», близкие к традиционной китайской графике, и избежать искривлений и разрывов, характерных для ручной резьбы. Ширина лазерной линии может быть сопоставима с диаметром человеческого волоса, что делает возможной микродетализацию, труднодостижимую при пользовании ручным инструментом; изображаются волосы, прожилки лепестков, перья птиц и т. п. Во-вторых, программируемость лазерной обработки позволяет параметрически контролировать сложные переходы и повороты, трудновыполнимые вручную: траектория, мощность и скорость автоматически планируются по цифровому рисунку, включая точные дуги и кривые. Далее, тепловая зона влияния при лазерной обработке крайне мала, время воздействия минимально, поэтому на линиях обычно меньше нерегулярных «зубцов» и наплывов расплава. Лазерная обработка сокращает объём последующей ручной доводки (правки, шлифовки и полировки), заметно экономит время и повышает эффективность интальо.

2.3. Стабильность мощности и соответствие различным материалам

Третье ключевое преимущество лазерной гравировки — стабильность выходной мощности и высокая материалоспособность. Нефритовые материалы имеют сложные физико-химические свойства и много разновидностей; между ними существуют различия по твёрдости, плотности, светопропусканию и коэффициенту поглощения тепловой энергии. В традиционной резьбе требуется часто перенастраивать оборудование и инструмент под конкретную заготовку, что снижает эффективность обработки и делает выход пригодных изделий нестабильным. Лазерная гравировка позволяет адаптироваться к разным материалам относительно простой корректировкой параметров на компьютере. Во-первых, стабильность мощности является ключевым показателем качества: оборудование может в реальном времени контролировать интенсивность излучения и отражательную способность материала, а также автоматически подстраивать фокус и мощность под разные коэффициенты отражения, поддерживая энергетический баланс. Это помогает избежать де-

фектов вроде подгорания/карбонизации или слабой читаемости следа, вызванных неравномерной мощностью, и повышает уровень качества. Стабильность также обеспечивает длительную высококачественную работу: в традиционном процессе алмазные абразивные боры (с алмазным зерном) являются расходным материалом, износ инструмента снижает точность и качество обработки. При использовании лазера нет физического контакта, а спад мощности может компенсироваться системной калибровкой, что позволяет сохранять точность при длительной непрерывной обработке. Во-вторых, по материалам: для прозрачных жадеитов можно применять короткие импульсы и высокую частоту, уменьшая тепловую диффузию; для плотного и более отражающего хотаньского нефрита можно использовать более длительные импульсы и иные частотные режимы для усиления «съёма» материала. Оптимизация частоты и длины волны улучшает энергетическую конверсию. Наконец, традиционная резьба сопровождается сильным шумом и большим количеством пыли, требуя специализированной мастерской с вытяжкой. Лазерная гравировка лучше адаптируется к условиям: почти нет шума и вибраций, пыли меньше, поэтому возможно стабильное производство в разнообразных помещениях. Высокая стабильность мощности и материалоспособность лазерной гравировки обеспечивают надежную техническую опору для стандартизированного высокоточного и высокопроизводительного изготовления нефритовых изделий.

3. Заключение

Использование и быстрое развитие лазерной гравировки способствуют трансформации творческих и производственных звеньев искусства резьбы по нефриту, обеспечивая переход от традиционной ручной обработки к машинной оптической (фотолитографической) обработке. Лазерная гравировка с помощью высокоплотного лазерного луча реализует бесконтактную обработку: энергетический луч концентрируется на поверхности нефрита для выполнения рельефа и углубленной резьбы. В отличие от традиционного ремесла, основанного на личном опыте и навыках мастера, лазерная гравировка строится на цифровых технологиях: посредством планирования траектории и управления мощностью излучения точно регулируются траектория движения луча, интенсивность излучения, частота импульсов, размер пятна и другие параметры, что позволяет достигать микронного уровня контроля. Это обеспечива-

ет высокую согласованность и сложность в передаче рельефных уровней, линий интальо и фактурных деталей, заметно повышая точность и качество обработки. Послойная гравировка расширяет диапазон обработки от плоскости к малой пространственной глубине, формируя новый «язык технологии», основанный на энергии светового потока. Ручная доработка компенсирует механическую «жесткость», придавая изделию живость и тепло ручного труда. Благодаря бесконтактной оптической природе, лазерная гравировка исключает ударные механические нагрузки и эффективно снижает риск локального перегрева и растрескивания заготовки. Применение лазерной гравировки реализует цифровую оптическую обработку: от линейной резьбы и интальо — до рельефа, существенно расширяя выразительные возможности искусства цифровой гравировки по нефриту и накапливая технологические данные и опыт для дальнейшего внедрения 3D-гравировки в процесс резьбы по нефриту.

Список литературы:

1. *Люй Сюэшань, Ли Цзыюй, Ван Сюэцинь*. Влияние уровней лазерной гравировки на визуальные характеристики ворсовых тканей // Современные текстильные технологии. — 2023. — Т. 31. — № 1. — С. 194–203. DOI: 10.19398/j.att.202205002.

2. *Вань Мэнцзе*. Экспериментальное исследование применения лазерной гравировки в керамическом декоре : магистерская диссертация. Цзиндэчжэньский керамический университет, 2020. DOI: 10.27191/d.cnki.gjdtc.2020.000104.

3. *Чжао Юньфэй, Чэнь Яньчи*. Изготовление художественных изделий на основе лазерной гравировки // Современная солевая и химическая промышленность. — 2018. — Т. 45. — № 5. — С. 101–102.

4. *Дин Цаньцзянь, Цзэн Чжигао*. Применение фрактальной теории в автоматической генерации художественных резных орнаментов // Вестник Чжучжоуского педагогического колледжа. — 2007. — Т. 12. — № 2. — С. 60–62. DOI: 10.3969/j.issn.1674-117X.2007.02.018.

5. *Су Бофэнь*. Влияние и вызовы современных технологий в художественно-прикладном творчестве // Керамическая наука и искусство. — 2025. — Т. 59. — № 6. — С. 48–49.

6. *Чжао Хэ*. Исследование лазерной обработки выжженной графики по дереву: магистерская диссертация. Северо-Восточный лесной университет, 2019. DOI: 10.27009/d.cnki.gdblu.2019.000825.